AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT
WASHINGTON, D. C 20523

BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET

FOR AID USE ONLY
Batch 68

1. SUBJECT CLASSIFICATION

A. PRIMARY: Food production and nutrition — AF30-0120-0000

B. SECONDARY: Plant breeding--Cereals--Maize

2. TITLE AND SUBTITLE
Maiz de alta calidad proteinica

3. AUTHOR(S)
(101) CIMMYT-Purdue Int. Sym.on Protein Quality in Maize,El Batan,Mex.,1972

4. DOCUMENT DATE	5. NUMBER OF PAGES	6. ARC NUMBER
1975	582p.	ARC

7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS
Purdue

8. SUPPLEMENTARY NOTES *(Sponsoring Organization, Publishers, Availability)*

(In English and Spanish; English,533p.: PN-AAB-534)

9. ABSTRACT

10. CONTROL NUMBER
PN-AAE-405

11. PRICE OF DOCUMENT

12. DESCRIPTORS
Grain crops
Maize
Meetings
Protein
Research

13. PROJECT NUMBER

14. CONTRACT NUMBER
AID/CM/ta-G-73-2 GTS

15. TYPE OF DOCUMENT

AID 590-1 (4-74)

Eng. AJ-HH/3-554

MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA

COMPENDIO DE LAS PONENCIAS PRESENTADAS EN EL SIMPOSIO INTERNACIONAL CIMMYT– PURDUE

FE DE ERRATAS

Pág	Tabla	Dice:	Debe decir:
5	3	3,685	3,658
31	1	Leveína	Leucina
37	7	N de proteína	NEN Proteína N
57	11	Ingestión	Ingestión[a]
66	2	Argina	Arginina
67	4	1.71	4.71
75	12	*Ganancia prom. diaria (Kg)* *Relación alim./ganancia*	*Ganancia prom. diaria*[1] *(Kg)* *Relación alim./ganancia*[1] *(Kg)*
81	15	*Ganancia prom. diaria, Kg* Relación alim./ ganancia[2]	*Ganancia prom. diaria*[2] *(Kg)* *Relación alim./ganancia*[2] *Kg*
99	8	C.C. M.E. mazorca estándar C.C. capacidad para colorearse	C.C.[2] [1]M.E. mazorca estándar [2]C.C. capacidad para colorearse
101	9	(45 compuestos oparcos	(45 compuestos opacos)
170	2	[2]Diferencia significativa al nivel de .05 [3]Diferencia significativa al nivel de .01	[2]Diferencia significativa al nivel de 0.1 [3]Diferencia significativa al nivel de 0.5
349	17	*tricale*	*triticale*
413	4	Equivalentes de catequina Proteína	Lisina Histidina (Las líneas: Equivalentes de catequina y Proteína, deberán ir después de Fenilalanina)
413	5	268	288
424	1	*Hábito de crecimiento*	*Hábito de crecimiento*[a]
441	5	*9.5*[c]	*S.5*[b]
484		TABLA 2 Composición bioquímica de los granos de maíz en porcentaje del grano seco sin desgrasar.	TABLA 2 Composición bioquímica de los granos de maíz en porcentaje del grano seco sin desgrasar[a].
485	2	($t^{min} - t^{máx}$).	($t_{mín} - t_{máx}$).
486	3	Rmania	Rumania
240	Fig. .3	GRANOS	GRAMOS
264	Fig. 3	Porcentage	Porcentaje

PRESIDIUM DEL SIMPOSIO

Preparación y revición del compendio a cargo de:
la Universidad Purdue
Lafayette, Indiana

L. F. Bauman — Miembro del Comité Editorial

P. L. Crane

D. V. Glover

E. T. Mertz — Miembro del Comité Editorial

D. W. Thomas

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
El Batán, México

A. Carballo — Miembro del Comité Editorial

M. Colegrove

C. De León

P. R. Goldsworthy

G. Granados R.

M. Gutiérrez G.

E. C. Johnson

A. Kato Y.

A. Ortega C.

A. F. E. Palmer

E. W. Sprague — Miembro del Comité Editorial

S. K. Vasal

W. Villena D.

A. Violić

Esta obra se publicó bajo los auspicios de la Universidad de Purdue, Lafayette, Indiana, E. U. A. y por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), El Batán, México, y con el financiamiento de la United States Agency for International Development (USAID); del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y del CIMMYT.

NOTA A ESTA EDICION

Esta publicación es traducción de la obra **HIGH–QUALITY PROTEIN MAIZE** — Proceedings of the CIMMYT - Purdue Symposium on Protein Quality in Maize, editada originalmente en inglés por Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., y preparada conjuntamente por **Editorial Limusa, S. A.** y el Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), Departamento de Estado de Gobierno de los Estados Unidos de América, El Centro es una organización dedicada a la producción de versiones en español del material fílmico e impreso en los programas de cooperación técnica de la Alianza para el Progreso.

633.153
CIM CIMMYT - Purdue
Maíz de alta calidad proteínica - compendio de las ponencias presentadas en el simposio internacional CIMMYT-Purdue. México. Editorial Limusa, 1977.
(Título original: High-quality protein maize)
1. Cultivo del maíz - Congresos. 2. Maíz - Congresos. 3. Proteínas - Congresos. 4. Cultivo de granos - Congresos. I. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. II. Purdue University. Lafayette. Ind. III. Título.

SB191

Título de la obra en inglés:
HIGH–QUALITY PROTEIN MAIZE
Proceedings of the CIMMYT–Purdue Symposium on Protein Quality in Maize
© 1975 by Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.

Versión española:
ALFREDO CARBALLO QUIROS
Anteriormente Fitomejorador del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México
GREGORIO MARTINEZ VALDEZ

Revisión:
GREGORIO MARTINEZ VALDEZ
Doctor en Comunicación Agrícola de la Universidad de Wisconsin, Especialista de Información del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México

Derechos reservados en lengua española por:

© 1977, Editorial Limusa, S. A.
Arcos de Belén No. 75
México, D. F.
Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial, Registro No. 121.

Primera edición: 1977
Impreso en México
(1727)

Prólogo

El primer simposio sobre el maíz de alta calidad proteínica se celebró en junio de 1966 en la Universidad Purdue. Esencialmente fue un congreso de carácter nacional, ya que de los veinticinco conferencistas sólo dos no eran norteamericanos. Los autores de casi todas las ponencias presentadas sobre el maíz opaco–2 eran miembros de la Universidad Purdue. En aquel tiempo los resultados de las investigaciones eran todavía limitados, ya que apenas dos años antes nuestro grupo había presentado su informe sobre los efectos del recién descubierto gene opaco–2.

A principios de 1972 al reunirse en El Batán, México, los grupos de investigación de la Purdue y del CIMMYT a fin de planificar sus trabajos, se hizo evidente la necesidad de convocar un nuevo simposio sobre el maíz de alta calidad proteínica. Afortunadamente, ya desde 1970 los programas para el mejoramiento del maíz se habían iniciado gracias al fuerte subsidio proporcionado a la Purdue por la U. S. Agency for International Development[1] (AID) y al CIMMYT por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo[2]. AID accedió a cubrir con una partida adicional parte de los gastos del congreso celebrado en CIMMYT[3].

---

[1]U. S. Agency for International Development, Contrato 2809, "Inheritance and Improvement of Protein Quality and Content in Maize," con la Universidad Purdue.

[2]United Nations Development Program (UNDP), Global 1 Contract on Maize Protein Quality.

[3]U. S. Agency for International Development, Partida AID/CM/ta–G–73–2 a la Universidad Purdue.

VI Prólogo

El simposio CIMMYT–Purdue fue un evento verdaderamente internacional ya que el número de las ponencias presentadas por los científicos norteamericanos representaba menos de la mitad. Los informes recientes indican que el estudio del maíz opaco–2 forma parte de los programas de investigación agrícola realizados en todos los continentes y que fitomejoradores del mundo entero tratan de mejorar la calidad proteínica no sólo del maíz sino de otros cereales.

Todos los especialistas en agricultura coinciden en la importancia de aprovechar mejor las superficies cultivables del planeta si se desea que la producción mundial de alimentos siga creciendo al mismo ritmo que la población. Una manera de usar los recursos del suelo más eficientemente, consiste en sustituir los cereales que se cultivan actualmente por semillas de mejor calidad proteínica. Con la inclusión de un cereal de alta calidad proteínica, tal como el maíz opaco–2, en la dieta humana se pueden proporcionar las proteínas que anteriormente sólo se obtenían de una buena combinación de cereales normales y leguminosas o bien, de la carne, leche y huevos. La producción de los últimos tres alimentos requiere de mayor área cultivable por caloría ingerida, en tanto que la producción por hectárea de las leguminosas suele ser menor que la de los cereales.

Si los científicos reunidos en este simposio logran desarrollar variedades de cereales de alta calidad proteínica, tales como el maíz opaco-2, y si esas variedades tienen buena aceptación entre los granjeros del mundo, entonces estos científicos habrán contribuido considerablemente al incremento de la producción global de proteína de alta calidad y de composición ideal para el consumo humano.

E. T. MERTZ

Contenido

Prólogo v

Introducción al simposio 1

Parte I

Necesidades de proteína de alta calidad a nivel mundial
Aaron M. Altschul 3

Cómo satisfacer las necesidades alimentarias mundiales
R. G. Anderson 17

Parte II

El maíz de alta calidad proteínica y la nutrición humana
A. G. Pradilla, D. D. Harpstead, D. Sarriá,
F. A. Linares y C. A. Francis 29

Mejoramiento de las dietas a base de maíz enriquecido con aminoácidos y proteínas suplementarios
Ricardo Bressani 41

La calidad proteínica del maíz y la nutrición de porcinos
Jerome H. Maner 63

Parte III

Mejoramiento de la calidad proteínica del maíz: asuntos y problemas actuales
D. E. Alexander 89

Estado actual de la investigación y perspectivas de mejorar la calidad proteínica del maíz por medio del opaco–2
Joginder Singh y V. L. Asnani 93

Sistemas de selección para aumentar la calidad proteínica del maíz harinoso con el gene opaco–2
Federico Scheuch y Charles A. Francis 109

Mejoramiento genético del maíz de proteína modificada
J. W. Dudley, D. E. Alexander y R. J. Lambert 127

Parte IV

Mejoramiento de la calidad proteínica del maíz: asuntos y problemas actuales
Virgilio R. Carañgal 145

Sistemas rápidos de fitomejoramiento para crear variedades con alta calidad proteínica
E. C. Johnson 149

Aspectos agronómicos de la producción del maíz de alta calidad proteínica
David Sperling 165

Algunas características de crecimientos y rendimientos del maíz tropical
P. R. Goldsworthy 179

Interacciones enfermedad-insecto en maíz de alta calidad proteínica
A. Ortega, C. de León, G. Granados y S. K. Vasal 193

Parte V

Mejoramiento de la calidad proteínica del maíz; asuntos y problemas actuales
O. E. Nelson 209

Uso de modificadores genéticos para obtener granos de tipo normal con el gene opaco—2
S. K. Vasal 213

Variabilidad del germen y el endosperma, elementos minerales, contenido de aceite y genes modificadores en el maíz opaco—2
Loyal F. Bauman 233

La genética de los mutantes del endosperma de maíz en relación con la calidad y cantidad de proteína
D. V. Glover, P. L. Crane, P. S. Misra y E. T. Mertz 245

Métodos para el mejoramiento de la calidad de proteína del maíz sin emplear mutantes específicos.
M. S. Zuber y J. L. Helm 259

Parte VI

Producción comercial del maíz de alta calidad proteínica: asuntos y problemas actuales
Federico R. Poey 271

Experiencias que tuvieron los productores de semillas con el maíz opaco—2, a nivel mundial
William L. Brown 275

Producción, productividad y uso del maíz opaco en Colombia
Clímaco Cassalett Dávila 285

Producción y aceptación del maíz opaco—2 en Brasil
A. Secundino de Sao José 289

Utilización del maíz opaco—2 en productos alimenticios
Denis Robinson 297

Parte VII

Evaluación química y biológica de la calidad proteínica del maíz: asuntos y problemas actuales
Joseph S. Wall y Jerrold W. Paulis 305

Características de las proteínas encontradas en los mutantes de endosperma simple y doble del maíz
P. S. Misra, E. T. Mertz y D. V. Glover 315

Uso de animales pequeños para la evaluación de la calidad proteínica de los cereales
E. T. Mertz, R. Jambunathan, E. Villegas, R. Bauer, C. Kies, J. McGinnis y J. S. Shenk 331

El sistema integral para la selección química del maíz de alta calidad proteínica
Evangelina Villegas 357

Parte VIII

Relaciones costo-beneficio correspondientes a la producción y el consumo del maíz de alta calidad proteínica
Per Pinstrup–Andersen 365

Posibilidades técnicas y económicas para mejorar la calidad proteínica de los alimentos mediante fortificación y suplementación
Martin J. Forman e Irwin Hornstein 381

Programas nacionales de producción para introducir maíz de alta calidad proteínica en los países en desarrollo
Ernest W. Sprague 393

Parte IX

Avances logrados en el mejoramiento de la calidad proteínica de otros cereales
H. Doggett 403

Componentes de calidad nutritiva del grano de sorgo
J. D. Axtell, D. L. Oswalt, E. T. Mertz, R. C. Pickett, R. Jambunathan y G. Srinivasan 407

Estado actual de los programas para el mejoramiento de la calidad proteínica del trigo
P. J. Mattern, V. A. Johnson, J. E. Stroike, J. W. Schmidt, L. Klepper y R. L. Ulmer 421

Estado actual de los programas para el mejoramiento de la calidad proteínica de la avena
Donald J. Schrickel y Walter L. Clark 433

Estado actual de los programas para el mejoramiento de la calidad proteínica de los triticales
F. J. Zillinsky 447

Comparación de los genes y mutantes de alto contenido de lisina encontrados en la cebada y el maíz
L. Munck, K. E. Karlsson, A. Tallberg, P. Knutsson, D. Eaker y B. Eggum 453

Parte X

Sesión de trabajo sobre técnicas de análisis químicos y biológicos 467

Sesión de trabajo sobre métodos para introducir variedades de calidad proteínica mejorada en las fincas 473

Sesión de trabajo sobre los factores económicos y sociales que determinan la aceptación de las variedades de calidad proteínica superior 477

Parte XI

Investigación sobre el maíz de alta calidad proteínica en Europa meridional
A. Brandolini 481

Efectos que tienen el nitrógeno y la densidad de plantas sobre el rendimiento de grano y el contenido proteínico y la calidad de un maíz híbrido opaco–2
G. Mariani 489

Estado actual de los programas para el mejoramiento de la calidad proteínica del arroz
Bienvenido O. Juliano y Henry M. Beachell 497

Heterosis observada en híbridos opaco–2 con respecto al rendimiento y los componentes del rendimiento
I. Kovács 511

Calidad proteínica y valor nutritivo del maíz de alto contenido de lisina (informe breve)
V. G. Ryadchikov 517

Parte XII

Preguntas y respuestas 525

Indice 553

INTRODUCCION AL SIMPOSIO

Al Simposio Internacional CIMMYT-Purdue sobre Maíz de Alta Calidad Proteínica asistieron más de 150 científicos de todo el mundo, cada uno de los cuales trajo consigo los resultados de sus investigaciones más recientes, así como gran fervor y visión científica. Su propósito era discutir los avances logrados y la estrategia requerida para el desarrollo futuro del maíz de alta calidad proteínica.

Los participantes del simposio se reunieron del 4 al 8 de diciembre de 1972 en la sede del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), ubicado en El Batán, México. La reunión se efectuó a menos de una década de la fecha en que Mertz, Bates y Nelson descubrieron en Purdue que el maíz opaco-2 poseía una calidad proteínica superior, descubrimiento que estimuló la creatividad de los fitogenetistas de maíz, bioquímicos, nutriólogos y otros científicos interesados en mejorar la calidad nutritiva de los alimentos producidos para las familias desnutridas del mundo. Los hallazgos de Purdue señalaron nuevos rumbos a los fitomejoradores dedicados al desarrollo de un maíz con mayor contenido de lisina, y por lo tanto, constituyeron un avance muy importante y decisivo para estas investigaciones.

Desde principios del siglo, los científicos han intentado obtener un maíz más nutritivo. Aunque los cereales proporcionan más del 70% de la proteína que consume la humanidad, constituyen un alimento de baja cantidad y calidad proteínica. En cuanto a su valor nutritivo, la mayor deficiencia del maíz consiste en que contiene poco triptofano y lisina, aminoácidos esenciales que el hombre y otros animales monogástricos deben obtener de sus alimentos, ya que no pueden sintetizarlos.

Las investigaciones efectuadas en Purdue demostraron que un gene singular, el opaco-2, casi podía duplicar el contenido de lisina del grano cuando se le incorporaba a un maíz normal. Poco después, se descubrió que el gene harinoso-2 tiene una capacidad similar.

Científicos de todo el mundo, probaron el nuevo gene pero los primeros resultados fueron desalentadores; había problemas de menor rendimiento y el grano era sin brillo e inatractivo. No obstante, varios científicos perseveraron, en especial los que estuvieron presentes en este simposio. Y, más recientemente, con el apoyo financiero de instituciones nacionales e internacionales, se dio impulso a la investigación y hay un renovado interés entre el público.

El avance registrado durante los últimos tres o cuatro años ha sido notable. Ya se sabe que no hay necesariamente una reducción en el rendimiento y que se pueden obtener granos cristalinos de alto valor nutritivo, y además, que ya se dispone de ejemplos para probarlo.

Un paso muy importante para poner esta extraordinaria fuente de alimento nutritivo al alcance de todos, lo constituyó la conversión de un gran número de poblaciones de maíz genéticamente diversas y variables, en maíces de alta calidad proteínica. La selección de granos con una amplia gama de características que se hace en muchas partes está suministrando la base germoplásmica para el desarrollo de variedades e híbridos de alta calidad proteínica destinados al consumo mundial.

Para informar debidamente sobre los avances mencionados, al preparar este libro se siguió en gran parte, el programa del simposio, lo cual le permite al lector enterarse en detalle acerca de: (1) los últimos trabajos de fitomejoramiento científico y los últimos estudios sobre el valor nutritivo del maíz de alta calidad proteínica; (2) los aspectos de la producción comercial de este maíz; (3) las evaluaciones químicas y biológicas del maíz de alta calidad proteínica; (4) la importancia económica de la proteína de alta calidad; (5) el avance en los trabajos de obtención de otros cereales con alta calidad proteínica; y (6) los resultados de las sesiones de trabajo del simposio (metodología del fitomejoramiento, técnicas de análisis químicos y biológicos, métodos para introducir variedades con mayor calidad proteínica al nivel de la finca, y de factores socioeconómicos que influyen en la aceptación de variedades de alta calidad proteínica). El libro empieza con un panorama general de las necesidades alimentarias mundiales, tal como lo presentaron A. M. Altschul y R. G. Anderson. Se incluyen las preguntas y respuestas que se hicieron después de cada ponencia así como algunos documentos pertinentes que no se dieron a conocer durante el simposio.

Uno de los propósitos fundamentales del simposio fue el de orientar a los investigadores acerca de las nuevas posibilidades que han surgido sobre la calidad proteínica en el maíz. La investigación anterior sólo dio a conocer las reacciones observadas en los linajes de endocriadas e híbridos; se espera que los procedimientos que aquí se presentan hagan destacar la importancia que tienen las poblaciones de mayor variabilidad genética.

Todas las ponencias se revisaron a fin de uniformar el estilo de las mismas; hubo que condensar y reorganizar el texto de algunas. Sin embargo, en todas las ponencias se procuró no restarle importancia a los puntos que los autores destacaron y, al mismo tiempo, respetar su criterio.

Parte I

NECESIDADES DE PROTEINA DE ALTA CALIDAD A NIVEL MUNDIAL

Aaron M. Altschul*

Se han hecho numerosos intentos para cuantificar la disparidad entre el abasto de proteínas y las necesidades humanas. En cierta forma, el tema de esta ponencia es examinar los muchos significados que implica la palabra necesidad, cuando se la relaciona con la proteína de los alimentos.

A base de los mejores conocimientos médicos y nutricionales de que se dispone, la mayoría de los cuantificadores, particularmente los que estudian el problema en países de menor desarrollo, suponen que existe determinada necesidad fisiológica, y luego relacionan el abasto de proteína con tal necesidad. Por consiguiente, sus cálculos y proyecciones reflejan necesidades fisiológicas y el tamaño estimado de la población.

Otro enfoque, adecuado para las poblaciones que disfrutan de un crecimiento económico per cápita, consiste en estimar la demanda de más alimentos proteínicos generada por el aumento del ingreso. Tal demanda no se relaciona necesariamente con la necesidad fisiológica. De hecho, en los países ricos, las dietas incluyen más proteína que la que se considera necesaria para satisfacer las necesidades fisiológicas. Dichas tendencias o demandas no se basan en criterios de nutrición, sino que responden a un deseo sensorial de consumir carne y otros productos de origen animal.

* Georgetown University School of Medicine, Washington, D.C.

Este ensayo se refiere a modelos de necesidad de proteína que se requieren de acuerdo con el apoyo oficial, lo cual refleja mi interés previo en modelos de la necesidad de proteína considerada como un problema político y que debe generar tal apoyo (1). Sin embargo, antes que nada, debo presentar un ejemplo del enfoque clásico utilizado para cuantificar la disparidad entre el abasto y la necesidad de proteína. Otros modelos representarán casos que generen o pudieran generar apoyo político, y se incluyen ejemplos de (1) la mayor necesidad de carne generada por un mayor ingreso; (2) el peligro que representa para la política el no mantener la relación proteína-calorías al nivel existente; y (3) las oportunidades que hay para mejorar el abasto de proteína gracias a las nuevas tecnologícas, además de la ventaja política que ofrece la máxima utilización de las mismas.

CALCULO CLASICO DE LA NECESIDAD DE PROTEINA

Tal vez uno de los mejores análisis del problema de la proteína es el que hizo Autret (2). Este sigue el patrón de los diversos análisis publicados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (5). Primeramente, se presuponen los requerimientos fisiológicos; luego se calcula el abastecimiento que satisfaría: (1) los requerimientos del 50% de la población, (2) los requerimientos del 97.5% de la población, o bien (3) la necesidad de suministrar del 10 al 12% de las calorías en forma de proteína. Se hacen ajustes en la definición de los requerimientos proteínicos para tomar en cuenta la calidad de la proteína en una dieta nacional. Actualmente, en los países en desarrollo hay un déficit de la proteína necesaria para satisfacer estos dos últimos requerimientos. Por ejemplo, si se considera el crecimiento de la población y las demandas debidas al crecimiento económico, resulta que de acuerdo con los cálculos que se hicieron en 1972, en la India debería haber 60% y 95% más

TABLA 1 Necesidades y abastecimiento de proteína en 1963-1965 (millones de toneladas métricas por año)

	Mundo	*Regiones menos desarrolladas*	*Regiones desarrolladas*
Abastecimiento	80	48	32
Necesidades			
1[a]	89	56	33
2[a]	83	50	33
Déficit	9	8	1
Población en 1965 según la ONU (millones)	3,289	2,251	1,038

Fuente: Bibliografía 2, 5.

[a] Necesidades para una dieta balanceada que suministra una tasa de calorías a partir de proteínas total de calorías $\geqslant$ 10%.

[b] Necesidades prácticas = promedio (nivel menudeo) + 20% (suministro práctico) considerado adecuado para cubrir al 97.5% de la población.

proteína en 1975 y 1985 respectivamente. Los datos para las regiones desarrolladas y en desarrollo del mundo se dan en las tablas 1, 2 y 3. En 1985, las regiones en desarrollo requerirían 80 millones de toneladas adicionales de proteína para satisfacer las necesidades fisiológicas de su población estimada; tal incremento, por sí solo, constituye casi el doble del abasto actual (tabla 3). Además se requerirán pequeños incrementos adicionales para satisfacer las necesidades que origine el crecimiento económico.

TABLA 2 Abasto total de proteína comparado con el abasto de proteína de origen animal (millones de toneladas métricas por año)

	Mundo	*Regiones menos desarrolladas*	*Regiones desarrolladas*
Abasto total de proteína	80	48	32
Abasto total de proteína animal	25	10	15
Población en 1965 según la ONU (millones)	3,289	2,251	1,038

Fuente: Bibliografía 2, 5.

Las tendencias que se observan actualmente en la producción agrícola son poco promisorias respecto al logro de estas metas mayores, ya que se hace énfasis principalmente en mantener un abastecimiento adecuado de alimentos, especialmente de granos. Y estas actividades competirán por obtener las superficies en las que ahora se cultivan leguminosas, reduciendo así el abastecimiento de esta rica fuente de proteínas.

Los países en desarrollo no disponen de los excedentes de granos sobre los cuales se basa la alimentación animal en los países desarrollados. Por tanto, no hay ninguna solución convencional para superar el déficit proteínico. Además, en ninguno de los países en desarrollo se observa algún esfuerzo para crear fuentes no convencionales de proteína.

Esos países persiguen todavía la meta convencional de obtener más proteína de origen leguminoso o animal; lo cual aún es cada vez más difícil de conseguir en las condiciones actuales, considerando la relación que existe entre el nivel estimado de los recursos y el tamaño estimado de la población.

TABLA 3 Incremento proyectado en la producción de proteína requerida hacia 1985.[a]/ (millones de toneladas métricas por año)

Producción de proteína requerida hacia 1985	*Mundo*	*Regiones menos desarrolladas*	*Regiones desarrolladas*
Incremento	120	80	40
Total (abasto actual + incremento de producción)	200	128	72
Población en 1985 (millones) (variante interm.) según la ONU	4,933	3,685	1,275

Fuente: Bibliografía 2, 5.

[a] Necesidades prácticas para el 97.5% de la población.

Si se considera el excedente de proteína que hay en la mayoría de los países desarrollados y el déficit en los demás, el abastecimiento mundial total presenta, en teoría, un panorama relativamente bueno en cuanto a la relación existencias-necesidades de proteína a escala internacional. Pero el logro de una distribución más equitativa de las existencias proteínicas no parece más probable que cualquiera otra distribución de la riqueza. En realidad, podrían crearse presiones en el sentido opuesto o sea que las naciones ricas tratarían de incrementar su consumo de proteína de origen animal conforme aumenten sus ingresos y competirían con los países en desarrollo por las cada vez más limitadas existencias de granos. Taies presiones constituirían el mayor imperativo para producir granos de alta calidad proteínica. En la siguiente sección se presenta con más detalle este punto.

CONDICIONES EN LAS QUE LA NECESIDAD DE PROTEINA GENERA APOYO OFICIAL

Sin lugar a dudas, el mayor consumo de carne indica un ingreso mejor. En los Estados Unidos, que a principios de siglo tenía una alta ingestión de proteína de origen animal, en el período de 1910 a 1970, el consumo de proteína de origen animal aumentó de la mitad a dos tercios del total de proteína ingerida. En los 22 años transcurridos desde 1950 hasta 1972, el consumo anual de carne per cápita en los Estados Unidos aumentó de 66 Kg a 86 Kg; el consumo de carne de aves y pescado aumentó de 82 a 115 Kg en ese período de 22 años.

En la Unión Soviética, la producción de carne aumentó de 10.7 a 12.3 millones de toneladas de 1966 a 1970, y su objetivo es llegar a los 16 millones de toneladas en 1975. En ese período la producción de leche aumentó de 76 a 82.9 millones de toneladas, con un objetivo de 100 millones de toneladas en 1975.

También en el Japón se está incrementando considerabiemente el consumo de carne. Lo mismo ocurre en todos los países donde aumentan los ingresos. Este punto se muestra claramente en el documento preparado por Péerisé y colaboradores (4).

El gobierno soviético proyecta aumentar su abasto anual de proteína en la leche y carne durante el lustro 1970-1975 en 1.2 millones de proteína de alta calidad. Supongamos que la dieta del pueblo soviético, que ahora dispone de 36 Kg de proteína de origen animal/cápita/día, lograse las características de consumo de proteína de la dieta norteamericana con más de 3,000 Kcal y 70 g de proteína de origen animal/cápita/día. De ahí se puede demostrar que la URSS requeriría de 3 millones de toneladas adicionales de proteína animal para su población actual de 244 millones de seres. Las metas actuales de la URSS para 1975 son probablemente obtener la mitad de los 3 millones de toneladas. Lograr el nivel de 3 millones de toneladas pudiera parecer un poco exagerado, sin embargo, para cualquiera otra meta que se tome. El principio será el mismo. El ejemplo soviético y algunos otros, se resumen en la tabla 4.

El logro de tales metas implica un costo cada vez mayor. Sin embargo, si se introducen nuevas tecnologías en el asunto, la situación podría cambiar drásticamente. Por ejemplo, se ha estimado que para 1980 la proteína vegetal textu-

TABLA 4 Abasto de proteína animal e incremento calculados en la producción requerida si se elevasen los estándares

	(1) *Contenido de proteína animal del abasto alimentario (1966)*		(2)	(3)	(4)
	(A) *g/cápita/día*	(B) *ton métricas por año*	*Población 1971 (millones)*	*Aumento de producción requerido si se elevasen los estándares (millones de toneladas métricas por año)*	*Producción total columnas (1B) + (3) (millones de toneladas métricas por año)*
E.U.A.	69.6	5.3	208		
U.R.S.S.	35.8	3.2	244	U.R.S.S. a E.U.A., 3	6.2
Japón	29.5	1.1	104	Japón a U.R.S.S., 0.2	1.3
Italia	37.8	0.7	55		
México	15.1	0.3	51	México a Italia, 0.4	0.7

rada de soya remplazará entre 10 y 20% de carne que se incluye en la dieta de los Estados Unidos. Esto significa una reducción en el costo de carne para el pueblo norteamericano y quizá aún de mayor importancia es que esto pasa parte del costo a los sectores no agrícolas, es decir al sector manufacturero. Por tanto, constituye una mayor reducción en la demanda de los recursos agrícolas, comparada con lo que mostrarían los costos de la carne y productos similares.

El costo de la proteína de origen animal se puede representar como equivalente total de calorías vegetales requeridas para las dietas humanas y la de los animales que suministran la proteína. En la tabla 5 se presenta un ejemplo de

TABLA 5 Calorías de granos estimados según se requiere para abastecer ingestión calórica y nivel de consumo de proteína animal para países seleccionados

		Per cápita/día		
País	*Año*	*Proteína animal (g)*	*Calorías*	*Equivalente de calorías de granos*
E.U.A.	1967-1968	69.6	3,240	11,040
Suecia	1968-1969	54.1	2,880	8,940
Italia	1968-1969	37.8	2,940	7,180
U.R.S.S.	1966	35.8	3,150	7,170
Japón	1968	29.5	2,460	5,760
México	1967	15.1	2,600	4,300
Filipinas	1968	19.9	2,010	4,250
Túnez	1966	10.7	2,190	3,390
India	1968	6.1	1,900	2,580

Fuente: Bibliografía 6.

Nota: Los cálculos se basan en las suposiciones que se dan en la bibliografía 7; la proteína se convierte a equivalentes de granos usando la razón 28:1.

tales cálculos. Las calorías reales aprovechables y las calorías vegetales equivalentes no difieren mucho en los países en desarrollo; por lo que, por comparación, el costo de las calorías es menor. Sin embargo, el costo total de las calorías para alimentar a un individuo en los Estados Unidos es mucho más alto, y se requiere un equivalente total de 11 000 calorías de grano, comparado con las 3 000 calorías disponibles en realidad para el consumo.

Los aumentos en la ingestión de proteína de origen animal en un país no beneficiarán uniformente a todos sus habitantes. En cualquier país, la distribución de la proteína de origen animal y el consumo calórico total se basan en el ingreso económico. La naturaleza de la distribución variará de un país a otro. A medida que aumenta la riqueza de un país, se incrementará la demanda de alimentos de mayor calidad proteínica. Habrá alguna mejora en las dietas de la gente pobre, pero no en el grado que las cifras parecen indicar. Es probable que las mejoras de mayor envergadura en el consumo de proteína ocurran entre la gente de mayores ingresos, que son las que tienen más posibilidades para satisfacer su deseo de proteína de mayor calidad.

CONDICIONES EN LAS QUE LA NECESIDAD DE PROTEINA DEBIERA GENERAR APOYO OFICIAL

Los ejemplos anteriores se han referido a problemas relacionados con un mayor ingreso y a una necesidad que induce la preferencia por la proteína de origen animal. Pero, ¿qué se puede decir de los países donde existe un déficit de proteína? El caso más claro en que la necesidad de proteína probablemente se podría transferir al campo de la acción política es cuando empeora la situación alimentaria. No cabe duda de que cuando no se satisfacen los requerimientos mínimos de alimentación se crea inestabilidad social. Aun los incrementos drásticos del precio del pan en los países donde éste es el alimento principal puede originar disturbios sociales. Ningún gobierno puede sobrevivir cuando hay hambre crónica generalizada.

Considérese el caso en el cual el abastecimiento de granos ha aumentado y es relativamente adecuado para una población dada, gracias a la tecnología mejorada y a la expansión de recursos de que dispone la agricultura. En este caso la Revolución Verde ha tenido éxito. Sin embargo, puede haber circunstancias donde el precio pagado por la Revolución Verde podría consistir en una reducción de la superficie dedicada a concentrados proteínicos. Esta parece ser la situación de la India, donde la superficie de trigo se ha incrementado, en tanto que se ha reducido la superficie de leguminosas de grano, la principal fuente de proteínas. La FAO estima que en la década de los ochenta, disminuirá el porcentaje de calorías a partir de la proteína, tanto en Asia como en América Central (tabla 6).

Independientemente de como se argumente acerca de lo adecuado del contenido de proteínas en las dietas de esas regiones, el hecho de que un elemento principal de la calidad de la dieta está disminuyendo, podría constituir un asunto político que origine acciones para tratar de rectificarlo.

TABLA 6 Tendencia de la razón proteínas-calorías relativas al abasto proyectado (%)

	1962	*1975*	*1985*
Zona C	10.6	10.4	10.3
Sudamérica	10.6	10.5	10.6
Centroamérica	10.2	9.9	9.7
Africa, Sur del Sahara	10.9	10.8	10.9
Noráfrica	11.3	11.3	11.2
Cercano Oriente	12.1	12.0	12.0
Asia	10.3	10.1	9.9

Fuente: Bibliografía 5, p. 510.

Se podría calcular que la proteína adicional requerida para mantener la relación proteína-calorías al nivel de 1972, suponiendo una disponibilidad constante de calorías, será de 1.6 millones de toneladas métricas por año. Esto implicaría una proteína más cara que la de las dietas normales: la de granos fortificados u obtenidos por métodos de cultivo especiales, de leguminosas, de plantas oleaginosas, de peces o microorganismos o de proteína de origen animal. La cantidad de proteína adicional necesaria para superar el déficit calculado implica el sustituir el 2% de las calorías por más leguminosas, o el 2.3% de las calorías por más carne. Pero esto ocasionaría grandes presiones en condiciones dietéticas ya difíciles. Y que puesto que la distribución de alimento en la familia no se relaciona forzosamente con la necesidad, una pequeña reducción como la mencionada resultaría primeramente en una nutrición más deficiente de los grupos vulnerables (lactantes, niños y madres gestantes o en período de lactancia).

CARACTERISTICAS DE ESTOS MODELOS

Los modelos que ya se analizaron pueden abarcar perfectamente todas las clases de la población. El primer grupo de modelos, que se refiere a los grupos de ingresos crecientes, incluyen dos tipos de demandas de proteína: ingreso creciente y población creciente. El segundo grupo se refiere primordialmente a las demandas de una población creciente. En este grupo las demandas basadas en el ingreso creciente son menores, comparadas con las demandas basadas en una población creciente.

Es obvio que en todas estas consideraciones el problema calórico y el proteínico no se pueden tratar como problemas independientes. Al igual que en el caso de la investigación nutricional, es más apropiado utilizar el término desnutrición proteínica-calórica como el concepto general que sirve para definir la gran variedad de problemas nutricionales que abarca. En un sentido económico y de recursos, los dos problemas son inseparables.

Cada país, si tiene la posibilidad de hacerlo, puede intercambiar proteínas y calorías. También puede insistir en incluir una alta proporción de carne en su dieta y por lo tanto consumir mayor proporción de calorías. O bien, puede subsistir con una porción más pequeña de carne y consumir menos calorías

vegetales equivalentes. O quizá puede elaborar nuevos modelos tecnológicos, como lo son los sucedáneos de la carne, y consumir menos calorías vegetales equivalentes.

Una nación que apenas tiene las calorías suficientes, puede adoptar prácticas agrícolas que maximicen la producción de calorías por hectárea, en detrimento de cultivos que contienen más proteína, pero que producen menos calorías por hectárea. En este caso, se mantiene la producción suficiente de calorías, o por lo menos la ingestión calórica, pero a expensas de la ingestión proteínica. O el país puede decidir que debe poner especial atención en las nuevas tecnologías para mejorar la calidad proteínica del grano. Y hay muchas variantes entre una y otra opción.

Consideremos ahora las oportunidades de mejorar la calidad proteínica de una dieta a través de algunos medios más rápidos que el aumento del ingreso. Ya se ha demostrado que la calidad o el contenido de la proteína se mejora concurrentemente con el aumento del ingreso. Cuando la población al comienzo tiene un ingreso bajo, el mejoramiento requiere de mayores incrementos del ingreso. Francois (3)ha demostrado de una manera brillante que si se aplica un enfoque de laissez-faire dependiente por completo de un mayor ingreso, se demoraría la mejora del valor nutritivo de la dieta por varias generaciones, o podría no mejorarla del todo. De aquí que los que se han interesado en mejorar la nutrición de una población han luchado para que se adopte una política oficial que conceda mayor prioridad a la nutrición que al desarrollo general.

Tales decisiones pueden basarse en buenos argumentos. Se debe dar el mayor cuidado a los lactantes y a los niños de edad prescolar. Aun en la India, donde hay ahora mucha controversia con respecto a si el problema es de calorías o de proteína, en general se admite que la actual ingestión de proteína de los niños es insuficiente.

Conviene citar brevemente algunos argumentos en favor de dar importancia especial a los lactantes y a los niños. Debido a que ellos se encuentran en estadíos activos de crecimiento, sus necesidades de nutrimentos son más imperiosas. Si no se satisfacen los requerimientos nutricionales se corre el riesgo de que tengan un crecimiento anormal y menor resistencia a las enfermedades, lo cual se refleja en una alta mortalidad infantil. Todavía peor, es que cada día se tienen más pruebas de que la desnutrición infantil puede ocasionar daños mentales permanentes, lo cual agrava los problemas de la pobreza. No son únicamente los niños los que están implicados, han empezado a aparecer datos que indican que la nutrición de la madre afecta la condición del bebé. Ciertamente, si el bebé tiene un peso bajo al nacer, hay menor probabilidad de que sobreviva y se desarrolle en forma normal.

Los niños en edad prescolar de las comunidades pobres tienen menos que comer y el porcentaje de proteína es menor. En informes publicados en el sur de la India, Tailandia y Guatemala, el porcentaje de calorías de la proteína varía de 7.4 a 11%. Entre los grupos pobres de los Estados Unidos, el porcentaje de calorías provenientes de la proteína sólo es de 12.8% en el grupo rural, del nivel socioeconómico bajo. Pero generalmente todos los niños pobres y no pobres tienen una dieta que varía de 14.5 a 16.1% de calorías de la proteína. La diferencia en el contenido de proteína también refleja una diferencia en calidad, porque se requiere de proteína de alta calidad para llevar el porcentaje de calo-

rías de la proteína al 14%. Es por eso que la diferencia en el efecto que el consumo de la proteína tiene entre los países ricos y pobres es muy grande. Por ejemplo, los estándares dietéticos en el Reino Unido, requieren que el 14% de las calorías ingeridas esté constituido por proteínas por los lactantes, niños y las madres gestantes y en período de lactancia, y el 10% en el caso de todos los demás. Algunos de los lactantes de familias pobres de los Estados Unidos no disponen de todas las calorías de la proteína requeridas. Empero, es evidente que la mayoría de los lactantes de los grupos socioeconómicos más bajos de los países menos desarrollados tienen menos proteína que lo indicado en los estándares británicos. El aumento de la cantidad de alimentos ayudará, pero no cambiará el panorama general en cuanto a la proteína.

¿Es suficiente este argumento para generar apoyo político? Quizá retóricamente. Y tal vez por aquí y por allá hará que se tomen algunas medidas más o menos acertadas. Pero en un mundo de recursos en contracción, el argumento de la nutrición probablemente no será suficiente para generar apoyo político.

MODELOS BASADOS EN LA TECNOLOGIA MEJORADA

La disponibilidad o invención de una nueva tecnología generará acción política para mejorar la calidad proteínica de la dieta de los niños o de toda la población, y esto sucederá con mayor rapidez que si sólo aumentaran los ingresos. En este caso, las mejoras debidas a mayor contenido de proteína están determinadas más por la tecnología que por la necesidad percibida.

Tecnología institucional

Cuando la infraestructura de un país se ha desarrollado a tal grado que se dispone del potencial necesario para utilizar ciertos sistemas de distribución, se puede pensar en el uso de la tecnología como un medio para distribuir proteína extra. Por ejemplo, cuando una porción considerable de la población asiste a la escuela, se puede emprender la tarea de distribuir almuerzos escolares como una función política específica. Es fácil calcular la proteína extra que se necesitaría si todos los niños de las escuelas fuesen a recibir almuerzos. Se podrían hacer los mismos cálculos para los centros de bienestar, los de maternidad y los de salud infantil. Los factores que limitan la cantidad de proteína extra que pudiera darse son el sistema de distribución existente y los recursos disponibles.

Nueva tecnología proteínica

La nueva tecnología para producir proteína ofrece nuevas oportunidades para suministrar proteína y puede ser la base de una decisión política tendiente a mejorar la nutrición de una manera más rápida que tratando de aumentar los ingresos. La invención de un alimento infantil que igualara el valor nutritivo de la leche, pero cuyos costos fueran menores, y que al mismo tiempo fuese atractivo y aceptado, podría generar un mayor consumo de dicho producto por los lac-

tantes. El gobierno podría patrocinar un esfuerzo así a un costo mucho menor que si se mejoraran las dietas siguiendo los métodos convencionales.

Es obvio que el descubrimiento y desarrollo del maíz de alta calidad proteínica es un generador importante de ideas sobre el mejoramiento de la nutrición. Se podría calcular la proteína adicional que se necesita añadir a la dieta de un país como Colombia, si todo el maíz sembrado fuera de alta calidad proteínica. Con ello se lograría un incremento significativo en el abasto proteínico del país. Las oportunidades de hacer esto dependerían tanto de los costos de producir este tipo de maíz y del maíz normal, como de los costos para el gobierno de alentar este enfoque.

Un enfoque similar ofrece la posibilidad de incrementar el abastecimiento proteínico en países donde la mayor parte de las calorías se obtienen a partir de un solo alimento principal, digamos trigo, maíz o arroz. De esta manera, el alimento principal se mejoraría y se incrementaría el valor nutritivo de su proteína por medio de la fortificación apropiada con aminoácidos. Aquí también se podrían calcular el aumento conseguido en el abastecimiento proteínico, merced a esta modificación tecnológica.

La fortificación y el mejoramiento genético mejorarían el abastecimiento de alimentos para toda la población, incluyendo a quienes presumiblemente, no necesitan de proteína adicional, lo cual podría considerarse como una desventaja. Pero en realidad no lo es, puesto que estos métodos pueden ser menos costosos que los orientados a mejorar la dieta de un sector específico de la población.

Estas consideraciones señalan la importancia que tienen las pruebas de campo de los diversos métodos que permitan aumentar el abastecimiento de proteínas, especialmente en los casos cuando las mejoras obtenidas no son palpables, lo cual ocurre cuando se emplean procedimientos de fortificación o procedimientos genéticos. Es necesario obtener pruebas concretas de que los alimentos de mayor valor nutricional llegan a toda la población y de que constituyen el enfoque más económico.

Otro factor que propicia un mayor abastecimiento de proteína es la tendencia a procesar los alimentos principales. Por ejemplo, cada vez es más fácil conseguir el pan horneado y la masa o harina preparada para tortillas.

La gente depende cada vez menos de un solo cereal y al reducir la cantidad de cada uno aumenta el número de cereales incluidos en su dieta. En ciertas partes de Sudamérica, por ejemplo, el trigo en forma de pan está invadiendo lo que era un área exclusivamente consumidora de maíz. La introducción de alimentos procesados también le da al gobierno la oportudnidad de agregar proteína a la dieta fortificando el pan o la harina para hacer tortillas con los ingredientes necesarios par mejorar su valor nutritivo.

Combinación de las nuevas tecnologías sobre proteínas y las tecnologías institucionales

Tal vez la mejor manera para incorporar proteína en la dieta, ya que sería más rápida que el desarrollo económico, consiste en cambinar una nueva tecnología de abastecimiento de proteína con la tecnología institucional.

Una cosa es convenir en suministrar un vaso de leche adicional a todos los menores de 15 años, como se ha sugerido o intentado en Chile; pero aquí surge el problema de que tal tecnología distributiva está limitada por el costo del nutrimento (en este caso por la disponibilidad de divisas extranjeras). Sería más razonable combinar una tecnología distributiva con las nuevas tecnologías de abastecimiento de proteína. Por tanto, viene a la mente la conveniencia de introducir la CSM o Incaparina en programas institucionales, particularmente en escuelas y en centros de salud infantiles y de maternidad.

Al modificarse las normas que especificaban los nutrimentos a proporción en el programa de almuerzos escolares de los Estados Unidos, se pudo incluir la soya texturada, y con ello las autoridades escolares redujeron el costo del almuerzo. Este es otro ejemplo de la combinación de una tecnología institucional (el almuerzo escolar) y una nueva tecnología de abastecimiento de proteína (proteína texturada de soya).

Si los gobiernos trataran de incorporar más proteína en las dietas de los niños a base de productos tales como la Duryea (que ahora está a la venta al público en Colombia), esto seguramente (1) costaría menos que el procesamiento de productos alimenticios, y (2) facilitaría el desarrollo de los sucedáneos de la leche.

Aplicaciones en los países ricos

El aplicar diversas combinaciones de las nuevas tecnologías de abastecimiento de proteína con las tecnologías institucionales o sin ellas no está limitado a los países menos desarrollados. Tienen igual aplicación en los países ricos y, de hecho, en dichos países están avanzando más rápidamente. Donde quiera que se consumen alimentos, el costo es todavía un factor importante. Si fuera posible mantener o aun aumentar el nivel de abastecimiento de alimentos similares a la carne, sin aumentar la producción de carne y por lo tanto, el costo de la dieta, los beneficios económicos y políticos serían enormes.

La idea de procesar los alimentos, que es un nuevo aporte de las tecnologías e instituciones relacionadas con los alimentos, puede beneficiar a grupos especiales. Por ejemplo, los ancianos y los pobres tienen mayor necesidad de los alimentos procesados que los ricos. Por lo general, los alimentos procesados se han elaborado sin poner ningún énfasis particular en la nutrición. Pero esto no debe ser necesariamente así.

Un nuevo enfoque, cuya importancia todavía no se aprecia debidamente pero que merece atención, consiste en utilizar las nuevas tecnologías relacionadas con la proteína para cambiar la nutrición basada en las necesidades médicas. Por ejemplo, si una persona desea aumentar su consumo de carne, también aumentará su consumo de grasas animales saturadas, grasa total y colesterol. Sin embargo, ahora las tecnologías alimentarias permiten proporcionar separadamente los nutrientes con sabor a proteína, eliminando de la dieta los demás nutrientes tales como las grasas saturadas y el colesterol, que por lo común se relacionan con los alimentos naturales que tienen dicho sabor. Así, merced a las nuevas tecnologías, es posible proporcionar mayores opciones a la gente que quiere satisfacer su gusto por alimentos proteínicos naturales, pero que desean modificar la ingestión

de los otros componentes de los mismos. Este enfoque no ha sido aceptado en los círculos políticos pero ha ganado terreno entre el público, reduciendo su oposición a los cambios introducidos en los alimentos procesados, debido a los posibles beneficios médiconutricionales que se pudieran obtener.

RESUMEN Y COMENTARIOS

1. El abastecimiento de proteínas se incrementará más lentamente que el abastecimiento de calorías. Es más costoso sintetizar la proteína que las calorías, y las proteínas de origen animal son las más caras de todas. Las deficiencias dietéticas de vitaminas y minerales se consideran de distinta categoría, ya que se pueden obtener de fuentes no agrícolas.

2. La competencia por proteína se intensificará entre los económicamente fuertes, que desean consumir más proteína de origen animal, y los débiles que necesitan mantener el nivel actual de su abastecimiento de calorías y proteína por magro que sea.

3. Entre algunos planificadores subsiste el deseo de retornar a las soluciones simples, soluciones que mantengan un balance ecológico a niveles de población mucho más bajos. Esto sólo es romanticismo asociado a la nostalgia por los "buenos tiempos pasados". La Revolución Verde representa la aplicación de la metodología agrícola más compleja y avanzada para resolver los problemas alimentarios básicos de los países menos desarrollados. Los futuros avances en la eficiencia para producir calorías requerirá la instrumentación de un cambio básico en el propio proceso fotosintético. La combinación de mayores rendimientos de calorías y de las proteínas de mejor calidad es el problema biológico más difícil.

4. La mayor oportunidad de corregir el desbalance entre el abastecimiento de proteínas y calorías radica en la adopción de nuevas tecnologías. Tales tecnologías pueden disminuir la competencia entre los ricos y los pobres. Donde hay mejoría general en las condiciones económicas, con estas tecnologías se puede mejorar la nutrición de manera más rápida que con el desarrollo económico general. No basta el depender únicamente de la agricultura. La agricultura básica, es decir, una agricultura en balance ecológico con las fuentes renovables de energía, desapareció hace cien años. Ahora, con una combinación equilibrada de las tecnologías agrícolas e industriales se lograrán mejores resultados que usando cualquiera de las dos independientemente.

5. El apoyo oficial orientado a transformar la necesidad de más proteína en una respuesta social práctica requerirá que se le demuestre al público el valor de cualquier nueva tecnología. Los ensayos de campo constituyen sólo un experimento científico; son parte de los mecanismos sociales necesarios para implantar un cambio.

6. El mundo debe reevaluar el balance entre la población y los recursos. De otra manera, sin importar la tecnología que se utilice, el desastre será inevitable.

7. Como sucede en muchos otros casos, una investigación sobre las necesidades de proteína de alta calidad, se convierte básicamente en una investigación sobre los problemas esenciales de la sociedad con aspectos de pobreza y riqueza.

BIBLIOGRAFIA

1. Altschul, A. M. 1973. Protein food technologies and the politics of food: an overview. *En* A. M. Altschul (ed.), New protein foods, Vol. 1A, Technology, Academic Press, Nueva York.
2. Autret, M. 1970. World protein supplies and needs. *En R. A. Lawrie (ed.) Proteins as human foods,* Butterworth, Londres. págs. 3-19.
3. François, P. 1969. Nutr. Newslett. 7 (3): 1. FAO, Roma.
4. Perissé, J., F. Sizeret, y P. François. 1969 Nutr. Newslett. 7 (3): I FAO, Roma.
5. Provisional indicative world plan for agriculture development. 1969. FAO, Roma, Vol. 2, p. 486.
6. The state of food and agriculture, 1970. 1970. FAO, Roma.
7. World food–population levels. 1970. Informe al Presidente. Abril, 1970. U. S. Department Agr., Washington, D. C.

COMO SATISFACER LAS NECESIDADES ALIMENTARIAS MUNDIALES

R. G. Anderson*

Durante siglos, la búsqueda de un sustento adecuado ha sido una empresa importante para el hombre. En un principio, el hombre vivió literalmente de lo que podía llevarse a la boca y en realidad, su existencia como especie fue precaria. Sin embargo, la invención de la agricultura hace unos 9,000 años, le permitió establecerse, abandonando su vida nómada, y esto marcó los primeros albores de la civilización.

En la actualidad, en medio de la abundancia del gran mercado del mundo desarrollado, por lo general el público urbano relaciona los alimentos que consume con los campos y los agricultores que los producen. El mayor peligro de escasez alimentaria en una sociedad como ésta radica en las fallas de los sistemas de distribución de los alimentos o en las fallas del sistema económico para la distribución de los mismos a quienes los desean.

En muchos países en desarrollo no se presenta un panorama tan halagüeño, ya que la privación de alimentos ha sido un problema constante y crítico por muchos años. En el progreso agrícola ha habido logros aislados, a los cuales en conjunto se les denomina Revolución Verde. Si bien estos avances han evitado un desastre que ya podríamos haber tenido encima, se trata de un paliativo temporal del problema. Tenemos que reconocer que la Revolución Verde debe difundirse a muchos países, y aunque ese fuera el caso, su contribución es temporal y no deja tiempo para descansar.

Antes de abordar la pregunta de cómo satisfacer las necesidades alimentarias mundiales, quisiera filosofar un poco acerca de los orígenes de estos problemas.

* CIMMYT, México.

¿A qué se debió que vastas áreas del mundo no hayan avanzado al igual que sucedió con otras? ¿Por qué se han demorado tanto tiempo? Se han presentado muchas teorías para explicar esta falta de desarrollo, entre ellas los factores políticos y los sistemas educativos deficientes. Sin embargo, es probable que en las regiones tropicales bajas del mundo también haya otros factores que influyan.

DOS MUNDOS

En las regiones templadas sólo se puede levantar una cosecha anual, por lo que se tiene que cuidar del cultivo y almacenarlo para utilizarlo durante los meses de invierno. Así, en estas áreas, desde el principio se necesitó asegurarse de que la cosecha estuviese a salvo de contingencias. Más aún, había una presión real para asegurar que el abastecimiento fuese suficiente, de manera que persistiera la vida durante los meses improductivos. Considerando esta imperiosa preocupación por obtener suficientes alimentos, es posible explicar el por qué algunas sociedades civilizadas de estas regiones aparecieron relativamente tarde.

En el trópico, por otra parte, se pueden obtener cosechas durante todo el año, de modo que se eliminaron en gran parte las presiones para obtener y almacenar excedentes. Además, bajo tales condiciones, el mercado para absorber el exceso de producción era limitado. Merced a la menor necesidad de vestido y vivienda, la venta e intercambio de productos que satisfacieran dichas necesidades no era tan esencial como en las áreas templadas con inviernos crudos. Tampoco debemos olvidar que es más difícil almacenar alimentos en el trópico. Por tanto, producir más de lo requerido por las necesidades inmediatas era menos urgente en estas sociedades. La situación se agravó aún más por el sistema de tenencia de la tierra mediante el cual el terrateniente recibía la mayor parte de la producción. Con esto no afirmo que la vida era fácil ya que en realidad era difícil, pero parecía haber pocas oportunidades para lograr mejoras bajo las condiciones existentes. Quizá lo que se ha dicho es una sobresimplificación del problema total, pero, en mi opinión, es importante.

DOS TIPOS DE SOCIEDADES EMERGENTES

De acuerdo con las condiciones climáticas encontramos que existen dos tipos de sociedades emergentes. Las circunstancias forzaron a los grupos de las zonas templadas a asegurar un abasto adecuado de alimentos, así como a que tuvieran que desarrollar métodos eficaces de investigación e incrementar la eficiencia de la producción. A medida que este movimiento ganó impulso, se explotó la eficiencia recién desarrollada para estructurar sociedades industrializadas. Hoy día, sólo del 4 al 5% de la población de los Estados Unidos se dedica directamente a la producción primaria de alimentos.

En las regiones más tropicales, donde las sociedades son agrarias, se dio poco apoyo a la investigación. Aunque el alimento era inadecuado desde el punto de vista nutritivo, había lo suficiente en términos de la capacidad del mercado para absorber la producción. Muchos de esos países eran inclusive exportadores regulares de alimentos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, las mejoras masivas en el campo de la salud contribuyeron a disminuir drásticamente la tasa de mortalidad en la mayoría de los países, lo cual condujo a un marcado incremento en el promedio de vida esperado. En muchos países se duplicó el promedio de vida debido a la gran disminución de la mortalidad infantil. De esa manera, las poblaciones comenzaron a aumentar con rapidez.

En la mayoría de los países en desarrollo, los gobiernos no han podido estructurar servicios de seguridad social. El sustento de los viejos depende de sus hijos. En el pasado, cuando había epidemias era posible que sólo tres de cada diez niños sobrevivieran. Los rápidos avances en los campos de la medicina preventiva y curativa superaron la capacidad de muchos países para adaptarse a la nueva situación; las familias siguen siendo numerosas. Cada matrimonio necesitó de sus hijos para su "seguro social" familiar, y las poblaciones aumentaron. Es obvio el efecto multiplicador inmediato.

NIVELES DE POBLACION CRITICOS

Para la mayoría de la gente es difícil comprender los verdaderos aspectos atemorizantes del gigantesco crecimiento demográfico que nos espera. En la India se estima que los nacimientos exceden a las muertes en alrededor de un millón cada mes. Presumamos una cifra mensual de un millón que representa un incremento diario de más de 33 000 personas; y que un número semejante de gente muere cada día, lo cual es posible en una población de 560 millones. De esta manera, podemos calcular que en la India nacen más de 70 000 niños diariamente. Ahora, si se considera esta cifra en términos de educación, y que hay 35 niños por aula, las necesidades diarias serían de 2 000 aulas y 2 000 maestros por día, sólo para proporcionar una educación mínima a los niños que diariamente nacen en la India.

Aparte de la educación, piénsese en las implicaciones del suministro de los servicios médicos, de oportunidades de trabajo y aún de espacio vital a largo plazo. Esta es la situación de la India, donde el problema es ahora crítico. ¿Acaso el gobierno más rico del mundo podría con esta carga en su economía? Con las actuales tasas de natalidad, otros países pueden anticipar un problema similar en pocos años.

Por consiguiente, en cualquier análisis de las necesidades alimentarias del mundo (con toda nuestra filosofía y pronóstico en la bola de cristal en la cual vislumbramos una expansión ilimitada de la producción de alimentos mediante la investigación), todo parece insignificante en vista del incesante incremento demográfico. A todos nos preocupan los alimentos y la población. Sin embargo, asevero categóricamente que, a menos que se encuentren y se pongan en práctica métodos para detener este crecimiento demográfico tan excesivo, todos nuestros mejores esfuerzos combinados serán en vano; sólo podemos lograr una acción de retaguardia contra el hambre. A la tasa actual de crecimiento, la población se duplicará en 28 años. Cada nueva boca demanda alimentos. ¿Cómo podremos mantenernos al ritmo?

SE NECESITA PLANEAR

He presentado a propósito un panorama desolador, porque no debemos de hacernos ilusiones en cuanto a la seriedad de la situación: este problema debe de tener la más alta prioridad; sin embargo, esencialmente soy optimista y no acepto la posición de que no lograremos sobrevivir como especie.

Debemos comenzar con la suposición de que podemos controlar el incremento demográfico. Cruzarse de brazos y esperar lo inevitable sin luchar no es lo que la naturaleza tenía en mente cuando otorgó al hombre la voluntad de sobrevivir. La lucha del hombre por avanzar del estado silvestre natural al ser socialmente consciente que es hoy, requirió tremendas batallas competitivas.

Ya se despliegan grandes esfuerzos para resolver el aspecto demográfico del dilema que confrontamos, y se invierten enormes cantidades de dinero en investigación sobre esta materia. Nosotros, como agrónomos, tenemos que desempeñar importante misión, para la cual debemos aprovechar el tiempo al máximo para poder realizar los trabajos tendientes a limitar el incremento de población.

¿De qué armas disponemos en nuestro arsenal y cuáles son las perspectivas? Ahora tenemos la tecnología necesaria para suministrar alimentos al doble de la población actual si pudiéramos estimar (1) un abastecimiento ilimitado de insumos; (2) no interferencia por parte de gente que ignora lo referente a la agricultura (me refiero a los ambientalistas más entusiastas); y (3) una rápida y extensiva adopción de esta tecnología en todas las áreas agrícolas del mundo. Puesto que no se pueden ampliar las superficies cultivables sin cuantiosas inversiones en obras de irrigación y/o drenaje, la mayor parte del aumento de la producción debe provenir de las tierras que ya están bajo cultivo. Por tanto, debemos concentrar nuestros esfuerzos hacia el incremento de la capacidad genética de rendimiento de las plantas, la estabilización del rendimiento inmunizando las plantas contra enfermedades, plagas y sequías, y hacia la maximización del rendimiento a través de los tratamientos agronómicos apropiados. En esta conferencia estamos considerando la nutrición, ya que es un factor de importancia decisiva. Algunas veces olvidamos que el efecto de acrecentar el valor nutritivo es el de aumentar el rendimiento, puesto que una menor cantidad de alimentos pueden suministrar las proteínas, las calorías y las vitaminas esenciales.

DEFINICION DE LA CALIDAD

Las discusiones de esta conferencia me sugieren preguntar de inmediato si hemos definido nuestros requerimientos en cuanto a calidad. Como fitomejorador, yo diría que lo que necesitamos es un método de fácil aplicación que nos diga qué producirá un linaje o familia en particular en lo que se refiere al crecimiento. No me preocupa específicamente el nivel o el valor proteínico. Me interesa el producto final, la suma de todas las características para acrecentar el crecimiento que posee un linaje o familia, según se compara con otras.

Me parece que el cereal debe probarse de acuerdo con la forma en que trabaja según su condición actual y con respecto a su valor por unidad consumida más que como una dieta que ha sido modificada en un cierto nivel proteínico, o de grasas o de carbohidratos. En los países donde trabajamos es

improbable que haya dietas balanceadas para humanos o animales durante muchos años. Por lo tanto, el cereal mismo es lo que debemos probar, no los artefactos que producimos.

En los países industrializados el problema es menos urgente. Por lo general el nivel educativo es alto, la eficiencia de producción alimentaria es alta y la investigación tecnológica está bien desarrollada, aunque su operación no siempre sea eficiente. En general, estos países pueden producir más allá de sus necesidades. Sus niveles de población se han estabilizado y se controla bien la seguridad social. Yo pronosticaría que, en la mayoría de estos países el abastecimiento alimentario proseguirá el ritmo del aumento demográfico por lo menos hasta fines del siglo veinte, siempre y cuando se continúen aplicando las medidas de protección vegetal adecuadas. Sus economías son fuertes y se pueden pagar los insumos necesarios.

MANEJO DE LA PRODUCCION AGRICOLA

Desde la Segunda Guerra Mundial, la eficiente producción de los países desarrollados se ha empleado para compensar las necesidades de consumo de alimentos de numerosos países en desarrollo. Por una parte, los críticos dicen que esta utilización beneficia a la comunidad agrícola de los países exportadores. Es posible que sea así, no obstante, esta exportación representa un flujo de gran valor por parte de los países aportadores y, a la luz de ello, un gesto humanitario de una magnitud nunca igualada. La hambruna hubiese destruido millones de seres humanos sin este comercio. Sin embargo, los donativos o ventas de este tipo basándose en préstamos a largo plazo con intereses bajos, pueden crear una condición artificial. Cuando esos alimentos se ponen al alcance de todos, el abastecimiento alimentario interno tiene posibilidad de permanecer estable. De esta manera, los gobiernos de las naciones importadoras pueden posponer el día "maligno", en situación en las que podrían verse forzados a confrontar lo inevitable: que su propia agricultura se debiera hacer rentable y autosuficiente. Los gobiernos olvidan que en condiciones de déficit alimentario (cuando el abastecimiento de víveres dependen de otra u otras naciones) no son los amos y señores de su propia casa.

LOS ESFUERZOS PRODUCTIVOS DE INDIA Y PAKISTAN

Algunos países reconocieron la necesidad del cambio antes que otros. Pienso que es justo decir que no es accidental que la India y Pakistán hayan figurado entre las primeras. La escasez de alimentos había rebasado el punto crítico y ambos países se aproximaban con rapidez a una situación en que el suministro se haría "del barco a la boca", condiciones a las que llegaron en el período 1966-1967 Los gobiernos de las dos naciones tomaron una difícil y necesaria decisión. Para comenzar, solicitaron y obtuvieron la asistencia de las Fundaciones Ford y Rockefeller, en Pakistán y la India, respectivamente, a fin de reorientar sus programas de investigación. India y Pakistán importaron nuevas semillas, crearon un ambiente de urgencia nacional, y apoyaron todo esto mediante una

eficaz acción gubernamental. Muchas otras instituciones ayudaron en el impulso a la producción de maíz, trigo, arroz y sorgo. Los esfuerzos conjuntos dieron nuevos dividendos.

No deseo profundizar en este aspecto, puesto que se ha escrito mucho acerca del cambio agrícola conocido como la Revolución Verde. Si bien muchos de los escritos son inexactos, no pretendo referirme a esas inexactitudes, ya que eso sólo nos llevaría una semana de debates. En la India y Pakistán se siguieron ciertos procedimientos básicos que quizá sirven como un proyecto parcial de los enfoques que podrían utilizarse redituablemente para incrementar la producción de alimentos en cualquier país.

PROYECTO PARA LA PRODUCCION DE ALIMENTOS

¿Cuáles son estos factores y cuáles los procedimientos? Supongamos que se dispone de variedades superiores a los cultivos existentes, como fue el caso de los que se hicieron en el subcontinente indopakistano. El bosquejo general de la situación en estos países y los programas para remediarla son los siguientes:

1. Ambos países se encontraban en una condición crítica. Los gobiernos siempre carecían de fondos y sólo se satisfacían las necesidades críticas del día. Este factor no sólo afecta los programas básicos, sino también el calendario y el planeamiento de las partes componentes dentro de un programa. Así, la producción agrícola se convirtió en la preocupación básica del gobierno y recibió su respaldo, sin este impulso *nacional,* los programas de producción avanzarían con lentitud, si es que hay algún avance.

2. Con base en el nuevo enfoque de investigación formulada por el programa de maíz de la India, el sistema de investigación de ambos países se coordinó a nivel nacional y se orientó hacia los cultivos, y no hacia las disciplinas como en el pasado. Los equipos técnicos por cultivo operaron bajo un programa nacional coordinado. Al de los proyectos piloto, a los equipos del programa los respaldaba totalmente la acción gubernamental, puesto que las decisiones se aplicaban en todo el país. La investigación se planeó a fin de dar prioridad a los estudios de variedades resistentes a las enfermedades y a las prácticas agronómicas. Más tarde se incorporaron al panorama otras variables de calidad y un sistema de vigilancia contra enfermedades e insectos. La evolución de un enfoque primario de cantidad a las condiciones de calidad, posteriormente se consideró como una estrategia justificada en esta situación crítica.

No se puede soslayar la importancia de remodelar la investigación para hacerla un programa coordinado orientado hacia los cultivos. Una necesidad de primera importancia en los países en desarrollo, es la institucionalización de la investigación si se desea que la producción agrícola ha de llegar a una etapa de autosuficiencia y eficacia. Me aventuro a decir que si en los países avanzados se siguiera un sistema similar, se obtendría una mayor eficiencia de la investigación.

¿Pero qué se puede decir acerca de los países con escaso personal científicamente adiestrado? Se aplica el mismo principio, pero el período de formación que se necesita es más largo. Esto no significa que la producción de granos debe esperar a que haya suficiente personal especializado para continuar con ella. Sin embargo, hay que emprender pasos preliminares en la planeación nacional para

establecer el sistema educativo que se necesita. Este sistema debe producir, como mínimo, un número suficiente de jóvenes científicos al nivel de licenciatura en agronomía para estructurar el personal. Este adiestramiento ha de recibir alta prioridad.

En todo el mundo hay facilidades para obtener financiamiento a fin de seguir estudios de postgrado en otros países, y se deben seleccionar los jóvenes más capaces para recibir esa educación. Empero, no es necesario tener un doctorado para ser un científico eficaz y no se debe tener la idea de que este grado es un requisito para el trabajo en ciencia aplicada. Las instituciones patrocinadoras deben considerar que la gran escasez de personal científico calificado permitirá a los primeros técnicos adiestrados ocupar de inmediato los puestos administrativos. Aunque se piense que esta movilización de los científicos que reciben educación avanzada es inadecuada, el proceso de adiestramiento debe continuar hasta que la demanda de científicos se satisfaga por completo. Por consiguiente, es muy importante que los primeros seleccionados sean los mejores de que se dispone. Si el científico no tiene iniciativa, será un líder deficiente; si está motivado, alentará a los jóvenes que estén bajo sus órdenes.

3. Los resultados de la investigación se deben transmitir al agricultor por medio de demostraciones prácticas en su finca. No acepto la excusa de que el agricultor no acepta el cambio porque carece de educación. *Inteligencia y educación no son sinónimos.* Por lo general el campesino es muy inteligente en lo concerniente a sus prácticas agrícolas, pese a su incapacidad para leer o escribir. Si no fuese inteligente, no hubiera sobrevivido a las diarias vicisitudes.

Algunas de mis experiencias indican que para que las primeras demostraciones tengan éxito, deben hacerlas los investigadores ya que son los que conocen mejor las variedades y el mayor paquete de prácticas agronómicas. Además, estos científicos tendrán que estar convencidos que el sistema funciona. Este no es un estudio sobre los extensionistas; sin embargo, la mayoría de ellos sencillamente saben poco acèrca de tales demostraciones. Debido a su falta de confianza, los extensionistas a menudo son incapaces de convencer a los agricultores del valor de las nuevas técnicas. Con frecuencia tienen muchas tareas que desempeñar y, además, suelen trabajar bajo un sistema en que las fallas significan la pérdida del puesto o de la autoridad. Por otra parte, el mantenimiento del status-quo es la ruta más segura, puesto que ningún cambio hacia arriba o hacia abajo pone en peligro la situación ni la seguridad del puesto. Sin embargo, tan pronto como se les muestre el camino estos trabajadores se transformarán también en una arma educativa eficaz.

Con frecuencia se considera inapropiada la forma en que los agricultores se transmiten información, y sin embargo es una de las maneras más importantes de extensión. Una y otra vez se escuchará decir al agricultor que supo de una nueva idea gracias a otro agricultor.

4. El gobierno debe asegurar que esté bien balanceada la relación entre el costo de los insumos y el precio del producto. El agricultor debe obtener una ganancia. Además si se promueve un cultivo en especial, el agricultor debe estar en posibilidad de obtener mayores ganancias con él que con otro cultivo competitivo que pudiera ser de menor valor para la economía del país en esa época determinada. Si el arroz rinde más ganancias que el maíz durante el período del monzón en la India, es improbable que el agricultor cultive maíz. De igual

manera, si en el Estado de Sonora, México, el cártamo o el algodón son más rentables que el trigo, los productores no sembrarán trigo. Por consiguiente, hay que definir y establecer las prioridades. En realidad, todos los cultivos deberían estar respaldados por el mismo campo de investigación, de tal manera que la eficiencia productiva fuese relativamente equitativa para todos. Desafortunadamente, este no es el caso, y las manipulaciones de los precios suelen ser los medios que más se utilizan en el mercado para alentar cambios en los sistemas de producción. La manipulación de precios del mercado es un procedimiento muy delicado que puede desbalancear la economía entera si no se ejerce con cautela. Hay que establecer un precio de garantía que suministre el incentivo requerido en el cultivo que se necesita, y el gobierno debe defender escrupulosamente tal precio, el cual debe comprar, a ese precio de garantía, todo el grano de calidad aceptable ofrecido. Si no se hace así, se lesionará al pequeño productor privado, puesto que él no tiene los medios para almacenar sus existencias y tampoco puede esperar los aumentos de precios que se registran en el mercado de precosecha del año siguiente. El tiene que vender durante el tiempo de la cosecha cuando las entregas son cuantiosas y cuando los precios (sin garantía de por medio) bajan mucho. La ventaja para los consumidores viene de una mayor estabilidad de precios resultante del uso de las existencias del gobierno para regular el mercado.

5. Al mismo tiempo que la tecnología comienza a difundirse a mayor escala, el gobierno debe emprender actividades para satisfacer la necesidad de insumos. Al principio habrá que importar los fertilizantes. Pero considérese por un momento que una tonelada de fertilizante producirá de 16 a 20 toneladas de grano si se utiliza correctamente, o que la carga de fertilizante de un barco producirá de 16 a 20 cargas semejantes de grano. Piénsese en el ahorro que se logrará en las maniobras que se hacen en el puerto y en el incremento de riqueza dentro del país. Tan pronto como sea posible habrá que instalar y operar plantas nacionales de fertilizantes, las cuales pueden ser públicas o privadas, y su construcción puede contar o no con subsidio gubernamental. En todo caso, hay que controlar los precios a un nivel redituable. De la misma manera, dentro del país hay que instalar con rapidez plantas manufactureras de productos químicos agrícolas tales como herbicidas, fungicidas e insecticidas. En las regiones con sistemas de irrigación, debe disponerse de bombas, motores, tuberías, etc. Otras ramas de la industria agrícola, como el abasto de maquinaria, se comenzarán a desarrollar a medida que se genere mayor capacidad de compra en el sector agrícola de la economía.

6. Si el gobierno ha de intervenir en el manejo y la comercialización del grano, las facilidades de mercadeo son esenciales. También el almacenamiento es esencial pero, consistente con el tema de que el financiamiento es crítico, no se debe esperar que el sector público instale almacenes sino cuando la producción demande su construcción. Como lo diría cualquier administrador gubernamental, es imposible encontrar financiamiento para levantar nuevos almacenes cuando las bodegas existentes están vacías. Este aspecto significará algunas pérdidas al principio, pero son pérdidas que no se pueden evitar.

7. Conforme el país se aproxima a la autosuficiencia y hay producción de existencias reguladoras adecuadas, se puede esperar un ajuste en el precio de

garantía. Es posible que dicho ajuste fuera necesario para evitar excedentes grandes y onerosos.

MECANIZACION

Quisiera hacer algunos comentarios breves sobre la mecanización. En mi opinión, en los países que tienen una vasta población rural sólo ciertas actividades se deben mecanizar. Por supuesto, la substitución de la fuerza de tracción animal por tractores permite que los terrenos que antes se usaban para la alimentación de animales, ahora sirvan para la producción de alimentos humanos. Es probable que el cambio al tractor operaría mejor si los tractores se rentaran en los países o regiones donde predomina el minifundio. La siembra mecánica es importante para asegurar la situación de los cultivos puesto que las deficiencias en este aspecto son responsables de graves reducciones de rendimiento en muchos países. La cosecha puede ser manual, especialmente cuando la mano de obra es abundante. Sin embargo, conviene mecanizar la trilla rápidamente a fin de utilizar la fuerza de tracción animal en los trabajos de campo. Esto se torna crítico en situaciones de cultivos múltiples.

Los puntos que he mencionado son partes importantes del panorama que representa el aumento de la producción y el suministro de apoyo para asegurar la continuación de la investigación. Me aventuraría a decir que estas sugerencias operarán en la mayoría de las situaciones y que, con las modificaciones pertinentes, son universalmente aplicables.

PRODUCCION DIRECTA DE ALIMENTOS

Regresemos a la cuestión directa de la alimentación. Empleando el enfoque precedente y otros similares, ¿qué ganancias se han obtenido? Me referiré principalmente al trigo, ya que es el cultivo que mejor conozco, pero el caso es semejante para otros cultivos que están bajo investigación.

En la India con el respaldo gubernamental, las nuevas variedades y la nueva tecnología para trigo, maíz y arroz han mostrado notables incrementos de producción en los últimos años. La cosecha de maíz aumentó de 4.1 millones de toneladas en 1961 a 7.4 millones en 1971; el arroz pulido de 34.6 millones de toneladas en 1961 a 42.4 millones en 1971, y el trigo cuya producción media de 10.3 millones de toneladas durante la década 1956-1966, aumentó a 26.5 millones de toneladas en 1972. Pakistán, por su parte, aumentó la producción de trigo de una cosecha promedio de 4.0 millones de toneladas en 1966 a alrededor de 7.2 millones de toneladas en 1970. El desmembramiento político, la guerra y otros factores han mantenido estática la producción de Pakistán entre 6.8 y 7.2 millones de toneladas. Si estos factores se eliminaran o disminuyeran, la producción podría aumentar a 10 millones de toneladas. También las cosechas de arroz y maíz han registrado considerables progresos en Pakistán.

En tres años, Argelia avanzó de una superficie de 5 000 ha de trigo con variedades y tecnología mejoradas (1969-1970) a 140 000 ha (1970-1971) y luego a 325 000 ha (1971-1972). Este programa recibe un fuerte apoyo del

gobierno. Este año se logró autosuficiencia en el abastecimiento después de un largo período deficitario. Túnez también logró su autosuficiencia en el período de cosecha en tanto que Marruecos ha mejorado su producción sensiblemente y en 1975 estableció una nueva marca en trigos harineros. En muchos otros países africanos y en ciertas naciones latinoamericanas se han obtenido resultados similares con trigo o con otros cultivos.

Sin embargo, hay un gran potencial inexplotado para incrementar los rendimientos de cultivos alimenticios en el trópico, particularmente en Asia y Africa. En América Latina, además de las posibilidades de incrementar los rendimientos, todavía hay vastas superficies que se pueden incorporar a la producción agrícola.

Con la rotación de cultivos múltiples habrá considerables aumentos en la producción total. En ciertos países, donde la superficie agrícola es limitada, se levantan hasta cinco cosechas anuales de cultivos sucesivos que se siembran entre los surcos del cultivo anterior antes de la siguiente cosecha. Sin ir a este extremo, varios países informan de la práctica cada vez más usada de cosechar tres o cuatro cultivos de intersiembras sucesivas en los ciclos adecuados y con las variedades apropiadas. La producción de trigo en la parte baja del Ganges en la India es un ejemplo de este procedimiento. Bengala Occidental sembró unas 45 000 ha. de trigo durante muchos años. En 1972, la superficie fue de unas 500 000 ha. Este incremento fue posible merced a la introducción de un trigo más precoz que se puede sembrar después de la cosecha tardía de arroz. La práctica no reemplazó cultivos existentes, sino que hizo más productiva la tierra que antes se dejaba en descanso durante el invierno.

El control químico y mecánico de las malezas puede contribuir considerablemente al rendimiento en todos los terrenos agrícolas. El buen manejo del agua en las regiones de temporal, junto con el uso apropiado de los fertilizantes, puede duplicar los rendimientos actuales en casi todas esas áreas. El mayor empleo de variedades con resistencia genética a la sequía y a las plagas y enfermedades también dará como resultado un aumento en la producción. La introducción de rotaciones de ganado-cereales mediante el empleo de leguminosas forrajeras en rotación con los cultivos puede conducir a una mayor estabilidad agrícola.

Los terrenos salinizados en los actuales sistemas de riego se deben drenar sin demora. Igualmente, hay que captar para usos agrícolas las corrientes fluviales que ahora van a dar al mar.

A través de estas medidas, se puede hacer que la superficie que en la actualidad se usa para la agricultura de ambos hemisferios duplique su producción de alimentos, pero debemos aplicar la tecnología conocida y proseguir el suministro de variedades adecuadas en los programas de investigación. Esto requiere de una basta conjunción de recursos a nivel internacional. La meta se puede lograr si nos empeñamos en ello.

SEÑALES DE ALARMA

Por otro lado, somos testigos de varias señales omniosas. En nuestra búsqueda para mantener equilibrada la disponibilidad de alimentos, todavía no podemos

depender de una estabilidad cabal de la producción. Así, debemos continuar sobreproduciendo y almacenando para los años magros.

Hace poco tiempo, las existencias mundiales de alimentos se agotaron en gran parte. Esto es particularmente cierto en el caso del trigo. Y, sin embargo, hace pocos años, los países exportadores deploraban estos excedentes. La superficie cultivable para ciertos cultivos agrícolas se asignaba sobre bases de cuotas y se introdujeron fenómenos tales como el banco de crédito territorial de los Estados Unidos, que más tarde también se estableció en Canadá. Estos frenos a la producción eran esenciales para sus economías. Un comentario sobre nuestra falta de organización como especie es que, por un lado restringimos la producción mientras que por otro buscamos procedimientos para aumentarla. Sin embargo el factor económico de la distribución no se resuelve fácilmente.

Para retornar al tema, la actual reducción de las existencias ocurrió debido a tremendas pérdidas en el trigo de invierno de la Unión Soviética, que la llevaron a importar alrededor de 18 millones de toneladas. También es probable que la cosecha de trigo de China, se haya dañado puesto que sus importaciones han sido cuantiosas.

Visto en este contexto, ¿qué pasaría si la India, Pakistán, Afghanistán, Irán, Turquía y Noráfrica también hubiesen sufrido pérdidas en sus cultivos el año pasado? Es obvio que las existencias no hubiesen bastado para evitar una hambre general.

Recientemente recibí una carta del Dr. Borlaug en la cual indicaba que en Brasil, este año (1972) se registraron heladas a fines de agosto y principios de septiembre. Los rendimientos estimados de trigo se redujeron en un 50%. Siguieron lluvias continuas y otro 50% del remanente fue destruido por *Septoria*. Borlaug señala que Brasil tendrá suerte si consigue cosechar 800 000 toneladas de alimento para los pollos de los 2.4 millones de hectáreas sembradas. Se ha informado de un desastre similar en Paraguay, y Argentina será afectada por lo menos parte. Brasil y Paraguay tienen probabilidades de figurar en la clientela del mercado internacional para comprar, de manera que presionarán los precios ascendentes más aún.

En el verano de 1972, la India sufrió pérdidas substanciales de alimentos en los cultivos Rhaniff o del monzón. Esta pérdida se estima en un cifra tan alta como 15 millones de toneladas. Para compensar esta carencia, la India emprendió un programa tendiente a sembrar con trigo toda la tierra disponible, con la esperanza de incrementar la producción de los actuales 25.6 millones a 33 millones de toneladas en este invierno. La India intenta lograr esto con alrededor de 33% menos fertilizantes que los que debiera tener. La falta del monzón también disminuyó el abastecimiento de agua de riego y la fuerza hidroeléctrica para operar las bombas de los pagos.

Según lo supe aquí, en diciembre de 1972 cayó una fuerte lluvia en una vasta área, que pudiera aliviar la situación en cierto grado. La única cosa que evitó el hambre en 1972 fue una existencia reguladora de trigo y arroz, planeada previamente y acumulada en la primavera anterior. La reserva de granos, que es de 7 a 9 millones de toneladas los mantuvo durante la crisis. Las sequías desde la India hasta Líbano influirán mucho en los abastecimientos.

Esta escasez influye de manera diferente en contra de las naciones en vías de desarrollo. La mayor demanda ha elevado los precios de 1.40 dólares por bushel

a 2.15 dólares por bushel en el mercado internacional; en precios de importación, esto representa un incremento del 54% sobre el precio anterior. En vista de la escasez que sufren muchos países, será necesario que todas las naciones exportadoras produzcan a un nivel mayor que el normal durante este ciclo a fin de evitar una hambre general en 1973.

Desde nuestro punto de vista como investigadores, debemos proseguir explorando todas las posibilidades para lograr estabilidad en el rendimiento. La variedad ampliamente aceptada es un testigo, y la resistencia a las enfermedades en su sentido más amplio debe mejorarse. Otro factor esencial es un mejor control de nuestras aguas aprovechables tanto para la producción bajo riego como para la producción de temporal. La rehabilitación de terrenos salinos mediante drenaje y ampliación del potencial de riego también debe recibir alta prioridad.

Para terminar, repito que el aumento demográfico es el mayor problema que confrontamos como especie. La alimentación es importante, pero si hemos de asegurar un mundo en paz, sus habitantes deben tomar también oportunidades. La falla aquí significa la extinción. Las necesidades territoriales son esenciales para el hombre, y la destrucción de una nación por otra será la secuencia si las necesidades de la población siguen aumentando. Yo pronosticaría que es improbable que las necesidades alimentarias vayan a ser la causa inmediata de las contiendas sociales. La falta de oportunidades para ganarse la vida, la carencia de escuelas y la desigualdad parecen ser factores que, aun antes que la falta de alimentos ocasionen trastornos sociales.

Para vivir es necesario alimentarse, pero la vida es algo para disfrutarse, no para soportarse. Podemos y debemos comprar tiempo. Como dije, soy optimista. No creo que el animal razonable que es el hombre haya luchado por tantos siglos sólo para lograr su extinción. Debemos organizarnos a nivel internacional y a nivel nacional a efecto de disponer y guiar los recursos y la tecnología necesarios para realizar el trabajo. Estoy convencido que podemos suministrar el tiempo, pero no debe haber negligencia de nuestra parte.

Parte II

EL MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA Y LA NUTRICION HUMANA

A. G. Pradilla*
D. D. Hampstead**
D. Sarria***
F. A. Linares****
C. A. Francis*

En la región central de la Zona Andina de Sudamérica, el maíz continuará siendo un importante factor en la nutrición humana. Las formas de uso y las cantidades consumidas varían mucho de un país a otro. Como ocurre con otros cereales, en Latinoamérica el maíz se combina con leguminosas, principalmente con frijol (*Phaseolus vulgaris*).

La llamada Revolución Verde está aumentando la producción y el consumo de cereales, pero podría disminuir la calidad de los alimentos utilizados, a menos que se asocie con una *revolución de la calidad* en los cereales. Un ejemplo de este desbalance nutricional fue señalado por Han y Yu (3), quienes lo explicaron como resultado del mayor consumo de arroz en Corea. Aún cuando podría lograrse un balance proteínico positivo si se ingieren mayores cantidades de proteína de baja calidad en los adultos (5), éste sería antieconómico puesto que la mayor parte de esa proteína se pierde a través de la orina y de las haces fecales (2).

* Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
** Department of Crop and Soil Sciences, Michigan State University, East Lansing, Michigan.
*** Instituto Colombiano Agropecuario, Palmira, Colombia.
**** Unidad Metabólica, Departamento de Pediatría, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

A menudo se proponen soluciones para mejorar la dieta, tales como el enriquecimiento de los alimentos básicos, la combinación de leguminosas o la creación de nuevas fuentes de proteínas. Sin embargo, a pesar de que cambiar los hábitos es relativamente fácil, según se ha demostrado en las sociedades industrializadas, los sistemas de comunicación y mercadeo de los estratos socieconómicos bajos son prácticamente desconocidos. La mayoría de los avances tecnológicos nunca llegan a estos grupos marginados. Parece factible dar a la gente alimentos con proteína mejorada y con genotipo no muy diferente al de los granos alimenticios que por lo general consume.

La experiencia previa ha demostrado claramente el impacto de cualquier disciplina que trabaja sola para superar el hambre y la desnutrición. El maíz en la Zona Andina no es excepción. Las actividades de investigación y desarrollo deben ir a la par a fin de aumentar la asequibilidad y la aceptación del maíz de calidad mejorada. En Colombia se ha impulsado la producción de maíz de alta calidad de proteína como una necesidad urgente. El maíz es una de las fuentes de proteína vegetal de mayor uso y constituye un grano básico alimenticio en muchas zonas del país. Hasta ahora los logros han sido posibles merced a la estrecha cooperación entre el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), la Fundación Rockefeller, la Universidad del Valle y la industria privada. En este documento se presenta un resumen de varios estudios.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En agosto de 1964, escasos dos meses después de que Mertz y sus colaboradores publicaron en la revista *Science* los resultados sobre su trabajo con el maíz opaco-2 (9), se obtuvo semilla de maíz con el gene opaco-2 y se comenzó un programa en Palmira con el fin de explorar el uso de este descubrimiento bajo las condiciones tropicales del Valle del Cauca. Percatados de que el gene opaco-2 produciría un grano de endosperma suave, diferente al que por lo general se acepta en el mercado, se tomaron dos decisiones iniciales.

El primer paso fue transferir, tan pronto como fue posible, el gene a líneas endocriadas de dos híbridos localmente adaptados a fin de obtener semilla para realizar pruebas extensivas.

El segundo paso fue el tener el maíz disponible en las condiciones genéticas más propicias. Como materiales básicos se escogieron el híbrido de doble cruza D.H. 253 de grano blanco y el híbrido de doble cruza ICA H. 207 de grano amarillo. Parecieron selecciones lógicas puesto que la industria ya estaba usando estos híbridos, aparte de que sería posible probar la calidad de procesamiento de las versiones opaca y normal. Igualmente, al usar estos híbridos se podría evaluar el rendimiento y otras características agronómicas del nuevo material. Sabíamos que si íbamos a llevar este maíz al público, la primera impresión que debíamos causar tenía que ser la mejor posible.

Experimento 1: Inclusión del gene opaco-2 en híbridos locales

En 1967, después de dos años de intenso trabajo de fitomejoramiento, fue posible comenzar la producción de maíz con proteína de calidad mejorada para realizar investigaciones sobre nutrición. Después de las pruebas analíticas de las diferentes cruzas, fue evidente que el gene modificador opaco-2 estaba presente en los dos híbridos (tabla 1) (11). Después de la tercera cruza reversiva (12) el rendimiento de los híbridos se aproximó mucho al de los materiales originales. En los cultivos comerciales se notó que había granos segregantes de endosperma dura, especialmente en los híbridos de grano amarillo. Se analizaron varias

TABLA 1 Composición de los aminoácidos de los maíces normales (H-253 y H-207), y de los maíces opaco-2 de endosperma modificado (H-255 y H-208)

	Normales		*Modificados*	
	H.207	*H.253*	*H.208*	*H.255*
Lisina	2.0	2.2	5.0	4.07
Leveína	19.5	16.1	12.7	11.60
Isoleucina	5.0	5.0	4.4	5.0
Fenilanina	6.5	5.4	5.3	4.6
Metionina	3.2	2.8	3.2	2.8
Treonina	4.1	3.5	3.7	4.5
Valina	5.3	5.4	6.67	6.15
Triptofano	0.55	0.6	1.10	0.99

colecciones de granos de tipos que tenían un endosperma desde 100% duro (cristalino) hasta 100% suave (harinoso), en ambos híbridos. Los resultados demostraron que tanto la concentración de lisina como los aminogramas de la proteína en esencia eran semejantes (tabla 2) para los tipos duro y suave (12).

Después de probar con animales los dos híbridos modificados (4,8), se comenzaron los estudios con humanos. En la Unidad Metabólica de la Universidad del Valle se admitió a dos niños tremendamente desnutridos, de 5 y 6 años de edad cada uno. El tratamiento usado para uno de ellos fue una dieta elaborada con 80% de proteína de la endosperma de maíz opaco-2 y 20% de proteína de leche. En el otro caso, la base de 80% también provino de opaco-2, en tanto que el resto se obtuvo de fuentes vegetales de mala calidad. Los dos pacientes logra-

TABLA 2 Contenido de proteína, lisina y triptofano de maíces opaco-2 con endosperma suave y endospermo duro

	Proteína (%)	*Lisina (g/100 g. de proteína)*	*Triptofano (g/100 g. de proteína)*
H. 255			
duro	10.9	5.2	0.83
suave	10.7	5.4	0.90
H. 208			
duro	10.2	4.9	1.00
suave	9.4	4.6	1.10

ron una recuperación física normal y demostraron una excelente absorción y retención durante el período de recuperación (11). Estos resultados nos alentaron a probar esta proteína de una manera diferente.

Experimento 2: Respuesta clínica y bioquímica de los niños desnutridos a los efectos del endosperma del maíz opaco-2 (6)

Para estos estudios se seleccionaron niños clasificados como muy desnutridos desde los puntos de vista dietético, antropométrico y bioquímico. Sus edades fluctuaron entre 28 y 60 meses. El peso y la estatura no excedieron el quincuagésimo percentil de un niño normal de 24 meses. Cada paciente se examinó con respecto a otras condiones patológicas, y sólo se admitió a aquéllos que estaban libres de las enfermedades debilitantes que con frecuencia se asocian en la desnutrición. La primera semana después de la admisión se dedicó a eliminar los parásitos que los niños tenían así como a efectuar una serie de pruebas bioquímicas para estimar su condición nutricional. La dieta para este período se calculó de manera que suministrase la misma cantidad de nutrimentos que los pacientes recibían en su hogar.

Durante la segunda semana los pacientes se sometieron a procedimientos estándar de balance metabólico para la colección cuantitativa de dietas duplicadas, rechazo de alimentos, y el analálisis de las heces y la orina a fin de determinar el nitrógeno, grasas, calcio, fósforo, magnesio, creatinina urinaria y aminoácidos de la dieta. Se les tomaron muestras de sangre semanales para los análisis de hemoglobina, proteínas del plasma y aminoácidos. Todos los métodos usados son estándar y han sido reportados en las obras, al respecto. También se registró el peso diario de los pacientes.

Cada dieta se calculó de modo que proporcionara las calorías, proteínas y vitaminas que el Comité de Alimentación y Nutrición del Consejo Nacional de Ciencia de los Estados Unidos recomienda para los niños de esta edad. El contenido de minerales fue adecuado. Las dietas se ofrecieron como una fórmula líquida y en forma de arepas (pan de maíz). Estas dietas suministraban 110 calorías/kilogramo de peso del cuerpo/día, con un porcentaje calórico dietético neto de proteína (N = 6.25) que fluctuó entre 8% y 10%, los carbohidratos entre 48 a 53%, y las grasas entre 38 y 43%. Toda la proteína que se consumió se derivó de la proteína de la endosperma del maíz opaco-2.

Los datos de peso y de estatura de la figura 1 (primero, segundo y tercer grados), demuestran el "síndrome de aceleración del crecimiento" de niños que recuperan de la desnutrición ya sea mediante proteína animal o mediante proteína del maíz opaco-2. Si el crecimiento se introduce como una función de la edad de desarrollo, se verá que esta aceleración del crecimiento no es mayor que el crecimiento normal de un niño de esta edad cronológica. La creatinina urinaria, la albúmina del plasma y la relación de aminoácidos esenciales con no esenciales aumentaron consistentemente una vez que empezó el experimento (tabla 3). La recuperación fue como se esperaba, algo más lenta que con las dietas terapéuticas que contienen mayores niveles de proteína de leche (de 120 a 150 días), puesto que la ingestión total de nitrógeno fue limitada. Estos hallazgos sugieren que la proteína de la endosperma del opaco-2 suministra cantidades

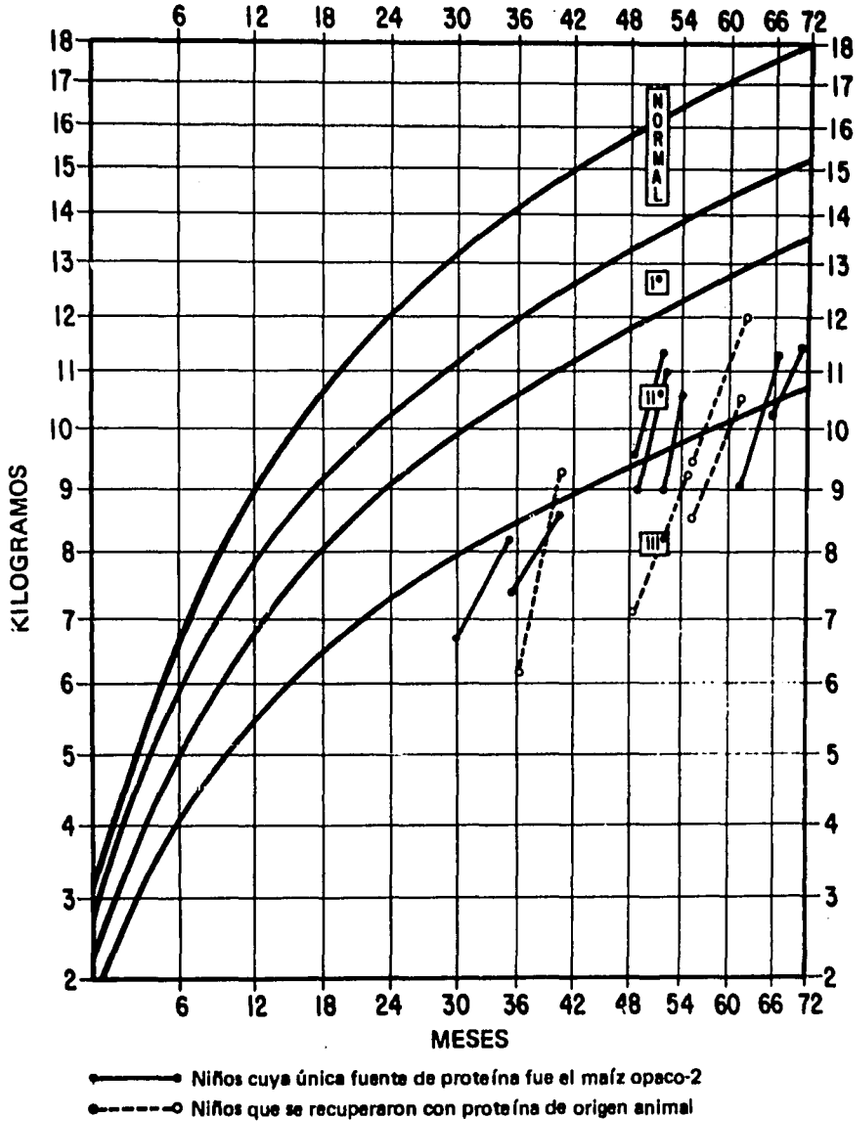


FIGURA 1 Síndrome de recuperación con niños que padecían desnutrición (sólo se graficaron los pesos de admisión y salida).

TABLA 3 Relación de aminoácidos en el plasma (AAR) por cromatografía circular, 24 horas de excreción de creatinina urinaria (UC), y albumina del suero (A), en seis niños que recibieron endosperma de opaco-2 como única fuente de proteína.[a]

AAR	2.5	2.1	1.4	1.3
UC (mg)	82	105	143	182
A	1.8	2.4	2.6	2.8

[a] Las cifras son los promedios de las muestras tomadas cada cuatro semanas.

adecuadas de aminoácidos esenciales y de nitrógeno total para conseguir una reposición eficiente de proteína en pacientes desnutridos y para lograr una dieta básica de un infante normal de la misma edad de desarrollo.

Experimento 3: Efecto metabólico del reemplazo y la adición de nitrógeno innecesario a las dietas de maíz opaco-2

En la Unidad Metabólica se efectuaron experimentos tanto con ratas como con niños (10). El propósito fue determinar la disponibilidad de los aminoácidos esenciales de la proteína del endosperma del maíz opaco-2 en relación con la proporción de nitrógeno innecesario (NEN) de otras fuentes. Se prepararon cuatro dietas diferentes con cantidades distintas (0%, 25% y 50%) de NEN, usando glicina y citrato diamónico, y comparándolas con una dieta estándar de 100% de caseína. Un total de 10% de las calorías de la dieta se derivó de la proteína de la endosperma del maíz opaco-2 (N = 6.25).

Los resultados obtenidos en ratas Sprague-Dowley recién destetadas se presentan en la tabla 4. Disminuciones de 25 y 50 por ciento en la cantidad de proteína de opaco-2, reemplazada por NEN, produjeron un marcado decremento en la tasa de crecimiento de las ratas. Este hallazgo también se reflejó en valores más bajos en la relación de eficiencia de proteína obtenida con la dilución. Lo cual sugiere que el nivel (10%) de la ingestión de proteína, la proporción de

TABLA 4 Valores de la relación de eficiencia proteínica del maíz opaco-2 cuando se añadieron diferentes proporciones de nitrógeno innecesario.[a]

	Dieta (%	*NEN (%)*	*Ganancia de peso*	*Ingestión de proteína (gramos)*	*Razón de eficiencia proteínica*[b]
Opaco-2	50	50	13.0	12.9	0.82
Opaco-2	75	25	33.0	22.8	1.42
Opaco-2	100	0	103.2	37.4	2.74
Caseína			72.8	25.9	2.95

[a] Nitrógeno innecesario y nitrógeno no esencial son términos que se utilizan indistintamente en esta ponencia. Se aplican a la porción que consiste de aminoácidos y compuestos de amonio no esenciales.

[b] Los valores de la razón de eficiencia proteínica se obtuvieron por el método de Campbell.

aminoácidos esenciales suministrados por el maíz opaco-2 no se pueden reducir sin afectar la utilización del nitrógeno.

Se dieron dietas similares a seis niños. La ingestión de nitrógeno se suministró a varios niveles. En cada nivel el nitrógeno del endosperma de maíz opaco-2 se reemplazó por 25 y 50% de NEN (glicina y citrato diamónico). Según se muestra en la tabla 5, la retención de nitrógeno neto no cambió significativamente con el reemplazo de 25 y 50%, excepto en aquellos períodos en que el nitrógeno de opaco-2 fue menor de 115 mg/kg de peso del cuerpo/día. Este valor más o menos de 10 mg, fue casi constante en los seis pacientes estudiados. Como se esperaba la absorción aumentó consistentemente con los niveles más altos de NEN, y así ocurrió también con la excreción urinaria, de manera que la retención neta para las tres dietas tuvo valores muy semejantes.

Puede decirse que una cantidad de 9.7 gramos de endosperma de maíz opaco por kilo de peso por día, es suficiente para la manutención de niños con edades de desarrollo de 18 a 24 meses. Las ingestiones que no reunieron ese requisito, independientemente de la ingestión de nitrógeno total, produjeron balances negativos. Esto podría implicar que las cantidades de lisina, triptofano, y otros aminoácidos son aprovechables para la utilización humana y podrían representar los requerimientos mínimos para grupos de esta edad.

TABLA 5 Retención del nitrógeno cuando la proteína del maíz opaco-2 se diluye con nitrógeno no esencial (NEN). (Las cifras representan observaciones en 6 niños)

N (fuente de opaco-2)[a]	190	142	95	230	175	115	280	210	140	310	232	155
NEN[a]	–	47	95	–	65	115	–	70	140	–	77	155
Absorción	130	140	145	120	160	165	190	190	210	220	220	180
Retención	80	(-) 40	-80	80	20	-50	80	20	(-)50	50	40	60

[a] Mg/kilogramos de peso del cuerpo/día.

Experimento 4: Mezclas de proteína de endosperma de opaco-2 con otros alimentos básicos

Se probaron cuatro variedades de fórmulas comerciales (HPCF) en cinco niños desnutridos de 5 a 6 años de edad y se hicieron observaciones antes de su recuperación. En el transcurso de todo el período de observación, las dietas se mantuvieron isocalóricas e isonitrogenadas. Al comienzo del estudio hubo tres días en que en la dieta se incluyeron proteínas. Sobre la base de las pérdidas endógenas fecales y urinarias, ingestión de nitrógeno y pérdidas totales urinarias y fecales, se calcularon el valor biológico (BV), la utilización neta de la proteína (NPU), la digeribilidad y la retención neta.

La composición de nutrimentos de HPCF es muy semejante a la de la leche entera, excepto en el contenido de grasas. Sin embargo, el total de calorías suministradas por todas las dietas de la fórmula se ajustaron al mismo nivel, a fin de mantener constante la ingestión calórica diaria. Como se indica en la tabla 6,

TABLA 6 Calidad de la proteína de mezclas de diversos productos vegetales que contenían maíz opaco-2. (Las cifras representan observaciones en niños de 5-6 años de edad que pesaron de 14 a 16 kg.)

	A	*B*	*C*	*D*	*EM*	*MM*	*MY*
Ingestión	175	175	175	175	175	175	160
Digestibilidad	87	87	81	86	85	86	91
Valor biológico	68	59	59	63	74	81	84
UNP	61	51	50	53	59	65	76
Relación de N	115	102	97	114	111	127	121

Notas: A: Leche descremada + maíz normal + soya; *B:* maíz normal + soya; *C:* Leche descremada + maíz opaco-2 + soya; *D:* maíz opaco-2 + soya; *EM:* Leche integral evaporada; *MM:* Leche modificada; *MY:* maíz opaco-2 + yuca.

las determinaciones de la calidad de la proteína son semejantes en las siete dietas excepto para las retenciones de nitrógeno, encontradas en la fórmula A (soya + maíz común + leche), D (soya + maíz opaco-2) y MY (opaco-2 + yuca), que indujeron la mayor retención de nitrógeno por kilogramo de peso del cuerpo. Las fórmulas A, D y MY tienen un valor nutritivo semejante al de la leche, tal vez el alimento más aceptable para la alimentación infantil.

Es posible sugerir dos efectos benéficos del uso del maíz opaco-2 en las dietas de destete: 1) hay gran aceptación del producto merced al prestigio de este tipo de maíz; y 2) el estímulo que tienen los productores al disponer de un mercado amplio para vender su producción.

También se hicieron pruebas en ratas albinas a las cuales se les dio pan y spaghetti, que prepararon en el Instituto de Investigaciones Tecnológicas de Bogotá. En estas dietas el trigo se reemplazó con un 25% de endosperma de maíz opaco-2. Los resultados demostraron que el valor nutritivo se duplicó. Los efectos benéficos de esta substitución resultaron obvios debido al mejoramiento nutricional y su influencia en la disminución del precio del producto.

Experimento 5: Comparación entre otros tipos de maíz de alta calidad proteínica y el maíz opaco-2 (9)

Esta prueba se hizo con niños recuperados que pesaban entre 12 y 14 Kilos. Cada dieta se probó en cuatro niños durante nueve días, y los resultados se reunieron para obtener los valores medios. La dieta se mantuvo a un nivel de 1.5 gramos de proteína/kilogramo de peso del cuerpo. Se dio cada dieta de maíz por dos días a manera de adaptación, y por tres días durante la prueba. Se utilizaron los maíces normales blanco y amarillo (H-253 y H-207) y el maíz opaco-2 modificado (H;255 y H-208). El maíz harinoso-2 modificado (obtenido de la Universidad Purdue) y una muestra que nos envió el Dr. Alexander de la Universidad de Illinois (de alta calidad y grasa, lisina de alta calidad), se compararon con una dieta de prueba de caseína. Al comienzo del experimento se usó un período

de tres días de dieta libre de nitrógeno para la cuantificación de los valores endógenos.

Los resultados que se presentan en la tabla 7 muestran que la calidad de la proteína de cada muestra de maíz modificado que se probó es significativamente superior a la de las variedades normales (H-207 y H-253). Los valores encontrados en los tipos modificados son del 85 al 95% de los valores obtenidos para la caseína.

TABLA 7 Pruebas biológicas de los maíces opaco-2 (H-208, H-255), harinoso-2, maíz de alta grasa y alta lisina (Ill.), y maíces normales (H-207 y H-253) en cuatro niños

	H-208	*H-255*	*H-207*	*H-253*	*Ill.*	*Harinoso-2*	*Caseína*
Ingestión de proteína							
N de	0.077				0.085	0.080	
proteína	0.227	0.160	0.225	0.200	0.255	0.240	0.150
Digestibilidad	95.0	95.0	76.9	66.0	88.2	84.9	98.0
Valor biológico	76.5	80.0	20.9	17.2	75.6	61.9	85.0
UNP	61.6	86.0	16.1	11.3	66.7	54.2	83.0
Retención	0.140	0.120	0.030	0.023	0.170	0.130	0.130

Experimento 6: Estudios sobre la calidad proteínica de genotipos de endosperma duro de maíz opaco-2 modificado

La aceptación del maíz opaco-2 ha sido limitada en las regiones de altitud media y baja de Colombia debido al endosperma suave de este maíz (1). Existe la necesidad crítica e inmediata de desarrollar maíces: (1) con proteína de calidad superior combinada con endosperma vítreo, (2) que sean aceptados por el consumidor y (3) y que pasen fácilmente a través de los canales del mercadeo.

A principios de 1966, en las observaciones hechas en cosechas comerciales de los híbridos opacos de cruza doble, se reveló gran variedad en el tipo de endosperma que iba desde los granos opacos, suaves, predominantes, hasta granos casi completamente cristalinos, pasando por tipos intermedios. Los análisis químicos (5) demostraron un alto contenido de lisina en estos granos segregantes. Sobre una superficie iluminada desde la parte inferior, los granos suaves fueron separados de los tipos esencialmente cristalinos. El contenido de proteína así como las concentraciones de lisina y triptofano no fueron significativamente diferentes en los dos tipos (tabla 2). Se prepararon dietas con estos tipos de opaco así como con maíz normal H-207, y con caseína. Se hicieron análisis de la razón de eficiencia de proteína en niños normales de 5 a 6 años de edad usando 1 gramo de proteína/kilo de peso del cuerpo.

Los datos que se presentan en las tablas 8 y 9 muestran que los granos duros que contienen el gene opaco-2 son casi idénticos en su valor biológico que los clasificados como opacos (suaves). Los resultados demuestran que un endos-

TABLA 8 Ganancia media, alimento consumido y valor de la razón de eficiencia proteínica en el estudio de alimentación de ratas

	H-208 opaco	*H-208 cristalino*	*H-207 normal*	*Caseína*
Ganancia (g)	84	62	26	69
Alimento consumido (g)	330	288	216	311
% proteína real	7.9	8.6	8.4	6.0
Proteína consumida (g)	26.1	21.9	18.2	18.7
REF	3.21	2.81	1.43	3.68
REF, estándar[a]	2.18	1.91	0.99	2.50
Porcentaje de caseína	87.2	76.4	39.4	100

[a] Valor de la razón de eficiencia proteínica de caseína estandarizada a 2.50.

TABLA 9 Comparación de balance de nitrógeno en 3 niños, usando diferentes fuentes de proteína.[a]

	H-208 suave	*H-208 duro*	*H-207 normal*	*Caseína*
Ingestión	175	175	175	175
Digestibilidad	91	87	78	98
UNP	69	65	36	75
Valor biológico	76	75	47	77
Nitrógeno/retención/día	1.52	1.50	0.93	1.81

[a] La dieta calculada incluyó 1 gramo de proteína y 100 calorías por kilo de peso del cuerpo por día.

perma opaco (suave) no está ligado completa e irrevocablemente a un contenido alto de lisina y triptófano, o sea a una reducción de zeína. Parece que pueden encontrarse genes modificadores que efectivamente modifican el tipo de endosperma sin reducir el valor nutrivito (7).

RESUMEN

Se presentan datos que confirman el mayor valor nutricional del endosperma del maíz opaco-2, en comparación con el del maíz normal. A los niños en los que se hicieron las pruebas, 9.7 gramos de maíz opaco-2/kilo de peso/día son suficientes para satisfacer el mínimo de aminoácidos esenciales. Independientemente de la ingestión de nitrógeno total, cantidades menores arrojan balances negativos. La ingestión media de maíz en las zonas urbanas de Colombia es de 36.7 gramos/persona/día y el rango fluctúa entre 6.8 y 113 gramos. La aceptación del maíz opaco-2 podría incrementarse si se pudieran ofrecer al consumidor fenotipos duros y suaves. Los resultados presentados sugieren que es posible localizar genes que modifiquen el tipo de endosperma. La utilización de

este maíz podría disminuir el precio de productos como pan y spaghetti al reducir la necesidad de importar trigo, a la vez que podría aumentar el valor nutricional de estos productos.

Auspiciado por la Fundación Rockefeller, 65071.

BIBLIOGRAFIA

1. Andersen, P. P. 1971. Feasibility of introducing opaque-2 maize for human consumption in Colombia. Intern. Center Trop. Agr. Tech. Bull. 1.
2. Bressani, R. 1972. The importance of corn in human nutrition in Latin America. Proc. Conf. Nutr. Improvement Corn, Guatemala, marzo 6-8, 1972.
3. Han, K. y J. Y. Yu. Nutritional problems imposed by rice overeating in Korea. IX Intern. Nutr. Congr., México, D. F. (Sumaria, p. 49).
4. Harpstead, D., y A. Pradilla. 1970. Biological testing of improved quality maize. Agron. Soc. Meeting, Chicago.
5. Harpstead, D., y A. Pradilla. 1970. Improving acceptability of opaque-2 maize. VIII Nutr. Congr., Praga.
6. Kies, C., E. Williams y H. M. Fox. 1965. Determination of first limiting nitrogenous factor in corn protein for human adults. J. Nutr., 86:350.
7. Linares, F., A. Pradilla y C. A. Francis. 1971. Studies on protein quality of flint phenotypes of opaque-2 modified maize. Proc. Western Hemisphere Nutr. Cong. III, Bal Harbour, Fla., sept. 1971.
8. Manor, G., y J. Gallo. 1970. El valor nutritivo del maíz opaco-2 para cerdos. First Natl. Opaque Maize Seminar, Bogotá.
9. Mertz, E., O. Nelson y L. S. Bates. 1964. Mutant gene that changes composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 154:279.
10. Pradilla, A. 1968. Availability of o_2 maize protein. *In* Protein foods for the Caribbean. Caribbean food and Nutr. Inst. 106 pp.
11. Pradilla, A., D. D. Harpstead, F. A. Linares y D. Sarria. Estudios analíticos y biológicos con proteína de maíz modificada por gene o_2. Antioquía Med., 19:201.
12. Pradilla. A., F. Linares, C. Francis y L. Fajardo. 1971. El maíz de alta lisina en nutrición humana. Acta Med. Valle, 2:91.

MEJORAMIENTO DE LAS DIETAS A BASE DE MAIZ ENRIQUECIDO CON AMINOACIDOS Y PROTEINAS SUPLEMENTARIOS

Ricardo Bressani*

Ha quedado bien establecido que la proteína del maíz normal es de poca calidad debido a que su proteína es deficiente en dos aminoácidos básicos, lisina y triptófano (11,18), y de aminoácidos menores, tales como los de isoleucina (11, 25). Además las cantidades excesivas de leucina reducen en un grado indeterminado la calidad proteínica del maíz (19).

Varios enfoques para mejorar la calidad proteínica de las dietas basadas en el maíz, han tratado de equilibrar el balance de aminoácidos, a través de: (1) suplementación con aminoácidos; (2) manipulación genética; (3) suplementación con proteínas; y (4) mezclas de calidad y alta calidad de proteína. Todos estos enfoques se han evaluado en el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), no con el propósito de discriminar entre ellos, sino para encontrar la solución más fácil y práctica a fin de obtener el mayor beneficio nutricional para quienes necesitan dietas que contengan más proteína de alta calidad.

El problema se relaciona más con esto último que con cualquier mérito individual. Con dicho propósito en mente, se presentarán los resultados de nuestros trabajos acerca de este problema. En el tema se incluirán resúmenes de los resultados sobre la evaluación de la proteína del maíz mejorada a través de los cuatro enfoques indicados con anterioridad, su efecto como componentes de dietas de baja calidad y el avance registrado hasta ahora en la aplicación de los hallazgos de la investigación.

* División de Ciencias Agrícolas y Alimentarias, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, Guatemala.

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ

Mediante suplementación con aminoácidos

Los resultados que se presentarán en la mayoría de los casos se obtuvieron de pruebas con niños de 2 a 5 años, alimentados exclusivamente con proteína de maíz aún cuando el trabajo experimental con animales con frecuencia ha dado resultados semejantes. La evaluación se hizo con la técnica de balance de nitrógeno, de la cual se obtiene la cantidad de nitrógeno retenido después de que la ingestión de nitrógeno se corrige con respecto a las pérdidas en las heces fecales y en la orina.

Los resultados de la tabla 1 indicen que la calidad proteínica del maíz se mejora si se agrega lisina y triptofano, y hay mayor mejoramiento cuando también se añade isoleucina en presencia de lisina y triptófano (1). Los datos presentados indican que se obtuvo el efecto merced a una disminución en las pérdidas de nitrógeno en la orina, puesto que el nitrógeno fecal se mantuvo un tanto constante.

TABLA 1 Efecto de la adición de aminoácidos a maíz tratado con cal (nixtamal) a varios niveles de ingestión de nitrógeno

Aminoácidos añadidos al maíz[a]	*Ingestión de proteína 3 gr/kg/día*		*Ingestión de proteína 2 gr/kg/día*		*Ingestión de proteína 1,5 gr/kg/día*	
	Ingestión	*Retención*	*Ingestión*	*Retención*	*Ingestión*	*Retención*
Ninguno	469	14	326	-5	238	-10
Lisina	482	38	335	24	239	-4
Lisina + Triptófano	461	83	328	36	239	30
Lisina + Triptófano + Isoleucina	475	108	335	40	240	46
Leche	458	70	364	73	–	–

[a] Niveles usados: L-lisina Hcl: 0.56%; DL-triptófano: 0.35%: DL-Isoleucina: 0.45%
Referencias: Bressani (1).

Los resultados que se muestran se obtuvieron a varios niveles de ingestión de proteína. El balance de nitrógeno aumentó a medida que la ingestión de proteína se incrementó de 1.5 a 3.0 gramos de proteína/kilo de peso del cuerpo/día. La adición de los dos aminoácidos también aumentó la retención del nitrógeno a todos los niveles de ingestión de proteína, pero hubo mayores incrementos cuando la ingestión de proteína de maíz fue de 3 g/kg/día.

La adición de isoleucina incrementó el balance del nitrógeno a todos los niveles de ingestión. Estos resultados son interesantes y se atribuyeron al alto nivel (de 53% a 55% aproximadamente) de la proteína de zeína en el maíz que se consumió. La zeína es una proteína desbalanceada que es deficiente en lisina y triptofano y con exceso de leucina. Es posible que la zeína permitiera explicar los resultados, puesto que las variedades de maíz con bajos niveles de proteína y, por consiguiente, con bajos niveles de zeína, dan mejores balances de nitrógeno, aún a bajos niveles de ingestión de proteína. Esta relación se mantiene, aún a

bajos niveles de ingestión, como se presenta en la tabla 2. Estos resultados demuestran que el maíz con bajo contenido de proteína da un balance de nitrógeno bajo pero positivo a una ingestión de 1.25 g/kg/día. Los valores de retención de nitrógeno variaron de 10 a 55 mg/kg/día, con un valor medio de 30 mg/kg/día. Los valores de retención de proteína de la leche fueron 2.5 veces mayores a iguales niveles de ingestión (26). El maíz con bajo contenido de proteína (7%) que se utilizó, tenía menos zeína (alrededor de 35%) y, por tanto, tenía más lisina y triptofano que el maíz con 10% de proteína.

TABLA 2 Balance de nitrógeno de niños alimentados con maíz de alta zeína y maíz de baja zeína

Tipo de maíz	*Ingestión de proteína (gr/kg/día)*	*Balance de nitrógeno (mg/kg/día)*				
		Ingestión	*Fecal*	*Orina*	*Absorbido*	*Retenido*
Alta zeína	1.50	238	58	190	180	-10
Baja zeína	1.25	192	48	114	144	30
Alta zeína + lisina + triptófano	1.50	239	47	162	192	30
Leche	1.25	195	38	82	157	75

Referencia: Viteri y colaboradores (26).

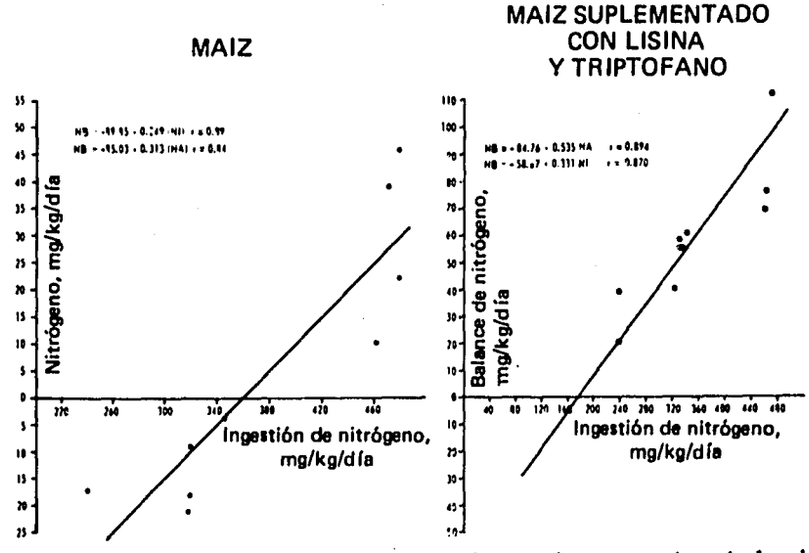


FIGURA 1 Balance de nitrógeno de niños alimentados con varios niveles de proteína de maíz suplementado con lisina y triptófano.

Se recopilaron los resultados a fin de calcular el índice de balance de nitrógeno de la proteína con o sin aminoácidos suplementarios (3, 4). Este índice equivale a un valor biológico que representa la cantidad de nitrógeno retenido del nitrógeno absorbido.

En la figura 1 se resumen los resultados para el maíz sin suplementar (izquierda), y para el maíz suplementado con lisina y triptófano (derecha). La línea representa la ingestión de nitrógeno con respecto al balance de nitrógeno. Se calculan ecuaciones de regresión del balance de nitrógeno (BN) con la ingestión de nitrógeno (IN) y el nitrógeno absorbido (NA) (figura 1). El índice del valor biológico para el maíz usado es el coeficiente de regresión (0.313, ó 31.3%). El mismo tipo de análisis se hizo cuando el maíz se suplementó con lisina y triptofano. En este caso, el coeficiente de regresión fue de 0.535 y el valor biológico fue de 53.5% lo cual es un incremento significativo sobre el maíz sin suplementar. Probablemente se obtendría un valor más alto si se hiciera el mismo cálculo cuando el maíz también se suplementase con isoleucina.

Por manipulación genética

Como ya se sabe, se ha logrado una mayor calidad proteínica en el maíz mediante la incorporación de varios genes mutantes, entre los cuales el opaco-2 ha probado ser muy efectivo (22). La calidad proteínica del maíz opaco-2 desarrollado en la Universidad Purdue en 1964, fue probado en niños. Merced a la colaboración del Dr. E. T. Mertz, en 1965 el INCAP recibió cierta cantidad de maíz opaco-2 sembrado y cosechado en los Estados Unidos; este maíz se usó en los estudios con niños. El material se coció en agua de cal, se secó y se analizó antes de suministrarlo a los niños como única fuente de proteína. Como se hizo antes, la calidad proteínica se midió mediante el método de balance de nitrógeno. Los resultados se presentan en la figura 2, donde el nitrógeno absorbido se compara con el balance de nitrógeno (12). En la figura 2 también se incluyen los resultados publicados en 1971 por Luna-Jaspe y colaboradores (20), quienes utilizaron un maíz opaco-2 colombiano. Se incluyen estas cifras puesto que son parte de la línea de regresión calculada previamente con base en nuestros resultados (4,12). La ecuación de regresión para todos los resultados se muestran en la figura 2 e indica que el índice de balance de nitrógeno del maíz opaco-2 para los niños es de 0.725. Usando este método de análisis de balance de nitrógeno, las cifras para la proteína de la leche a varios niveles de ingestión dieron un índice de balance de nitrógeno de 0.80. Esto significa que las proteínas del maíz opaco tienen un valor proteínico equivalente a 90% del de las proteínas de la leche. Utilizando la verdadera digestibilidad de la proteína y el valor del índice del balance de nitrógeno, se calculó un valor biológico de 87% para el maíz opaco-2. Con base en la gráfica, 100 mg de nitrógeno absorbido de equilibrio de nitrógeno, que en términos de maíz es alrededor de 125 gramos/día. Una ingestión de unos 180 gramos de maíz opaco-2 aseguraría un balance de nitrógeno altamente positivo.

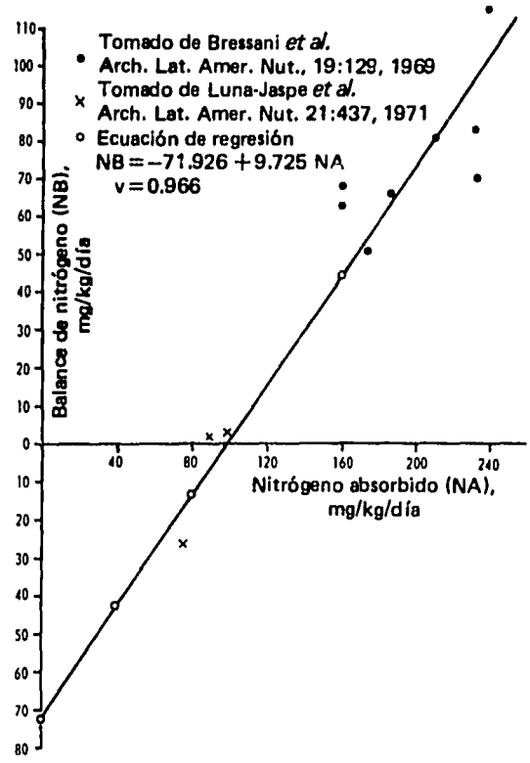


FIGURA 2 Indice de balance de nitrógeno de la proteína del maíz opaco-2.

De los resultados que se presentan en las figuras 1 y 2 se calcularon los valores que se muestran en la tabla 3 los cuales indican la ventaja nutricional del maíz suplementado con aminoácidos o del maíz opaco-2 sobre el maíz común. A partir de las cifras, se estimó que en los niños el equilibrio del nitrógeno era posible cuando la ingestión de nitrógeno era igual a 300 mg/kg/día teniendo como fuente al maíz normal, en contraste con 176 mg cuando la fuente era el maíz normal suplementado con lisina y triptofano, y con 135 mg de nitrógeno derivados del maíz opaco-2. En términos del nitrógeno absorbido para el equilibrio del nitrógeno, los valores mencionados anteriormente corresponden a 272, 158 y 99 mg/kilogramo de peso del cuerpo/día, para maíz normal, maíz suplementado con aminoácidos y maíz opaco-2, respectivamente.

El valor biológico de las tres fuentes de proteína se calculó y fue de 31%, 53% y 72%, respectivamente. Puesto que el valor biológico se define como la cantidad de nitrógeno retenido con respecto a la cantidad absorbida, es posible estimar cuánto del nitrógeno absorbido en realidad se utiliza en las funciones metabólicas. Estas cifras corresponden a 84, 84 y 71 mg de nitrógeno/kg/día, para el maíz normal, el maíz suplementado con lisina y triptófano, y el maíz opaco-2, respectivamente.

TABLA 3 Análisis de los resultados de la calidad proteínica del maíz normal, el maíz suplementado con lisina y triptófano y el maíz opaco-2.

	Maíz común	*Maíz + lisina + triptofano*	*Maíz opaco-2*
Ingestión de N a equilibrio de N (mg/kg/día)	360	176	135
N absorbido a equilibrio de N (mg/kg/día)	272	158	99
Valor biológico (%)	31	53	72
N utilizado a equilibrio de N (mg/kg/día)	84	84	71

	Aminoácidos en nitrógeno (mg/kg/día)					
Aminoácidos	*Absorbido*	*Utilizado*	*Absorbido*	*Utilizado*	*Absorbido*	*Utilizado*
Arginina	52	16	30	16	41	29
Histidina	41	13	24	13	19	13
Isoleucina	74	23	43	23	24	17
Leucina	203	63	118	63	61	43
Lisina	47	14	43	23	29	21
Total de aminoácidos sulfurados	59	18	34	18	21	15
Total de aminoácidos aromáticos	150	46	87	46	52	37
Treonina	65	20	38	20	24	17
Triptófano	4.9	1.5	14	7.6	9	6.6
Valina	76	23	44	23	34	24

A partir de los valores del nitrógeno absorbido y utilizado, se estimaron los aminoácidos esenciales absorbidos y utilizados; los valores que aparecen bajo la columna para las tres fuentes de proteína de maíz son un tanto semejantes, con valores bajos para lisina y triptófano. Estos representan cantidades mínimas de manutención para la edad promedio de los niños a los que se hicieron estos estudios. Más aún, también indican la pérdida del nitrógeno cuando se consume como maíz normal, puesto que se requieren 300 mg para dar básicamente el mismo patrón de aminoácidos esenciales utilizable, como es el de 176 mg de nitrógeno a partir del maíz suplementado con lisina y triptofano, o 135 mg a partir del maíz opaco-2.

Mediante suplementación con proteínas

Una tercera posibilidad que se utiliza para mejorar la calidad proteínica del maíz es a través de la suplementación con proteínas. Este enfoque consiste en agregar al maíz pequeñas cantidades de proteínas que constituyen ricas fuentes en los aminoácidos de los que el maíz carece. Se han probado varios materiales como posibles suplementos de proteínas y algunos de los resultados se muestran en la tabla 4. La columna de enmedio indica la cantidad a usarse a fin de obtener el mejoramiento indicado en la última columna. Con maíz que tiene un valor promedio de eficiencia proteínica (PER) de 1.0, todos los suplementos enlistados aumentan la calidad proteínica tanto como 2.5 veces. El efecto observado se debe a la contribución que tienen los suplementos proteínicos en la lisina y el triptófano, así como en el contenido de proteína (9). En tanto que la

TABLA 4 Niveles óptimos de varias proteínas para suplementar el nixtamal

Fuente de proteína	*Nivel óptimo % en la dieta*	*Razón de eficiencia proteínica*
Ninguna	–	1.00
Concentrado de proteína de pescado	2.5	2.44
Harina de soya	8.0	2.25
Harinolina de algodón	8.0	1.83
Levadura de tórula	2.5	1.97
Caseína	4.0	2.21
Proteína de huevo	3.0	2.24

Referencia: Bressani y Marenco (9).

mejora con aminoácidos sintéticos sólo aumenta la calidad proteínica, la mejora con suplementos de proteína aumentan la cantidad y la calidad de la proteína. Por consiguiente, la cantidad de proteína utilizable es mayor en el enfoque de suplementación con proteína que en el enfoque de adición de aminoácidos.

En la figura 3 se muestran los aumentos de la proteína utilizable para el maíz suplementado con harina de soya (5, 6). A las dietas con 70% de maíz se añadieron niveles hasta de 20% de harina de soya. La curva de la izquierda muestra el efecto sobre el PER, y sugiere un nivel óptimo de aproximadamente 8% de harina de soya. Estos resultados se calcularon luego en términos de proteína aprovechable (utilizable) y los resultados se conjuntaron como se muestran en la gráfica (derecha). La proteína utilizable tanto calidad como concentración proteínica. Puede verse que la proteína utilizable se incrementó casi linealmente, desde un valor de 2.5% para el maíz, hasta 7.2% cuando se añadió 8% de harina de soya, y a 10.6% cuando se suplementó con 20% de harina de soya. Debido a

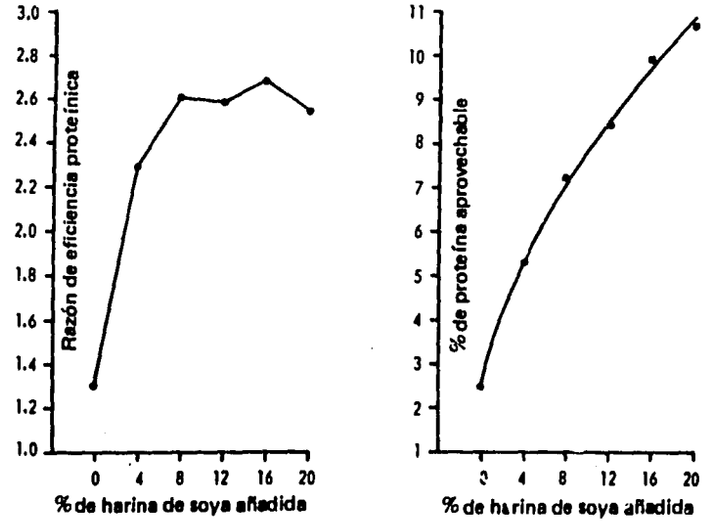


FIGURA 3 Suplementación del maíz con harina de soya.

consideraciones técnicas y a aspectos organolépticos, el nivel escogido para las pruebas subsiguientes fue de 8% de harina de soya (2).

El trabajo previo indicó que los niveles óptimos de lisina y triptófano necesarios para obtener la máxima mejora fueron de 0.30% a 0.40% de L-lisina y de 0.05% a 0.10% de DL-triptofano (11). Dado que un 8% de harina de soya era ligeramente menor que la cantidad requerida para suministrar toda la lisina (aunque sí proporcionaba todo el triptófano), el maíz se suplementó con 8% de harina de soya y 0.10% de lisina. Entonces se probó el valor nutricional del maíz suplementado con algunos niños y se le comparó con maíz sin suplementar, leche y maíz con frijol (87% de maíz y 13% de frijol negro cocido) (26). Los resultados medios del balance de nitrógeno en los niños se muestran en tabla 5. La ingestión de proteína fue esencialmente la misma, según se indica en la columna de ingestión de nitrógeno. La retención de nitrógeno mostrada en la última columna para el maíz suplementado con harina de soya y lisina, fue tan alto como el de la leche, en tanto que el maíz solo o el maíz con frijol negro dio

TABLA 5 Balance de nitrógeno de niños alimentados con varias fuentes de proteína con una ingestión de proteínas de 1.25 g/kg/día

Fuente de proteína	*No. de niños*	*Balance de nitrógeno (mg/kg/día)*		
		Ingestión	*Absorbido*	*Retenido*
Leche	7	195	157	75
Maíz	6	192	144	30
Maíz + frijol	4	207	150	36
Maíz + suplemento proteínico (harina de soya + 0.15% de L-lisina HCl).	6	197	154	63

Referencia: Viteri, *et al* (26).

los valores más bajos. Por consiguiente, estos resultados confirman los hallazgos de los estudios con animales experimentales e indican que el maíz suplementado con 8% de harina de soya y 0.10% de lisina tiene una calidad proteínica de aproximadamente 90% con respecto a la de la leche.

Mediante complementación con proteínas

Cuando el maíz se consume en cantidades tan altas como ocurre en varios países de Latinoamérica y Africa, suministra niveles relativamente altos de proteína total, junto con altos niveles de materia seca sin proteína, principalmente carbohidratos. Es obvio que esto se debe al nivel relativamente bajo de proteína en el maíz, nivel que adquiere importancia nutricional en relación a la ingestión de materia seca total por los niños. Para mejorar este aspecto y el que se refiere a la calidad proteínica, se han desarrollado mezclas alimenticias de maíz con otros ingredientes, las cuales suministran mayor calidad y cantidad de proteína. Se les conoce como las mezclas de proteína vegetal del INCAP, o fórmulas de Incaparina (2, 6, 7).

En la tabla 6 se resumen los resultados de los análisis del balance de nitrógeno de tres de tales mezclas en comparación con proteína de leche y huevo, según pruebas que se hicieron en algunos niños (13). La ecuación de regresión entre el nitrógeno absorbido y el balance de nitrógeno se muestra en la última columna. Los coeficientes para la leche, mezclas 9, 14 y 15, y huevo fueron de 0.69, 0.50, 0.63, 0.53 y 0.64, respectivamente. Por tanto, todos tienen una calidad de proteína que se aproxima a las proteínas de alta calidad que sirven como referencia, es decir, a las de leche y huevo. Estas mezclas contienen alrededor de 25% de proteína y se elaboran con 38% de pasta de soya o de semilla de algodón y 58% de maíz para las fórmulas 9 y 14, y 19% de pasta de semilla de algodón, 19% de pasta de soya y 58% de maíz para la fórmula 15. Este enfoque para el mejoramiento de la proteína del maíz incluye tanto el aspecto de concentración de la proteína total como el de la calidad de proteína.

TABLA 6 Ecuaciones de correlación y regresión entre ingestión de nitrógeno (IN) y retención de nitrógeno (NR), y entre nitrógeno absorbido (NA) y nitrógeno retenido

Fuente de proteína	*Coeficientes de correlación*	*Ecuaciones de regresión*
Leche	NI vs. NR = 0.66	NR = -35.7 + 0.55 NI
	NA vs. NR = 0.80	NR = -33.0 + 0.69 NA
Mezcla de vegetales 9	NI vs. NR = 0.56	NR = -23.8 + 0.28 NI
	NA vs. NR = 0.81	NR = -30.3 + 0.50 NA
Mezcla de vegetales 14	NI vs. NR = 0.89	NR = -52.0 + 0.55 NI
	NA vs. NR = 0.94	NR = -39.3 + 0.63 NA
Mezcla de vegetales 15	NI vs. NR = 0.75	NR = -55.4 + 0.48 NI
	NA vs. NR = 0.73	NR = -39.5 + 0.53 NA
Huevo completo	NI vs. NR = 0.85	NR = -52.5 + 0.59 NI
	NA vs. NR = 0.87	NR = -43.3 + 0.64 NA

Referencia: Bressani *et al* (13).

AVANCES EN LA APLICACION DE LOS VARIOS ENFOQUES

La aplicación de los hallazgos de laboratorios conlleva siempre varios problemas tales como las propiedades físicas y organolépticas del alimento fortificado, las cuales deben ser iguales o mejores que las del producto natural. Los cuatro enfoques que aquí se analizan satisfacen tales demandas completamente o casi por completo. Sin embargo, hay dos problemas adicionales difíciles de resolver, particularmente en sociedades que (1) producen su propio alimento y (2) que siguen métodos tradicionales y bien establecidos en la preparación de sus alimentos. Esto todavía es un problema por resolver; no obstante, se intenta hacerlo. Otro problema lo constituye el precio, aunque en esta ocasión éste no es un asunto que nos concierne.

Con aminoácidos sintéticos

En nuestros laboratorios, por medio de técnicas de infusión se estudian diferentes maneras de usar aminoácidos sintéticos. Ajustando las condiciones de infusión, se ha incorporado la concentración de lisina a niveles hasta de 6.2 g/100 g de granos. Usando otras condiciones, los niveles de triptófano han alcanzado niveles de 6.94 g/100 g de granos (17). La figura 4 presenta granos infundidos. Los granos infundidos de lisina tienen apariencia normal, pero los infundidos con triptófano tienen un color más obscuro debido a las condiciones de la infusión.

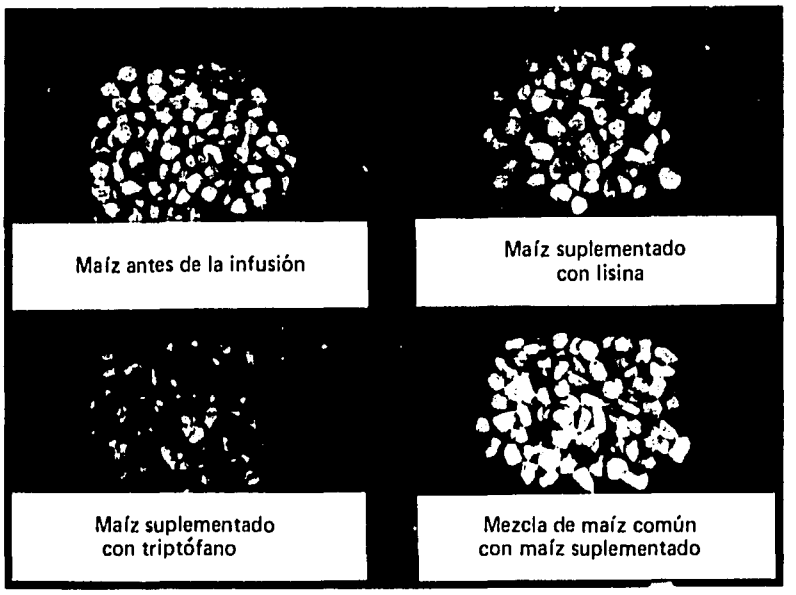


FIGURA 4 Aspecto de granos adicionados.

Puesto que los granos infundidos pierden de 50% a 60% de la lisina o el triptófano infundidos durante el proceso de remojo del maíz (16), se pueden añadir los granos ricos en aminoácidos al maíz en el momento en que éste se muele en el molino que se muestra en la figura 5. Para evitar que se añadan granos crudos, los granos que se van a utilizar en la infusión se cuecen previamente. Al entrar en el molino, se muelen y se mezclan con el resto del maíz cocido. Cualquier procesamiento adicional no destruye ni inactiva los aminoácidos añadidos (15). En la tabla 7 se muestra el efecto de mejorar la calidad proteínica del maíz normal con granos infundidos. La dieta 2 se elaboró con 0.31% de lisina sintética y 1% de maíz infundido con triptófano de manera que diese un nivel de triptófano de 0.05% de la dieta 5. De modo semejante, la dieta 3 contuvo 0.05% de triptófano sintético y 3.875% de maíz infundido con lisina, para que diera 0.31% de lisina de la dieta 5. Los resultados muestran claramente que no hubo diferencia en la calidad proteínica cuando la lisina y el triptófano se añadieron en su forma sintética o como granos infundidos (16).

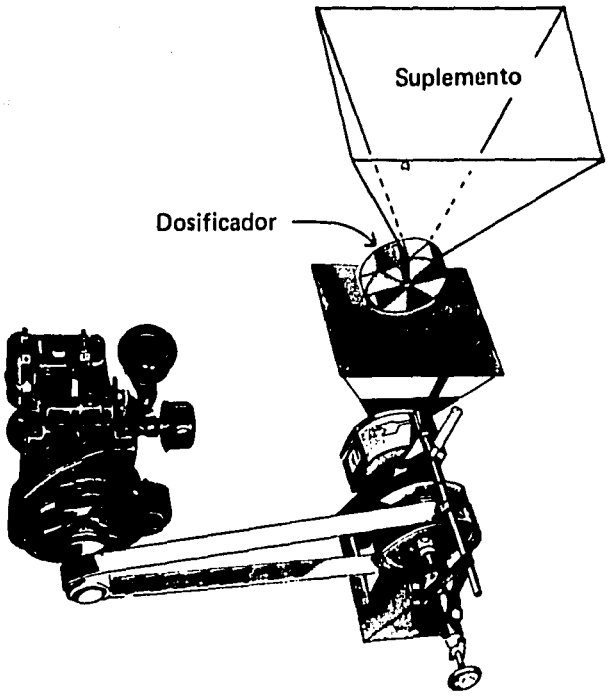


FIGURA 5 Molino de nixtamal para moler maíz.

TABLA 7 Efecto de granos de maíz adicionados con lisina y triptofano para mejorar la calidad proteínica del maíz normal

Tratamientos dietéticos	*Proteína en la dieta (%)*	*Ganancia media de peso (gramos)*	*REP*
1. Maíz	8.6	30 ± 3.5	1.22 ± 0.08
2. Maíz + lisina sintética + maíz (triptófano)	9.0	92 ± 8.0	2.42 ± 0.10
3. Maíz + triptófano sintético + maíz (lisina)	8.9	100 ± 11.1	2.59 ± 0.12
4. Maíz + maíz (lisina) + maíz (triptófano)	8.8	91 ± 9.3	2.38 ± 0.12
5. Caseína	10.4	135 ± 6.8	2.73 ± 0.07

Los resultados anotados señalan el potencial de esta posibilidad, aun cuando todavía tiene algunas limitaciones, particularmente en lo que se refiere a costo, que es del 30% al 40% del precio del maíz, en virtud principalmente del alto precio del triptófano.

Suplementación con proteínas

Como antes de indicó, una segunda manera en que la proteína del maíz se puede mejorar nutricionalmente es a través de la suplementación con proteínas. Se desarrollaron y probaron varias mezclas fortificantes, en la tabla 8 se indican su composición y la cantidad que da la proteína de calidad mejorada cuando se le añade el maíz sin que interfiera con las propiedades organolépticas, físicas o funcionales (2, 14, 15). Se agregaron vitaminas porque se encontró que las dietas consumidas por la población centroamericana eran deficientes, y también porque la cocción del maíz con agua de cal origina grandes pérdidas, particularmente de riboflavina (9, 10).

TABLA 8 Formulaciones del maíz sintético

	Formulaciones		
Ingredientes	*No. 1*	*No. 2*	*No. 3*
L-lisina HCl	6.000	1.25000	1.25000
DL Triptófano	2.000	–	–
Maíz	91.844	–	–
Leche descremada en polvo	–	98.65250	–
Harina de soya (soya fluff 200 W)	–	–	98.65250
Riboflavina	0.0060	0.00375	0.00375
Tiamina	0.0400	0.02500	0.02500
Niacina	0.0600	0.03750	0.03750
Vitamina A (gramos)	0.0500 [a]	0.03750	0.03750
	100.0000	100.00000	100.00000
% de adición	5	8[b]	8[c]

[a] Equivalente a 25,000 V.I. de vitamina A o acetato de vitamina A (500,000 V.I./gr). Esta cantidad suministra la mitad del nivel recomendado de 750 mcg de retinol por 100 gramos de tortilla.

[b] Cantidad de leche descremada que suministra 0.04% de L-triptófano y 2.8 gramos de proteína.

[c] Cantidad de harina de soya que suministra 0.05% de L-triptófano y 4.0 gramos de proteína/100 gramos.

La mezcla que se escogió fue la fórmula que tenía harina de soya como fuente de proteína, la cual cuando se añade a una tasa de 8% al maíz, cubre toda la deficiencia de triptofano en el cereal y casi toda la deficiencia de lisina. A efecto de cubrir toda la deficiencia de lisina en el maíz, 0.15% de L-lisina HCl es también parte de la mezcla fortificante.

Actualmente se prueba el suplemento de soya en un estudio de campo que involucra a 1,300 familias en una zona rural de Guatemala, aún cuando se elaboró para utilizarse con harina de maíz cocinado preparada industrialmente.

Ahora se añade como harina al maíz completo cocinado con agua de cal (nixtamal) justo antes de molerlo (21). Se están considerando otras formas de añadirla. Una forma es como harina según se indicó ya, y otra es a manera de paleta en forma de maíz o cilíndrico, como se muestra en la figura 6 (2, 23).

FIGURA 6 Tipos de suplementación con proteína de soya.

La prueba de campo se inició en mayo de 1972, de manera que todavía no se puede determinar el efecto en términos de nutrición. En la actualidad, alrededor del 60% de la población (en estudio) consume maíz con el suplemento y sólo se han encontrado unos cuantos problemas. Algunos de dichos problemas son completamente inesperados, lo cual sugiere cuán difícil es lograr un mejoramiento nutricional con cualquiera de los nuevos alimentos, sean producidos industrial o genéticamente. Mencionaremos dos de esos problemas. Uno concierne al uso de granos dañados por insectos que los campesinos consumen justo antes de levantar la nueva cosecha. Esos granos casi no tienen endospermo y por consiguiente cambian los procedimientos de cocción, lo cual afecta las propiedades impartidas por el suplemento. El otro se refiere al uso de maíz inmaduro (elotes) —lo cual ocurre también por la falta del cereal— justo antes de que se levante la nueva cosecha. Estos problemas se han resuelto, pero indican las dificultades de aplicar técnicas de intervención nutricional a la gente que no está lista para aceptarlas.

Mezclas de proteínas

Durante los últimos 12 años, en el mercado guatemalteco ha estado disponible, bajo el nombre de INCAPARINA, un alimento rico en proteínas, elaborado con maíz cocido y suplementado con 0.25% de L-lisina y harinolina preparada para consumo humano. Las ventas del producto aumentan lentamente (figura 7). Durante el período de 1964 a 1967, las ventas anuales tendieron a estabilizarse en su punto máximo; sin embargo, de 1967 a 1971 los incrementos anuales han sido del 30%. El producto no está alcanzando a todos sectores de la

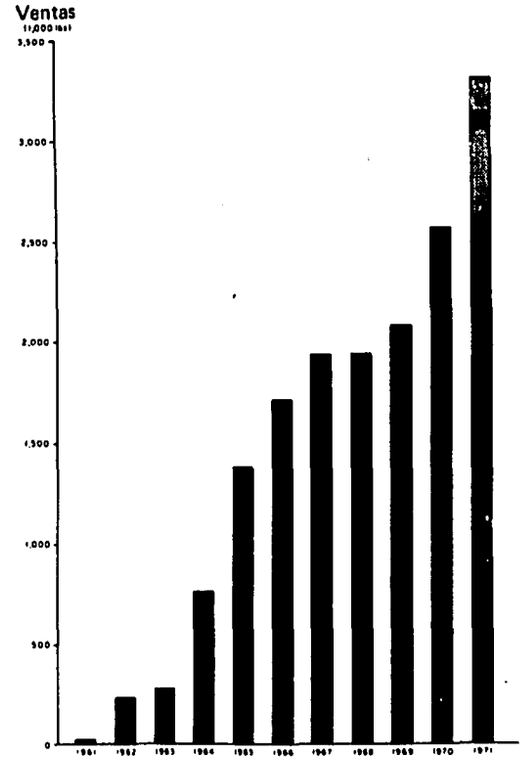


FIGURA 7 Ventas de Incaparina en Centroamérica y Panamá (1961-1971).

población para los cuales se elaboró. No obstante, su consumo se difunde con lentitud y ya se están implantando los planes para aumentar la producción y diversificar el producto mediante una moderna planta que tenga una capacidad de producción de 4 a 5 toneladas por hora.

MEJORAMIENTO DE LAS DIETAS RURALES CON MAIZ DE MAYOR CALIDAD PROTEINICA

La dieta que consume la mayoría de la población rural latinoamericana consiste principalmente de maíz y frijol, en la proporción de 72% de maíz y 8% de frijol. El 20% restante consiste de tubérculos, algunas verduras y azúcar. Las dietas son deficientes en proteína de alta calidad y en calorías. Puesto que la mayor parte de la proteína dietética viene del maíz, se esperaría que ésta a su vez registrara deficiencia en algunos de los mismos aminoácidos que limitan la calidad proteínica del maíz. Por tanto, se esperaría que mejorara la calidad proteínica de dichas dietas al suplementarlas con lisina y triptofano. En la tabla 9 se presentan los resultados al respecto.

TABLA 9 Efecto de la suplementación con lisina y triptofano sobre la calidad proteínica de una dieta de maíz-frijol (72.4% de maíz + 8.1% de frijol negro cocido)

Tratamiento al maíz de la dieta	*Ganancia media de peso*[a] *(g)*	*Razón de eficiencia proteínica*
Ninguno	65 ± 3.7	2.02 ± 0.06
+ 0.10% lisina[b]		
+ 0.025% triptófano[b]	80 ± 9.3	2.36 ± 0.17
+ 0.050% triptófano	94 ± 2.8	2.49 ± 0.06
+ 0.20% lisina		
+ 0.025% triptófano	108 ± 4.0	2.76 ± 0.03
+ 0.050% triptófano	110 ± 5.7	2.78 ± 0.08
+ 0.30% lisina		
+ 0.025% triptófano	105 ± 9.8	2.77 ± 0.13
+ 0.050% triptófano	102 ± 3.1	2.79 ± 0.04

[a] Peso inicial promedio: 48 kg.
[b] L-lisina HCl; DC-triptófano.
Referencia: Elias y Bressani (14).

Estos resultados muestran que la dieta de 72% de maíz + 8% de frijol se mejora cuando se suplementa con 0.20% de L-lisina HCl y 0.025% de DL-triptofano (14). Los niveles óptimos para el maíz fueron de 0.30% a 0.40% de L-lisina HCl y de 0.05% a 0.10% de DL-triptófano (11), lo cual indica que el frijol suministra alrededor del 33% de la lisina que se necesita. Hay que recordar que la calidad de la proteína sólo es un aspecto del mejoramiento a base de maíz y frijol. La importancia de esto se muestra en la tabla 10. En este estudio, la dieta a base del 72% del maíz + 8% de frijol se suplementó como se muestra en la primera columna. Según se indica, los aminoácidos añadidos sin otros nutrimentos fueron inefectivos en el mejoramiento de la calidad de la dieta. En realidad los animales experimentales murieron a causa de una severa avitaminosis, y probablemente también de deficiencias de minerales (14, 15). Por lo tanto estos resultados señalan la necesidad de pensar también en términos de

TABLA 10 Efecto de la adición individual de grupos de nutrimentos sobre la calidad proteínica de una dieta de maíz-frijol (72.4% de maíz + 8.1% de frijol negro cocido)

Tratamiento dietético a la dieta basal	*Ganancia media de peso*[a] *(g)*	*Razón de eficiencia proteínica*
Ninguno	26 ± 2.3	1.09 ± 0.07
+ 0.20% L-lisina HCl + 0.25% DL-triptófano.	26 ± 2.5	1.10 ± 0.08
+ vitaminas[b] + minerales[b]	70 ± 2.1	1.90 ± 0.04
+ vitaminas + minerales + lisina + triptófano	107 ± 4.9	2.55 ± 0.06

[a] Peso inicial promedio: 44 grm.
[b] Niveles recomendados para ratas de laboratorio.
Referencia: Elias y Bressani (14).

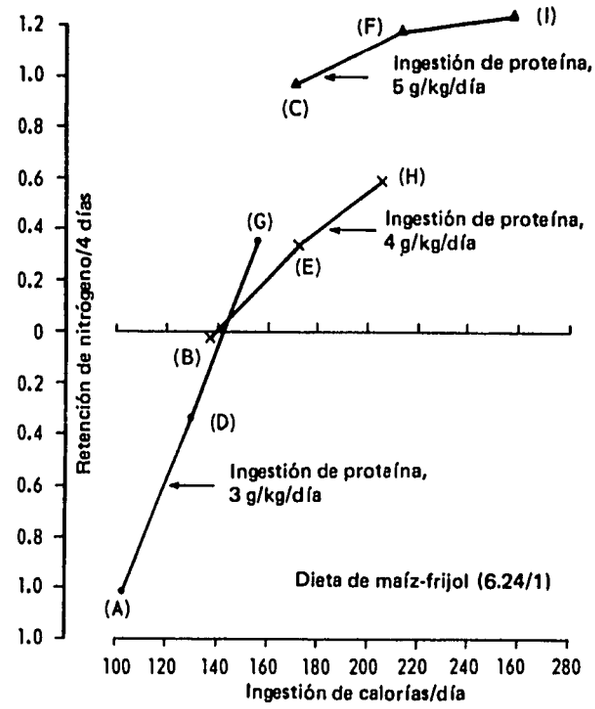


FIGURA 8 Efecto de la suplementación con calorías (grasa) sobre el balance de nitrógeno en perritos alimentados con dietas de maíz-frijol.

todos los nutrimentos que no se encuentran en dichas dietas, los cuales necesita el animal para utilizar eficientemente el patrón de aminoácidos mejorado.

Como quedó dicho, estas dietas a base de maíz y frijol no suministran todas las calorías que requieren los individuos jóvenes, probablemente debido a su *voluminosidad* relativamente alta. La adición de calorías como grasa mejora la utilización de la proteína de dichas dietas (figura 8). En los resultados que se muestran (24), se suministró a perritos 3, 4 y 5 gramos de proteína/kg de peso del cuerpo/día, de una dieta de maíz y frijol. Cada nivel de la ingestión diaria de proteína se suplementó con 25% y 50% de calorías extra que se añadieron como aceite. Se puede ver que la retención del nitrógeno sin calorías extra (puntos A, B, C) se incrementó a medida que aumentó la ingestión de proteína. El 25% adicional de calorías (puntos D, E, F) mejoró la utilización de la proteína a todos los niveles de la ingestión de proteína, pero esta mejoría fue menor a los niveles altos de ingestión de proteína. Igualmente, el 50% adicional de calorías aumentó la utilización de la proteína (puntos G, H, I), en especial cuando la ingestión de proteína fue equivalente a 3 y 4/kg de peso/día. Los resultados indican que se necesitan calorías adicionales y que éstas no pueden obtenerse del maíz porque: 1) aumentará el bolo y 2) una mayor ingestión con el mismo nivel

TABLA 11 Retención de nitrógeno de perritos alimentados con una dieta de maíz-frijol sola, o suplementada con aminoácidos (promedio: 6 perros y 3 períodos de balance de 4 días cada uno)

	Balance de nitrógeno (mg/kg/día)				
Tratamiento sobre la dieta basal	*Ingestión*	*Fecal*	*Orina*	*Absorbido*	*Retenido*
Maíz común	399	152	206	247	41
Maíz común + lisina + triptofano	374	156	143	218	75
Maíz común	357	157	165	200	35
Maíz opaco-2	407	165	127	242	115

[a] Ingestión de proteína: 2.5 gr/kg/día; ingestión de calorías: 100 kilocalorías/kg/día.
Referencia: Bressani y Elías (8).

de frijol dará como resultado una dieta que tenga un valor de calidad proteínica menor que el actual. Por lo tanto, es esencial mejorar la calidad proteínica del maíz.

El maíz opaco-2, cuando se emplea como substituto del maíz normal en las dietas a base de maíz y frijol, también es efectivo para mejorar la calidad proteínica de dichas dietas. La tabla 11 muestra resultados representativos al respecto. Cuando la dieta basal se suministró de manera que proporcionara 2.5 de proteína/kg de peso/día, la retención de nitrógeno varió de 35 a 45 mg, o sea alrededor del 10% de la ingestión. La adición de lisina y de triptófano aumentó la retención a 75 mg/kg/día (alrededor del 20%) y el uso de maíz opaco-2 produjo una retención de alrededor del 28%. En general, los resultados de varios estudios semejantes al referido, muestran que la retención del nitrógeno al suministrar dietas a base de maíz y frijol suplementadas con aminoácidos o utilizando maíz opaco-2 ha dado como resultado el mismo aumento en la calidad proteínica con respecto al nivel basal (8, 16).

El maíz suplementado con 8% de harina de soya y lisina también mejora la calidad proteínica de las dietas a base de maíz y frijol. Un ejemplo de esto se muestra en la tabla 12. Se probaron tres suplementos proteínicos en las dietas de

TABLA 12 Mejoramiento de la calidad proteínica de una dieta de maíz-frijol mediante el uso de aminoácidos o de un suplemento proteínico

Tratamiento al maíz de la dieta basal[a]	*Proteína (%)*	*Ganancia media de peso (g)*	*REP*	*Proteína aprovechable (%)*
Ninguno	8.3	52	1.75	4.36
+ Lisina + triptofano[b]	8.5	80	2.48	6.32
+ 8% harina de soya + 0.15% L-lisina HCl	10.9	120	2.50	8.17
+ 8% leche descremada en polvo + 0.10% L-lisina HCl	9.8	111	2.63	7.73

[a] 72.4% maíz + 8.10% frijol negro cocido.
[b] 0.31% L-lisina HCL + 0.10% DL-triptófano.
Referencia: Elías y Bressani (14).

maíz-frijol, en comparación con el efecto de aminoácidos sintéticos (14, 15). Las dietas elaboradas con maíz suplementado contuvieron más proteína que las dietas testigo. La adición de aminoácidos mejoró la ganancia de peso, una mejoría que fue mayor cuando la dieta se suplementó con proteína. La eficiencia proteínica aumentó alrededor del mismo nivel, independientemente de que la dieta haya sido suplementada con aminoácidos o proteína. La última columna muestra la cantidad de proteína aprovechable en la dieta. Los valores indican que se utilizan cantidades más grandes de la dieta de maíz-frijol suplementada con proteína que la suplementada con aminoácidos (14, 15).

Se pueden obtener resultados semejantes cuando las dietas de maíz normal con frijol se suplementan con alimentos ricos en proteína, sea de origen animal o de una mezcla de vegetales de alta proteína. La figura 9 resume un experimento en el cual la dieta basal de maíz-frijol se suplementó con lisina y triptófano, leche descremada en polvo, o Incaparina 9. Los resultados señalan que los dos suplementos fueron igualmente eficientes y superiores a la lisina y al triptófano.

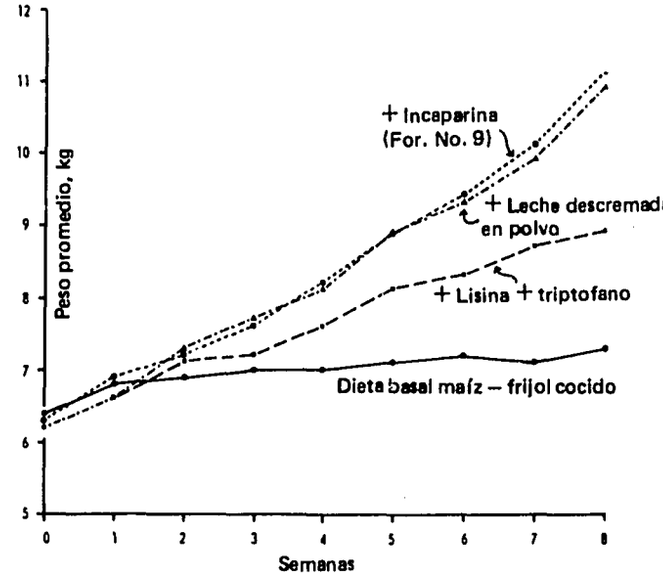


FIGURA 9 Ganancia de peso de lechones alimentados con dietas de maíz-frijol con y sin suplementos.

Sin embargo, la diferencia entre los resultados de los suplementos y los resultados de la lisina y el triptófano se deben a una mayor concentración proteínica en la dieta suplementada con proteína. Todos los resultados indican que es muy deseable aumentar la concentración y la calidad proteínica en esas dietas. Esto también es evidente en los resultados que se muestran en la figura 10. En este caso, la dieta basal de maíz y frijol se suplementó con un 25% adicional de calorías de grasa, y la proteína de la dieta fue reemplazada en un 10, 20, 30 y

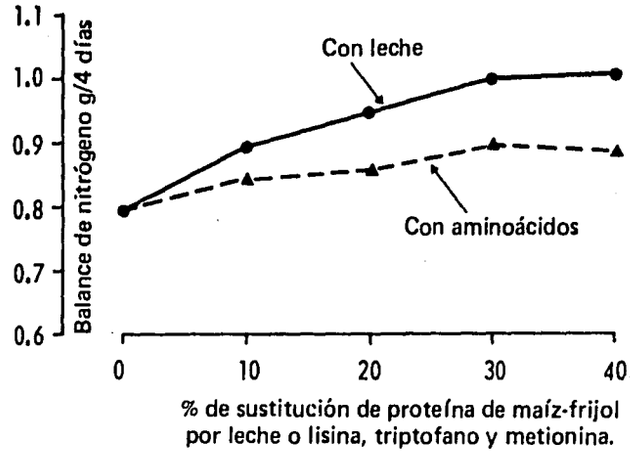


FIGURA 10 Efecto de la sustitución de la proteína de maíz-frijol por proteína de leche o cantidades equivalentes de lisina, triptofano y metionina.

40% por proteína de leche, o las cantidades equivalentes de lisina, triptófano y metionina (24). Los resultados del balance de nitrógeno muestran que se obtienen valores más altos cuando se introduce la proteína completa en comparación con los aminoácidos.

Es probable, que la adición de proteínas completas suministra otros aminoácidos quizá ausentes de la dieta de maíz y frijol, y por ello ofrecen un mejor balance de aminoácidos.

De los resultados presentados en este documento, se derivan las siguientes conclusiones:

1. La calidad proteínica del maíz normal se puede mejorar mediante suplementación con aminoácidos, suplementación con proteínas en cantidades pequeñas o grandes y por manipulación genética.

2. La calidad proteínica que se mejora mediante cualquiera de los métodos señalados, es significativamente mayor que la calidad del maíz normal. En términos de la proteína aprovechable total, el maíz suplementado con proteína es de calidad superior que el maíz suplementado con aminoácidos o que el maíz opaco-2.

3. Las dietas basadas en maíz y pequeñas cantidades de otros alimentos mejoran su calidad proteínica mediante el uso de maíz con mayor valor proteínico, y mejoran su cantidad y calidad proteínica cuando el maíz usado se suplementa con proteína mediante cantidades pequeñas o relativamente grandes de alimentos de buena calidad como la leche, harina de soya y otros.

4. Estas dietas también son deficientes en calorías, vitaminas y minerales. Por consiguiente el maíz suplementado con proteína podría ser superior al maíz suplementado con aminoácidos o el maíz opaco-2. No se recomienda mayor ingestión de calorías por medio del maíz, debido al gran bolo (volumen) que representaría una mayor ingestión de maíz y debido también a que la calidad

general de la dieta disminuiría. Las vitaminas y minerales que faltan se suministran más fácilmente en la dieta cuando el maíz se suplementa con proteínas que cuando se suplementa con aminoácidos o que cuando se utiliza maíz opaco-2.

5. Al parecer, aunque no se tiene aún evidencia de campo, el maíz de mejor calidad proteínica (sea por medios genéticos, por adición de aminoácidos, o por suplementación con proteínas) es capaz de incrementar la calidad nutricional general de las dietas que se basan en el maíz, y hay que hacer todo el esfuerzo posible en favor de que estos avances lleguen a los sectores de la población que necesitan proteína de mejor calidad.

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia).

BIBLIOGRAFIA

1. Bressani, R. 1969. Amino acid supplementation of cereal grain flours tested in children. *En* N. S. Scrimshaw y A. M. Altschul (eds.), Amino acid fortification of protein foods. MIT Press, Cambridge, Mass., págs. 184-204.
2. Bressani, R. 1971. Application of food science and technology to the exploitation of new protein sources. Proc. Western Hemisphere Nutr. Cong. III, Bal Harbour, Fla., Sept. 1971, págs. 368-377.
3. Bressani, R. 1972. The importance of maize for human nutrition in Latin American and other countries. *En* R. Bressani, J. E. Braham, y M. Behar (eds.), Nutritional improvement of maize. INCAP, Guatemala, págs. 5-29.
4. Bressani, R. 1972. Evaluación nutricional del maíz opaco-2 en niños y adultos. Simp. desarrollo utilización maíces de alto valor nutritivo. México, D.F., junio 29-30, 1972.
5. Bressani, R. 1972. Complementary amino acid patterns. Proc. Symp. Proteins Processed Foods. Amer. Med. Assn., Chicago, Nov. 13-15, 1972.
6. Bressani, R. y L. G. Elías. 1967. All-vegetable protein mixtures for human feeding. The development of INCAP vegetable mixture 14 based on soybean flour. J. Food Sci., 31:626-631.
7. Bressani, R. y L. G. Elías. 1968. Processed vegetable protein mixtures for human consumption in developing countries. Advan. Food Res., 16:1—103.
8. Bressani, R. y L. G. Elías. La calidad proteínica del maíz opaco-2 como ingrediente de dietas rurales de Guatemala. Arch. Latinoamer. Nutr.
9. Bressani, R., y E. Marenco. 1963. The enrichment of lime-treated corn flour with proteins, lysine and tryptophan and vitamins. J. Agr. Food Chem., 6:517-522.
10. Bressani, R. Paz y Paz y N. S. Scrimshaw. 1958. Corn nutrient losses. Chemical changes in corn during preparation of tortillas. J. Agr. Food Chem., 6:770-774.
11. Bressani, R., L. G. Elías y J. E. Braham. 1968. Suplementación con aminoácidos del maíz y de la tortilla. Arch. Latinoamer. Nutr., 18:123-134.
12. Bressani, R., J. Alvarado y F. Viteri. 1969. Evaluación en niños de la calidad de la proteína de maíz opaco-2. Arch. Latinoamer. Nutr., 19:129-140.
13. Bressani, R., F. Viteri, D. Wilson y J. Alvarado. 1972. The quality of various animal and vegetable proteins with a note on the endogenous and fecal nitrogen excretion of children. Arch. Latinoamer. Nutr., 22:227-241.
14. Elías, L. G. y R. Bressani. 1971. Improvement of the protein quality of cornbean diets by the use of fortified corn or opaque-2 corn. Proc. Western Hemisphere Nutr. Cong. III, Bal Harbour, Fla., agosto 30-septiembre 12.
15. Elías, L. G. y R. Bressani. 1972. Nutritional value of the protein of tortilla flour and its improvement by fortification in Central America. *En* R. Bressani, J. E. Braham, y M. Béhar (eds.), Nutritional improvement of maize. INCAP, Guatemala, págs. 168-190.

16. Gómez Brenes, R. A., L. G. Elías y R. Bressani. 1972. Improvement of the protein quality of diets of low nutritive value, through the use of fortified maize and opaque-2 maize. *En* R. Bressani, J. E. Braham, y M. Béhar (eds.), Nutritional improvement of maize. INCAP, Guatemala, págs. 256-272.
17. Gómez Brenes, R. A., C. E. Acevedo y R. Bressani. 1972. Mejoramiento de la calidad proteínica del maíz a través de infusiones de lisina y triptofano. Proc. III Reunión Sociedad Latinoamer. Nutr. (SLAN), Guatemala, sept. 11-14, 1972.
18. Hogan, A. G., G. T. Gillespie, O. Kocturk, B. L. O'dell y L. M. Flynn. 1955. The percentage of protein in corn and its nutritional properties. J. Nutr., 57:225-239.
19. Kies, C. y H. M. Fox. 1972. Interrelationships of leucine with lysine, tryptophan and niacin as the influence protein value of cereal grains for humans. Cereal Chem., 49:223-231.
20. Luna-Jaspe, G. H., J. O. M. Parra, C. R. Bernal y S. P. de Serrano. 1971. Comparación de la retención de nitrógeno en niños alimentados con maíz común, maíz de gene opaco-2 y leche de vaca. I. Resultados con baja ingestión de proteína. Arch. Latinoamer. Nutr., 21:437-447.
21. Mata, L. J., J. J. Urrutia, B. García, R. Bressani, P. A. Lachance, y M. A. Guzmán. A model for maize fortification with soy bean flour, lysine and other nutrients in a low socioeconomic rural community. *En* R. Bressani, J. E. Braham, y M. Béhar (eds.), Nutritional improvement of maize. INCAP, Guatemala, págs. 273-287.
22. Mertz, E. T., L. S. Bates y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145:279-280.
23. Molina, M., L. G. Elías, R. A. Gómez-Brenes, P. Lachance y R. Bressani. The technology of maize fortification in Latin America. *In* R. Bressani, J. E, Braham, and M. Béhar (eds.), Nutritional improvement of maize. INCAP, Guatemala, págs. 235-255.
24. Murillo, B. y Bressani. 1972. Efecto del incremento de proteína y/o calorías sobre el valor nutritivo de dietas a base de maíz frijol. Proc. III Reunión Sociedad Latinoamer. Nutr. (SLAN). Guatemala, sept. 11-14, 1972.
25. Rosenberg, H. R., E. L. Rohdenburg y R. E. Eckert. 1960. Multiple amino acid supplementation of white corn meal. J. Nutr. 72:415-422.
26. Viteri, F. E., C. Martínez y R. Bressani, Evaluation of the protein quality of common maize, opaque-2 maize supplemented with amino acids and other sources of protein. *In* R. Bressani, J. E. Braham, y M. Béhar (eds.), Nutritional improvement of maize. INCAP, Guatemala, págs. 191-204.

LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ Y LA NUTRICION DE PORCINOS

Jerome H. Maner*

Desde hace tiempo se tiene la certeza de que los constituyentes de la proteína y no la proteína misma son muy importantes en la nutrición de los porcinos. Actualmente, los porcinos no requieren proteína en la dieta. Aunque se han reconocido cerca de 22 aminoácidos en los alimentos para animales, sólo 10 de éstos se han considerado esenciales para la nutrición de porcinos.

Si hay presente una fuente de nitrógeno, los tejidos del cuerpo pueden sentetizar los aminoácidos no esenciales y, por lo tanto, no se requieren en la dieta. Aunque no se requieren aminoácidos no esenciales en la dieta, la cistina y tirosina pueden satisfacer en parte las necesidades de los aminoácidos esenciales, metionina y fenilalamina, respectivamente. Los aminoácidos esenciales para el cerdo son arginina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina; y los no esenciales son alanina, ácido aspártico, citrulina, cistina, ácido glutámico, glicina, ácido hidroxiglutámico, hiproxiprolina, norleucina, prolina, serina y tirosina.

Por lo tanto, el valor de cualquier proteína está determinado por su capacidad de suplir aminoácidos en la proporción y en los niveles requeridos por el animal en particular. Ya que los diferentes procesos vitales (mantenimiento, crecimiento, gestación y lactancia) requieren cantidades diferentes de aminoácidos, también varían el valor de un alimento o un ingrediente de alimento para suplir el nivel y la proporción necesaria de aminoácidos. Se ha comprobado que los cerdos recién nacidos y en crecimiento requieren niveles más altos de aminoácidos que los cerdos de mayor edad listos para el mercado así como que los cerdos lactantes, además de la energía, deben recibir una proteína de calidad adecuada para que tengan un período de lactancia provechoso.

* Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

TABLA 1 Necesidades de aminoácidos que tienen los cerdos en varios estados del desarrollo

		Estado del desarrollo: Peso del cerdo (kg)		
		Lactante 4.5	*Destete 13.6*	*Final 45*
Aminoácidos	*Nivel de proteína en la dieta, (%)*	*22*	*16*	*12*
Arginina		0.37	0.25	0.15
Histidina		0.34	0.23	0.14
Isoleucina		0.76	0.52	0.35
Leucina		0.98	0.67	0.40
Lisina		1.20	0.74	0.50
Metionina[a]		0.73	0.50	0.30
Fenilalanina[a]		0.79	0.54	0.32
Treonina		0.66	0.45	0.27
Triptófano		0.18	0.12	0.07
Valina		0.67	0.46	0.28

[a] La cistina puede satisfacer el 40% de las necesidades totales de metionina, y la tirosina puede satisfacer el 30% de las necesidades totales de fenilalanina.
Fuente: Becker y colaboradores (2).

En la tabla 1 se presenta un ejemplo acerca de diferencias en las necesidades de cerdos de diferentes edades y tamaños. Cada incremento en edad y tamaño se refleja en una reducción del nivel de aminoácidos requeridos para el comportamiento normal durante este estado del ciclo de vida. La figura 1 es una explicación gráfica de algunas diferencias en requerimientos desde el destete hasta que alcanzan el tamaño apropiado para la venta. Cada incremento en peso del cuerpo está acompañado por un correspondiente incremento en grasa y una reducción en proteína total. En la etapa final de su vida, el cerdo produce más grasa que proteína, por lo que requiere menos proteína en la dieta.

En la práctica, los cerdos se alimentan con una fuente básica de granos y un nivel adecuado de suplemento proteínico para suplir el requerimiento total y balanceado de aminoácidos. Por lo general se usa una dieta de 20 a 22% de contenido de proteína de alta calidad para cerdos jóvenes (5-18 kg), una con un 16% para cerdos en crecimiento (18-50 kg), y una de 12 a 13% para cerdos en la etapa final de su vida (50-90 kg). Aunque las cerdas en gestación son menos exigentes en sus requerimientos, las cerdas en lactancia que producen grandes cantidades de leche también requieren dietas de buena calidad de 15 a 16% de contenido de proteína para satisfacer sus requerimientos diarios. Estos requerimientos se pueden satisfacer perfectamente con maíz normal más un suplemento de harina de frijol soya, harina de pescado o combinaciones de ambas con otros suplementos altos en contenido de proteína.

Por lo tanto, el valor del maíz opaco-2 está asociado con la capacidad para sustituir parte del suplemento proteínico o, en otras palabras, para ocupar menor cantidad de suplemento proteínico y lograr resultados iguales a aquéllos obtenidos con maíz normal debidamente suplementado.

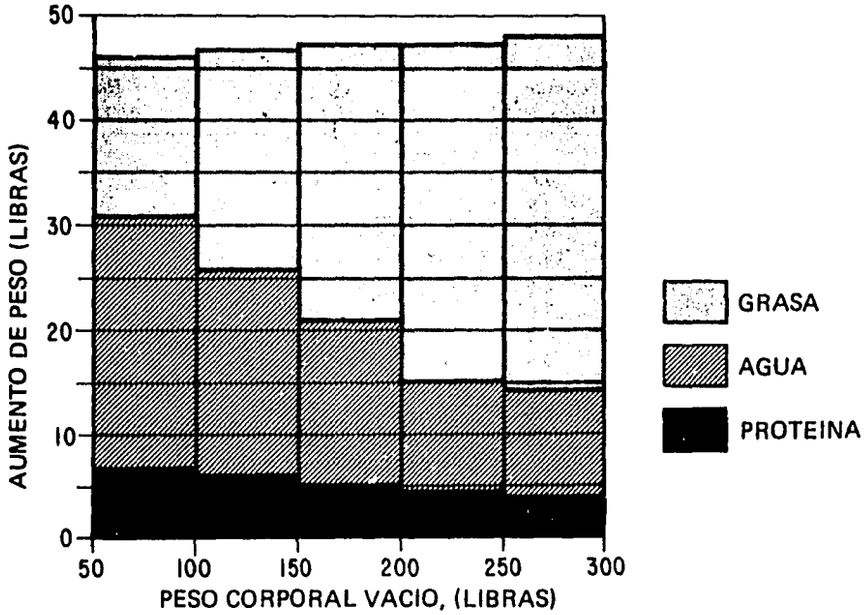


FIGURA 1 Cantidades de grasa, proteína y agua contenidas al aumentar el peso de los cerdos en diferentes etapas de su desarrollo.

Por muchas décadas se ha estado usando el maíz como grano básico para la nutrición humana y alimentación de cerdos. Sin embargo, desde 1914, los nutriólogos se enteraron de la pobre calidad de la proteína del maíz, cuando Osborne y Mendel (30) demostraron que la zeína, la principal proteína del maíz, estaba casi desprovista de lisina y triptófano, y que las dietas que contenían zeína como la única proteína eran incapaces de mantener el crecimiento de ratas jóvenes. Al agregar juntas la lipina y el triptófano, la dieta de zeína daba buen crecimiento. Estos estudios demostraron claramente que estos aminoácidos eran componentes dietéticos esenciales.

Con el conocimiento de que la fracción de zeína en maíz era baja en lisina y triptófano, que el valor biológico de esta proteína era muy bajo y que la fracción glutelina era una proteína más completa y de mayor calidad, el Dr. Edwin Mertz de la Universidad Purdue comenzó a seleccionar variedades de maíz para niveles más bajos de zeína en el endosperma. En 1963 un alumno de E. Mertz, Lynn Bates, identificó una variedad con un nivel alto de lisina que no era común en el maíz a la cual se identificó más tarde como el mutante conocido como opaco-2. Aunque Emerson *et al.* (7), de la Universidad de Cornell, habían identificado y estudiado el mutante alrededor de 30 años antes, no fue hasta 1963 que se descubrió el potencial biológico de este mutante.

La reevaluación de los genes mutantes opaco-2 del maíz y el descubrimiento de su patrón mejorado de aminoácidos en la proteína del endosperma (27), hizo necesario reevaluar al maíz como alimento animal.

TABLA 2 Composición de aminoácidos de maíz opaco-2, maíz común colombiano y maíz harinoso-2.

Aminoácidos	*Común (g/100 g prot.)*	*Opaco-2 (g/100 g prot.)*	*Harinoso-2 (g/100 g prot.)*
Esenciales			
Argina	4.6	6.2	4.3
Histidina	2.9	2.7	1.1
Isoleucina	5.0	3.6	3.1
Leucina	16.1	8.0	10.5
Lisina	2.8	4.0	2.3
Metionina	3.0	4.5	0.8
1/2 cistina	1.9	1.8	2.7
Fenilalanina	5.4	3.8	4.0
Treonina	3.5	3.3	3.0
Triptófano	0.6	1.0	0.7
Valina	7.2	5.6	4.4
No esenciales			
Alanina	9.4	5.9	6.8
Acido aspártico	6.7	8.6	6.6
Acido glutámico	20.6	15.2	15.7
Glicina	4.1	5.3	2.9
Prolina	8.9	7.2	7.5
Serina	4.6	3.9	4.0
Tirosina	4.9	3.5	3.1
Amonio	2.9	2.0	0.5
Proteína	10.0	10.3	9.8

Fuente: Maner *et al.* (26).

La tabla 2 presenta la composición de proteína y aminoácidos de los maíces común, opaco-2 y harinoso-2. A su vez, la tabla 3 compara los aminoácidos aportados por cada uno de ellos en una dieta de maíz (95.8% de maíz y 4.2% de vitaminas y minerales) para los requerimientos de cerdos recién nacidos, en crecimiento y en la etapa final de su vida. Estas tablas indican que el maíz común está limitado en su contenido de lisina y triptófano para todas las edades y deficiente en treonina e isoleucina para cerdos recién nacidos y en proceso de crecimiento. El exceso de leucina puede ocasionar que la deficiencia de isolucina se agrave. El maíz opaco-2 es deficiente en lisina para todas las edades y sólo contiene suficiente triptofano, treonina e isoleucina para satisfacer las necesidades de los cerdos que están en la etapa final de su vida. El maíz harinoso-2 colombiano, contiene un nivel de aminoácidos similar al del maíz normal.

MAIZ OPACO-2

El trabajo inicial con opaco-2 en cerdos fue reportado por Beeson *et al.* (3) y Pickett (32) de la Universidad Purdue. Se demostró que el crecimiento de cerdos de 13.8 a 25.7 kg fue 3.6 veces más rápido con maíz opaco-2 que con maíz normal. Aquellos alimentados con opaco-2 crecieron a una velocidad igual que

TABLA 3 Cantidad de aminoácidos aportados por una dieta exclusiva de maíz en comparación con los requerimientos de cerdos de 13.6 kg de peso.

	Requerimientos totales % de la dieta (kg)			*En 95.8 kg de maíz*		
Aminoácidos	*4.5*	*13.5*	*45*	*Común (kg)*	*Opaco-2 (kg)*	*Harinoso-2 (kg)*
Arginina	0.37	0.25	0.15	0.44	0.61	0.40
Histidina	0.34	0.23	0.14	0.28	0.27	0.10
Isoleucina	0.76	0.52	0.35	0.48	0.35	0.29
Leucina	0.98	0.67	0.40	1.54	0.79	0.99
Lisina	1.20	0.74	0.50	0.27	0.39	0.22
Metionina	0.44	0.30	0.18	0.29	0.44	0.08
Cistina	0.29	0.20	0.12	0.18	0.18	0.25
Treonina	0.66	0.45	0.27	0.33	0.33	0.28
Triptófano	0.18	0.12	0.07	0.06	0.10	0.07
Valina	0.67	0.46	0.28	0.69	0.55	0.41
Fenilalanina	0.55	0.38	0.22	0.52	0.37	0.38
Tirosina	0.24	0.16	0.10	0.47	0.35	0.29

los cerdos alimentados con maíz normal más una cantidad de harina de frijol soya para aportar la misma cantidad de proteína cruda (tabla 4). Los cerdos en la etapa final de vida, con un peso promedio inicial de 59 kg, ganaron peso un 50% más rápidamente con maíz opaco-2 que con normal y en forma similar que los cerdos alimentados con dietas de maíz normal y harina de frijol soya que contenían 13% de proteína.

TABLA 4 Valor nutritivo del maíz opaco-2 para cerdos en crecimiento y en la etapa final de su vida.

	Tratamientos			
	1 Maíz normal	*2 Maíz opaco-2*	*3 Maíz normal + harina de frijol soya*	*4 Maíz normal + harina de frijol soya*
Cerdos al destetado				
Nivel de proteína (%)	8.6	11.6	11.6	–
Peso prom. inicial (kg)	14.0	13.8	13.7	–
Peso prom. final (kg)	17.3	25.8	25.6	–
Ganancia prom. diaria (kg)	0.12	0.43	0.42	–
Alim. prom. diaria (kg)	0.82	1.41	1.37	–
Relación alim./ganancia	6.88	3.32	3.23	–
Cerdos en la etapa final de vida				
Nivel de proteína (%)	8.9	11.2	11.2	13.0
Peso prom. inicial (kg)	59.5	59.4	59.0	60.4
Peso prom. final (kg)	73.8	81.0	64.3	83.2
Ganancia prom. diaria (kg)	0.68	1.03	0.88	1.09
Alim. prom. diario (kg)	3.21	3.70	3.29	3.97
Relación alim./ganancia	1.71	3.59	3.74	3.65

Fuente: Beeson *et al.* (3)

En estudios posteriores que se hicieron en Purdue (5), se alimentó con maíz opaco-2 y con maíz normal a cerdos que pesaban entre 10 y 13 kg; el maíz opaco contenía 104% más de lisina y 67% más de triptófano que el maíz normal. Los cerdos que consumieron maíz opaco-2 como única fuente de proteínas y de energía, ganaron peso 4.3 veces más rápidamente que los que se alimentaron con maíz normal (0.26 comparado con 0.06 kg/día). Como el maíz opaco-2 contiene más proteína total que el normal (11.1 comparado con 9.1%), se añadió nitrógeno a la dieta de maíz normal en forma no esencial como citrato diamónico, ácido glutámico y glicina, a fin de igualarla en nitrógeno con la de maíz opaco-2. El nitrógeno no esencial no pareció mejorar el comportamiento de los cerdos alimentados con maíz normal. La suplementación con lisina o triptófano tampoco afectó significativamente el comportamiento de los cerdos alimentados con maíz normal. Sin embargo, la adición de ambos aminoácidos a la dieta de maíz normal a los niveles calculados para lograr un contenido de lisina y triptófano igual que el de la dieta de maíz opaco-2, o la adición de harina de frijol soya en una cantidad tal que la cantidad de proteína total fuera igual que en la dieta de maíz opaco-2, mejoraron el comportamiento de los cerdos a un nivel similar al que se logró con maíz opaco-2. Estos estudios demostraron que los niveles más altos de lisina y triptofano presentes en el maíz opaco-2 fueron la causa de la mayor calidad proteínica.

Desde que se efectuaron estos ensayos iniciales con cerdos, de muchos países se han reportado muchos estudios tendientes a demostrar el valor del maíz opaco-2 en las dietas de cerdos (1, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 16, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 29, 31, 35, 37). Aunque está fuera de este campo de trabajo hacer un resumen completo de todos los trabajos publicados, se dará información adecuada para demostrar el valor del maíz opaco-2 en la nutrición de cerdos durante todas las fases de su ciclo de vida.

Cerdos lactantes

Como los cerdos lactantes necesitan de mayores niveles y de mejor calidad proteínica (tabla 1), son la prueba más importante y palpable para demostrar el valor de la proteína del maíz opaco-2. Se alimentó a algunos cerdos de 35 días y con un peso promedio de 8.9 kg, con dietas en las cuales se suplió toda la proteína ya sea con maíz común u opaco-2 (24). Los grupos que se alimentaron con maíz solo, se compararon con aquellos con dietas testigos típicas que contenían una proporción constante de maíz y harina de frijol soya pero alimentados con diferentes niveles de proteína (tabla 5). Esta variación en el nivel de proteína fue lograda diluyendo la proteína con sacarosa.

La diferencia en los resultados obtenidos en cada dieta fue muy notoria (tabla 6 y figura 2). Cada decremento en nivel de proteína, de 16 a 10% y de éste a 7%, en las dietas testigo de maíz-harina de frijol soya, fue acompañado por el correspondiente decremento en el consumo diario de alimento y ganancia promedio diaria, y por un incremento en el alimento requerido para producir 1 kg de ganancia.

En los cerdos recién nacidos, a los que se alimentó con maíz común como única fuente de proteína, se obtuvieron resultados muy pobres, ya que sólo

TABLA 5 Comparación de dietas de maíz común-harina de frijol soya, de maíz común y de maíz opaco-2 a diferentes niveles de proteína en cerdos de 35 a 165 días de edad.

Ingrediente	*Dieta* 1	2	3	4	5	6	7
Maíz opaco-2	–	–	–	–	91.00	64.00	–
Maíz común	72.70	45.45	31.43	91.00	–	–	91.00
Harina de frijol soya	16.00	10.00	7.00	–	–	–	–
Sacarosa	6.65	39.90	56.92	4.35	4.35	31.35	4.35
Harina de huesos	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Carbonato de calcio	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Vitamina premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Minerales premix	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
L-lisina HCl	–	–	–	–	–	–	0.28
L-triptófano	–	–	–	–	–	–	0.04
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Análisis calculado							
Proteína (%)	16	10	7	10	10	7	10
Calcio (%)	0.87	0.85	0.84	0.83	0.83	0.83	0.83
Fósforo (%)	0.65	0.54	0.48	0.60	0.60	0.53	0.60

Fuente: Maner *et al.* (24).

ganaron un promedio de 21 g por día durante los 130 días del período experimental, y requirieron 35.19 kg de alimento para producir 1 kg de ganancia. La impalatabilidad nutricional causada por un balance muy pobre de aminoácidos en el maíz común fue demostrada por el bajo nivel de alimento consumido (0.74 kg/día).

A medida que el experimento progresaba, los cerdos alimentados con maíz solo, demostraron los síntomas clásicos de deficiencia de proteína y algunos murieron pocos días después de que terminó el experimento (35). Se hizo la

TABLA 6 Comportamiento de cerdos alimentados con dietas de maíz opaco-2, maíz común y maíz común-harina de frijol soya a diferentes niveles de proteína en cerdos de 35 a 165 días de edad.

Tratamiento	*Ganancia prom. diaria (kg)*[1]	*Eficiencia alimenticia*[1]	*Consumo diario de alimento (kg)*
1. Maíz común-soya, 16%	0.722^{a}	3.27^{e}	2.36
2. Maíz común-soya, 10%	0.506^{b}	3.64^{e}	1.84
3. Maíz común-soya, 7%	0.158^{d}	5.85^{c}	0.92
4. Maíz común, 10%	0.021^{e}	35.19^{a}	0.74
5. Maíz opaco-2, 10%	0.254^{c}	4.43^{d}	1.13
6. Maíz opaco-2, 7%	0.076^{de}	8.80^{b}	0.67
7. Maíz común + lisina + triptófano, 10%	0.143^{d}	5.29^{c}	0.76

Fuente: Maner *et al.* (24).

[1] Los valores a, b, c, d y e en la misma columna con diferentes exponentes estadísticamente son diferentes.

FIGURA 2 Efecto del nivel de proteína sobre el comportamiento de cerdos desde 35 a 165 días de edad.

autopsia a todos los animales y se examinaron histológicamente sus tejidos con los microscopios de luz y electrónico. Se observaron cambios en el estómago, duodeno y yeyumo debido a la detención del crecimiento, atrofia de las capas epiteliales y detención del desarrollo de la formación *organelle* necesaria para el funcionamiento celular normal. El estudio de las costillas y huesos largos indicó una suspensión bien definida del desarrollo del sistema óseo. El hígado de todos los cerdos de este grupo estaba grasoso y desmenuzable y se observaron acumulaciones lobulares grasosas microscópicas.

En contraste, en los cerdos alimentados con una dieta de híbrido opaco-2 se obtuvieron mejores resultados que de los alimentados con maíz común (fig. 3). Su velocidad de crecimiento fue incrementada a 254 mg/día, o sea un aumento de 12 veces comparado con aquella de maíz común. Los cerdos consumieron 53% más de alimento pero requirieron sólo 4.43 kg/kg de peso ganado. Sin embargo, el comportamiento de los cerdos alimentados con el maíz opaco-2 fue muy inferior al observado en los cerdos alimentados con un nivel igual de proteína suplida por una mezcla de maíz y harina de frijol soya. Este comportamiento inferior observado en los cerdos alimentados con opaco-2 indica que aunque el nivel y balance de aminoácidos del maíz opaco-2 son muy superiores que los del maíz común, no son adecuados para lograr el nivel de crecimiento

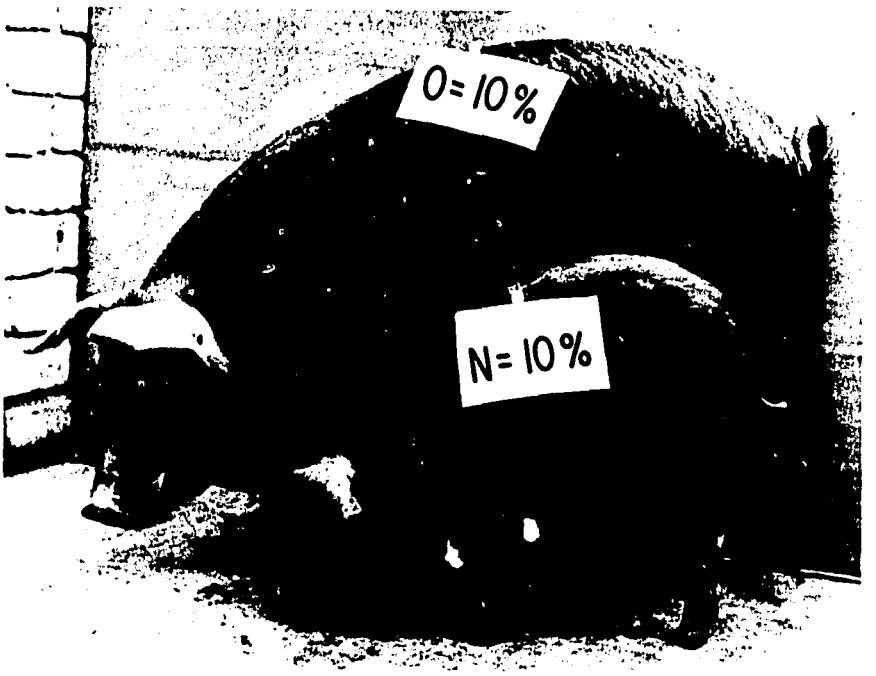


FIGURA 3 Comparación de cerdos alimentados con maíz opaco-2 y maíz común desde 35 a 115 días de edad. N = maíz común, O = maíz opaco-2.

producido por la dieta control de maíz-harina de frijol soya que contiene un nivel igual de proteína pero un mejor balance de aminoácidos esenciales.

Aunque ni la velocidad de crecimiento ni la relación de conversión de alimentos fueron iguales a las producidas por la dieta control con igual nivel de proteína, los cerdos alimentados con maíz opaco-2 demostraron una completa salud histopatológica y una ausencia general de síntomas aparentes de deficiencia de proteína. El nivel de aminoácidos y nitrógeno que este híbrido suple permitió mantener las estructuras *organelle* celulares, pero la estructura epitelial total no igualó la cantidad observada en animales normales que recibieron el suplemento adecuado de proteína, ni el maíz opaco-2 evitó completamente que hubiera cambios grasosos en el hígado.

Aunque la suplementación de la dieta de maíz común con 0.28% de L-lisina HCl y 0.04% de L-triptofano incrementó el aumento de peso y la eficiencia en conversión de alimentos y la salud general de los cerdos, el comportamiento de ellos fue inferior que cuando recibían las dietas control y con maíz opaco-2.

En base a que el maíz opaco-2 falló en suplir un nivel y balance de aminoácidos que pudiesen lograr un nivel de comportamiento igual al de una dieta control (maíz-harina de frijol soya) con igual nivel de proteína, y que la suplementación de maíz común con lisina y triptofano falló para mejorar la calidad del maíz común al nivel observado en maíz opaco-2, se estudió una respuesta

TABLA 7 Composición de dietas utilizadas para comparar la respuesta de cerdos de 9 kg a la suplementación con aminoácidos de maíz opaco-2 o maíz común.

Composicion de la dieta	*Dieta 1 Maíz-soya (9.9% proteína)*	*Dieta 2 Dieta de prueba de maíz*
Maíz	45.45	91.00
Harina de frijol soya	10.00	–
Sacarosa	39.90	–
Harina de huesos	3.00	–
Vitamina premix	1.00	–
Minerales premix	0.40	–
L lisina HCI	–	0.28
Aminoácidos	–	+++[1]

[1] En la tabla 8 se presenta la adición de aminoácidos a una dieta basal experimental con maíz para formar dietas experimentales.

comparativa de ambos maíces a una suplementación de aminoácidos (10, 11). Todos los tratamientos se basaron en dietas básicas de maíz opaco-2 y normal a las cuales se les añadió 0.28% de L-lisina HCl (tabla 7). El experimento consistió en un arreglo factorial 2 X 2 X 2 de los tratamientos sin y con L-triptófano (0.04%) L-treonina (0.08%) y DL-metionina (0.10%) añadidos a cada fuente de maíz, de modo que cada aminoácido aparecía solo y en combinación con los otros. Como un control positivo se incluyó una dieta con un igual nivel de proteína de maíz común-harina de frijol soya.

De acuerdo con esto, durante 21 días se alimentó a 136 cerdos, que tenían un peso promedio de 9 kg, con 17 tratamientos dietéticos diferentes. En la tabla 8 se presentan los resultados. Los cerdos alimentados con maíz común más lisina sólo respondieron a la suplementación con triptófano. No se observó ninguna respuesta individual o adicional ya sea con la suplementación con treonina o con la de metionina.

Cuando se usó maíz opaco-2 en presencia de lisina y se le agregó triptófano y treonina, se observó un incremento significativo en el crecimiento y la eficiencia alimenticia. No se observó respuesta de ninguno de los aminoácidos suplementarios ni de que el haber agregado metionina haya mejorado la tasa de crecimiento observada cuando se agregaron el triptófano y la treonina a la dieta basal (maíz + lisina).

El maíz común en presencia de lisina y triptófano mostró un comportamiento similar al del control (maíz-harina de frijol soya, 9.9%), de igual manera que sucedió con el maíz opaco-2 suplementado con lisina. La suplementación del opaco-2 con lisina, triptófano y treonina (dieta 13) en este estudio produjo resultados superiores a los producidos por el alimento control (maíz-harina de frijol soya) para un mismo nivel de proteína (dieta 17).

Lewis *et al.* (6) alimentaron a 120 cerdos, de un promedio de 25 días de edad y 5.18 kg de peso, con niveles crecientes de harina de frijol soya con maíz común y opaco. Estos investigadores reportaron que a niveles mayores de 28.7% de harina de frijol soya en la dieta (19.5 y 20.5% de proteína para maíz común y opaco-2, respectivamente), los cerdos a los que se alimentó con maíz opaco-2

TABLA 8 Respuesta comparativa de cerdos alimentados con maíz común o maíz opaco-2 suplementados con lisina, triptófano, treonina y metionina en forma individual o combinada.

Tratamiento	*Ganancia prom. diario (kg)*	*Relación Alimento/ganancia*
1. Maíz común (MC) + 0.28% lis.	0.02	16.02
2. MC + lis. + tri.	0.15	4.08
3. MC + lis. + tre.	0.02	18.63
4. MC + lis. + met.	0.03	12.68
5. MC + lis. + tri. + tre.	0.16	3.66
6. MC + lis. + tri. + met.	0.18	3.65
7. MC + lis. + tre. + met.	0.03	13.32
8. MC + lis. + tri. + tre. + met.	0.16	3.75
9. Maíz opaco-2 (MO) + 0.28% lis.	0.22	3.72
10. MO + lis. + tri.	0.20	3.80
11. MO + lis. + tre.	0.18	3.64
12. MO + lis. + met.	0.19	3.62
13. MO + lis. + tri. + tre.	0.32	2.89
14. MO + lis. + tri. + met.	0.21	3.55
15. MO + lis. + tre. + met.	0.17	3.52
16. MO + lis. + tri. + tre. + met.	0.28	2.93
17. Maíz-soya (9.9% proteína)	0.19	3.45

Nota: Los aminoácidos se agregaron en los siguientes niveles: L-lisina (lis.), 0.28%; L-triptófano (tri.), 0.04%; L-treonina (tre.), 0.08%; y DL-metionina (met.), 0.10%
Fuente: Gallo *et al* (11).

aumentaron de peso y requirieron menos alimento por unidad de peso ganada que los cerdos alimentados con maíz común. Sin embargo, a niveles mayores de suplementación con harina de frijol soya ocurrió lo contrario. Cuando en la dieta el maíz normal se reemplazó por una cantidad igual de maíz opaco-2 (tabla 9), a niveles subóptimos de proteína, los cerdos recién destetados tuvieron un aumento significativo de peso con cantidades más bajas de alimento.

TABLA 9 Comportamiento de cerdos lactantes alimentados con diferentes niveles de harina de frijol soya con ya sea maíz común o maíz opaco-2.

Nivel de harina de frijol soya (%)	*Maíz común*			*Maíz opaco-2*		
	Nivel de proteína (%	*Ganancia total (kg)*	*Relación alim./ganancia*	*Nivel de proteína (%)*	*Ganancia total (kg)*	*Rel. alim./ganancia*
18.7	15.5	9.07	2.03	16.5	10.76	1.87
23.7	17.5	9.74	1.90	18.5	9.67	1.66
28.7	19.5	10.88	1.77	20.5	11.28	1.68
33.7	21.5	10.18	1.74	22.5	8.99	1.62
38.7	23.5	11.24	1.66	24.5	7.06	1.80

Fuente: Drews *et al.* (6).

TABLA 10 Comportamiento de cerdos en crecimiento (18-50 kg) alimentados con maíz común, maíz opaco-2 o mezcla de maíz-harina de frijol soya.

Dieta	*1* *Maíz-soya (16% proteína)*	*2* *Maíz opaco-2 (9.7% proteína)*	*3* *Maíz común (9.7% proteína)*
Ganancia prom. diario (kg)	0.610	0.455	0.125
Relación alim./ganancia	2.69	3.46	7.26
Días a los 50 kg	56	79	112[a]

[a] Al término del estudio los cerdos pesaron en promedio sólo 31.7 kg.
Fuente: Maner y Gallo (23).

Cerdos en crecimiento

Aunque el nivel de proteína y de aminoácidos del maíz opaco-2 no son adecuados para lograr un crecimiento satisfactorio de cerdos de sólo 9 kg, inicialmente, este maíz es una fuente de proteína adecuada para cerdos grandes debido a los menores requerimientos de proteína y aminoácidos de estos últimos. Algunos estudios (23) han demostrado que cuando el maíz opaco-2 es la única fuente de energía y proteína (tabla 10) para los cerdos que pesan entre 18 y 50 kg, el aumento de peso es igual a un 75% del que se obtiene con la dieta control (maíz-harina de frijol soya) con 16% de proteína (0.455 comparado con 0.610 kg). De la misma manera, el maíz opaco-2 aumenta el crecimiento en un 364% al que se obtiene de animales alimentados con maíz normal como la única fuente de proteína (0.455 comparado con 0.125 kg). Aunque los resultados obtenidos con el maíz opaco-2 fueron inferiores a los de la dieta control (tanto en el aumento de peso como en la conversión de alimentos), los resultados fueron cuatro veces superiores a los que se obtienen cuando se usa el maíz común como única fuente de energía.

En base a que durante el período de crecimiento, no se puede utilizar el maíz opaco-2 como única fuente de proteína, se efectuaron estudios conducentes a determinar a qué nivel de sustitución se podría utilizar el maíz opaco-2 para

TABLA 11 Composición de las dietas básicas en los estudios con maíz opaco-2

	% proteína		
Composición de la dieta	*16*	*12*	*9.7*
Maíz común	80.75	90.42	96.25
Harina de frijol soya	15.75	5.88	–
Harina de huesos	2.00	2.50	2.50
Carbonato de calcio	0.50	0.20	0.25
Vitamina premix	0.60	0.60	0.60
Minerales premix	0.40	0.40	0.40
Aminoácidos	–	–	+++[1]

[1] En la tabla 8 se muestra la adición de aminoácidos a una dieta basal experimental con maíz para formar dietas experimentales.

reducir el nivel total de proteína en la dieta. Se compararon dietas con 16, 12 y 9.7% de proteína basadas en maíz común o en opaco-2, suplementadas con harina de frijol soya cuando era necesario para lograr el nivel requerido de proteína (tabla 11).

Los resultados obtenidos (tabla 12) con estas dietas demuestran claramente que en los cerdos en crecimiento no se observó ningún progreso cuando se utilizó maíz opaco-2 para sustituir al maíz común cuando la dieta contenía un nivel adecuado de proteína (16%). Sin embargo, cuando se utilizó maíz opaco-2 en una dieta con 12% de proteína, se obtuvo un crecimiento igual al que se obtiene con dietas óptimas (16% de proteína) aún cuando se redujo la proteína suplementada (harina de frijol soya) a un 66%. A este nivel de sustitución, se requirió ligeramente más alimento para producir 1 kg de ganancia, pero el crecimiento no fue significativamente diferente. Con la dieta de maíz común —harina de frijol soya, con 12% de proteína— ocurrió lo contrario ya que el grado de crecimiento y la eficiencia de conversión de alimentos que se observaron fueron inferiores a los obtenidos con la ración control (16.5 de proteína) o de opaco-2-harina de frijol soya con 12% de proteína.

Cuando se usó maíz opaco-2 como única fuente de proteína, el comportamiento fue similar a la dieta de maíz común —harina de frijol soya— pero significativamente inferior a la dieta control (16% de proteína) y a la que contiene un 12% de proteína basada en maíz opaco-2. Por otra parte con el maíz opaco-2 el grado de crecimiento fue del doble que el que se obtuvo por dietas de maíz común no suplementadas. El maíz común, pero no el opaco-2, fue significativamente mejorado mediante la adición de 0.28% de L-lisina y 0.04% de L-triptófano.

TABLA 12 Comportamiento de cerdos alimentados con maíz opaco-2 y maíz común durante el período de crecimiento.

Tratamiento	*Ganancia prom. diaria (kg)*	*Relación alim./ ganancia*
1. Maíz común-soya, 16%	0.88^{a}	2.40^{w}
2. Maíz opaco-2 soya, 16%	0.79^{abc}	2.43^{w}
3. Maíz común-soya, 12%	0.69^{cd}	3.02^{y}
4. Maíz opaco-2 soya, 12%	0.80^{ab}	2.66^{wx}
5. Maíz común, 10%	0.36^{e}	4.08^{z}
6. Maíz opaco-2, 10%	0.64^{d}	2.94^{xy}
7. Maíz común + lisina + triptófano, 10%	0.66^{d}	3.09^{y}
8. Maíz opaco-2 + lisina + triptófano, 10%	0.73^{bcd}	2.80^{xy}
9. Maíz común + lisina + D-triptófano, 10%	0.64^{d}	3.13^{y}

Fuente: Gallo *et al.* (8).

[1] Los valores a, b, c, d, w, y, y z en la misma columna con diferentes exponentes estadísticamente son diferentes.

En la tabla 13 se presenta un resumen de otro trabajo publicado sobre el valor del maíz opaco-2 para cerdos en crecimiento. En cada caso, se demostró la superioridad del maíz opaco-2 sobre el común. Por lo general, con maíz opaco-2 se requiere un nivel menor de suplemento proteínico para obtener los aumentos de peso logrados con maíz común suplementado con cantidades mayores de proteína y lisina adicionales. Por otra parte, se demostró que la lisina es el principal aminoácido limitante del maíz opaco-2. Algunos estudios han indicado que aunque el maíz opaco-2 es superior al maíz común para alimentar a cerdos en crecimiento (18-50 kg), no es capaz de suplir el nivel de aminoácidos requerido para lograr igual nivel de crecimiento que una dieta control adecuada. Por lo tanto, se comparó el valor nutritivo del maíz opaco-2 y del común, con y sin suplementación de aminoácidos, con el de una dieta adecuada con 16% de proteína basada en maíz-harina de frijol soya. Por lo consiguiente, se ajustó el nivel de aminoácidos para cada fuente de maíz en un intento para igualar el contenido adecuado de aminoácidos de cada una de ellas. De estudios previos se mostró que la suplementación con lisina, triptófano y treonina podía aumentar el crecimiento. En adición de estos tres aminoácidos se añadió insoleucina.

Todos los aminoácidos se agregaron en la forma *L* y se calcularon para proveer iguales niveles totales de lisina, triptófano, treonina e isoleucina. La dieta de maíz común se suplementó con 0.56% de *L*-lisina, 0.08% de *L*-triptofano, 0.12% de *L*-treonina y 0.06% de *L*-isoleucina. La dieta de maíz opaco-2 se suplementó con 0.28% de *L*-lisina, 0.04% de triptófano, 0.08% de *L*-treonina y 0.06% de *L*-isoleucina. Estas dietas se compararon con dietas de maíz-harina de frijol soya que contenían 16 y 9% de proteína y con dietas que sólo contenían maíz opaco-2 o común.

Los ensayos tuvieron una duración de 21 días y los resultados obtenidos se presentan en la tabla 14. El maíz común, como única fuente de proteína, sólo determinó un crecimiento pobre. La suplementación con los cuatro aminoácidos mejoró el crecimiento al nivel obtenido con maíz opaco-2 y con la dieta control de maíz harina de frijol soya con 9% de proteína (dieta 2). Sin embargo, tanto el crecimiento como la conversión de alimento de los animales alimentados con el suplemento de aminoácidos fueron inferiores que los obtenidos con un control adecuado con 16% de proteína.

En el maíz opaco-2 se observó un comportamiento similar y no muy diferente al del control de maíz-harina de frijol soya con 9% de proteína, pero inferior al del control con 16% de proteína. La suplementación de la dieta con maíz opaco-2 con la mezcla de los cuatro aminoácidos mejoró el comportamiento a un nivel no muy diferente del control maíz-harina de frijol soya con 16% de proteína. Estos datos indican que el nivel de proteína y de otros aminoácidos, además de los cuatro que se agregaron, son adecuados para obtener un comportamiento óptimo de los cerdos, y que la corrección de la deficiencia de estos cuatro aminoácidos capacita a la proteína del maíz opaco-2 para lograr un nivel de crecimiento igual al que se obtiene con el control adecuado.

TABLA 13 Valor comparativo de maíz opaco-2 y maíz común para cerdos en crecimiento.

Universidad (E.U.A.)	*Tratamiento*[1] *(nivel de proteína, %)*	*Peso inicial, (kg)*	*Ganancia prom. diaria*[2] *(kg)*	*Alimento prom. diario*[2] *(kg)*	*Relación*[2] *alim./ ganancia*[2] *(kg)*	*Fuente*
Purdue	MO (11.2)	10	0.26[a]	0.91[a]	3.46[a]	Cromwell et al. (5)
	MC (8.8)	10	0.06[b]	0.64[b]	9.88[b]	Cromwell et al. (5)
	MC + N (11.2)	10	0.06[b]	0.65[b]	9.98[b]	Cromwell et al. (5)
	MC + N + L (11.2)	10	0.06[b]	0.54[b]	8.52[b]	Cromwell et al. (5)
	MC + N + L + T (11.2)	10	0.21[a]	0.87[a]	4.16[a]	Cromwell et al. (5)
	MC + HFS (11.2)	10	0.21[a]	0.91[a]	4.41[a]	Cromwell et al. (5)
Purdue	MC + HFS (16)	13	0.44[a]	1.14[a]	2.57[a]	Cromwell et al. (5)
	MOP + HFS (16)	13	0.58[b]	1.39[b]	2.40[a]	Cromwell et al. (5)
	MC + HFS (14)	13	0.42[a]	1.11[a]	2.67[a]	Cromwell et al. (5)
	MO + HFS (14)	13	0.40[a]	1.08[a]	2.67[a]	Cromwell et al. (5)
	MC + HFS (11.8)	13	0.31[a]	1.08[a]	3.49[b]	Cromwell et al. (5)
	MO + HFS (11.2)	13	0.33[a]	1.14[a]	3.41[b]	Cromwell et al. (5)
Minnesota	MC + HFS (16)	13.5	0.66[f]	1.38	2.09	Pick y Meade (31)
	MO + HFS (15)	13.5	0.66[f]	1.35	2.04	Pick y Meade (31)
	MO + HFS (13.5)	13.5	0.59[ef]	1.31	2.22	Pick y Meade (31)
	MO + HFS (11.9)	13.5	0.57[ef]	1.36	2.39	Pick y Meade (31)
	MO + HFS (10.3)	13.5	0.51[e]	1.31	2.57	Pick y Meade (31)
	MO (8.7)	13.5	0.38[e]	1.23	3.23	Pick y Meade (31)
Purdue	MC (8.3)	13	0.15	0.88	5.90	Klein et al. (16)
	MO (11.3)	13	0.36	1.12	3.10	Klein et al. (16)
	MO (8.3)	13	0.22	1.06	4.80	Klein et al. (16)
	MC + AA (9.1)	13	0.31	1.02	3.30	Klein et al. (16)

TABLA 13 (Cont.)

Universidad (E.U.A.)	*Tratamiento*[1] *(nivel de proteína, %)*	*Peso inicial, (kg)*	*Ganancia prom. diaria*[2] *(kg)*	*Alimento prom. diaria*[2] *(kg)*	*Relación alim./ganancia*[2] *(kg)*	*Fuente*
Virginia Polytechnic Institute (VPI)	MC + HM (16)	24	0.26	1.30	5.00	Thomas y Kornegay (37)
	MC + HM + L (16)	24	0.48	1.47	3.28	Thomas y Kornegay (37)
	MC + HM (14)	24	0.24	1.32	5.50	Thomas y Kornegay (37)
	MC + HM + L (14)	24	0.37	1.46	3.95	Thomas y Kornegay (37)
	MO + HM (14)	24	0.36	1.51	4.20	Thomas y Kornegay (37)
	MO + HM (16)	24	0.37	1.47	3.97	Thomas y Kornegay (37)
	MC + HM (16)	18	0.25	1.18	4.81	Thomas y Kornegay (37)
	MC + HM + L (16)	18	0.42	1.57	3.71	Thomas y Kornegay (37)
	MO + HM (16)	18	0.35	1.36	3.90	Thomas y Kornegay (37)
	MO + HM + L (16)	18	0.55	1.75	3.16	Thomas y Kornegay (37)
Purdue	MC + HFS (16)	20	0.63	1.99	3.16	Gipp y Cline (12)
	MC + HFS (14)	20	0.60	2.08	3.46	Gipp y Cline (12)
	MC + HFS + L (14)	20	0.65	2.03	3.12	Gipp y Cline (12)
	MO + HFS (14)	20	0.64	1.91	2.98	Gipp y Cline (12)
	MO + L (11)	20	0.57	1.88	3.29	Gipp y Cline (12)

[1] Maíz opaco-2 (MO), maíz común (MC), nitrógeno no esencial (N), lisina (L), triptófano (T), harina de frijol soya (HFS), aminoácidos (AA), harina de maní (HM).

[2] Los valores a, b, c, e, y f en la misma columna con diferentes exponentes estadísticamente son diferentes.

TABLA 14 Comportamiento de cerdos alimentados a un igual nivel total de aminoácidos con máiz opaco-2 y maíz común.

Tratamiento[a]	*Ganancia prom. diaria (kg)*	*Relación alimento/ganancia*
1. Maíz común + soya, 16%	0.73	2.50
2. Maíz común + soya, 9%	0.47	3.33
3. Maíz común (MC), 9%	0.22	4.88
4. Maíz opaco-2 (MO), 9%	0.52	2.76
5. MC + 0.56% lis. + 0.08% tri. + 0.12% tre. + 0.06% iso.	0.45	4.00
6. MO + 0.28% lis. + 0.04% tri. + 0.08% tre. + 0.06% iso.	0.68	2.64

[a] Lisina (lis.), triptófano (tri.), treonina (tre.) e isoleucina (iso.).
Fuente: Gallo, J. T., y J. H. Maner. Información inédita.

Cerdos en la etapa final de vida

Los cerdos en la etapa final de vida (50-90 Kg) requieren menos proteína y aminoácidos que los cerdos en la etapa de crecimiento. Como se muestra en la tabla 15 (8, 9), el maíz opaco-2 es adecudo como única fuente de proteína en la dieta para mantener un crecimiento óptimo. Los cerdos alimentados con esta dieta crecieron tan rápido y eficientemente como aquellos que recibieron la dieta control de maíz-harina de frijol soya con 16% de proteína. Sin embargo, a los que se alimentó con maíz común como la fuente de proteína tuvieron un aumento de peso más bajo y menos eficiente. Se incrementó este aumento a un nivel igual al de la dieta control o con maíz opaco-2 cuando se suplementó a la dieta de maíz común con 0.28% de lisina y 0.04% de triptófano. Por lo tanto, se demostró que el maíz opaco-2 sólo puede servir como única fuente de proteína y energía para los cerdos en la etapa final de vida.

Estudios similares (12) demuestran que con una dieta de maíz opaco-2-harina de frijol soya con un 11% de proteína, hubo un crecimiento y conversión de alimento similar al que se obtuvo en una dieta de maíz común-harina de frijol soya con 13% de proteína. Se obtuvieron resultados parecidos de dietas de maíz común con 11% de proteína suplementadas con harina de frijol soya y lisina. Sin embargo, el maíz común que sólo se suplementó con harina de frijol soya para lograr una dieta con 11% de proteína fue inferior a todas las demás dietas. Como este estudio no incluye maíz opaco-2 como fuente de proteína, no es posible una comparación directa de los resultados con los de otros estudios.

Otros estudios efectuados por Maner *et al.* (26) confirman los primeros resultados que demostraron que el nivel de proteína y la calidad del maíz opaco-2 fue completamente adecuado para la etapa final de vida de los cerdos.

Crecimiento-etapa final

Si los cerdos de 18-20 kg se alimentan con dietas similares (tabla 11) durante el crecimiento y período final (18-90 kg), los resultados finales son similares a los obtenidos en 50 kg (tabla 16). Ni la suplementación de 0.28% de L-lisina a la dieta de maíz opaco-2 ni de 0.28% de L-lisina más 0.04% de L-triptófano a una dieta proteínica exclusivamente de maíz, fue adecuada para lograr comportamientos iguales a los que se obtuvieron con la dieta control con 16% de

TABLA 15 Valores comparativos de maíz opaco-2 y maíz común para cerdos en el período final.

País	*Tratamiento*[1] *(nivel de prot. %)*	*Peso de los cerdos (kg)*	*Ganancia prom. diario*[2] *(kg)*	*Alimento prom. diario*[2] *(kg)*	*Relación alim./ganancia*[2]	*Fuente*
Colombia	MC + HFS (16)	50-90	0.79[a]	2.65	3.35[y]	Gallo et al. (9)
	MC (10)	50-90	0.62[b]	2.84	4.58[z]	Gallo et al. (9)
	MO (10)	50-90	0.81[a]	2.97	3.67[y]	Gallo et al. (9)
	MC + L + T (10)	50-90	0.81[a]	2.89	3.57[y]	Gallo et al. (9)
E.U.A. (Universidad Purdue)	MC + HFS (13)	53-92	0.75[c]	3.16	4.21[a]	Gipp y Cline, (12)
	MO + HFS (11)	53-92	0.73[a]	3.16	4.33[a]	Gipp y Cline, (12)
	MC + HFS (11)	53-92	0.62[b]	3.04	4.90[a]	Gipp y Cline, (12)
	MO + L (11)	53-92	0.79[a]	2.99	3.79[b]	Gipp y Cline, (12)
	MC + HFS + L (11)	53-92	0.69[ab]	3.22	4.67[a]	Gipp y Cline, (12)

[1] Maíz común (MC), harina de frijol soya (HFS), maíz opaco-2 (MO) lisina (L), triptófano (T).

[2] Los valores a, b, c, y, y z en la misma columna con diferentes exponentes estadísticamente son diferentes.

TABLA 16 Valor comparativo de maíz opaco-2 y maíz común para cerdos en crecimiento- período final.

País	*Tratamiento*[1] *(nivel de prot.)*	*Peso de los cerdos, kg*	*Ganancia prom. diaria, kg*	*Alimento prom. diaria, kg*	*Relación alim./ ganancia*[2]	*Fuente*
Brasil	MC (10.5%)	30-20	0.358[a]	1.78	4.98[a]	Kronka et al., (17)
	MO (10.7%)	30-100	0.628[b]	2.46	3.91[b]	Kronka et al., (17)
	MC + HFS (15.3%)	30-110	0.712[b]	2.55	3.58[b]	Kronka et al., (17)
	MO + HFS (16.1%)	30-109	0.705[b]	2.62	3.71[b]	Kronka et al., (17)
E.U.A.	MC + HFS (16-13)	20-90	0.69	2.33	3.37	Gipp y Cline, (12)
(Universidad	MO + HFS (14-11)	20-90	0.69	2.55	3.69	Gipp y Cline, (12)
Purdue)	MC + HFS (14-11)	20-90	0.61	2.57	4.22	Gipp y Cline, (12)
	MO + L (11-11)	20-90	0.68	2.43	3.58	Gipp y Cline, (12)
	MC + HFS + L (14-11)	20-90	0.67	2.63	3.92	Gipp y Cline, (12)
Colombia	MC + HFS (16)	18-90	0.66[a]	2.13	3.22[a]	Gallo y Maner, 1969
	MC (10)	18-32	0.12[b]	0.87	7.26[b]	Gallo y Maner, 1969
	MO (10)	18-90	0.47[c]	1.65	3.52[a]	Gallo y Maner, 1969
	MC + L + T (10)	18-90	0.40[c]	1.48	3.69[a]	Gallo y Maner, 1969
	MO + L (10)	18-90	0.53[c]	1.78	3.36[a]	Gallo y Maner, 1969
Colombia	MC + HFS (16-16)	20-90	0.78	2.37	3.04	Maner et al., (25)
	MC + HFS (16-12)	20-90	0.79	2.49	3.15	Maner et al., (25)
	MO + HFS (16-10)	20-90	0.76	2.46	3.24	Maner et al., (25)

[1] Maíz común (MC), maíz opaco-2 (MO), harina de frijol soya (HFS), lisina (L), triptófano (T).

[2] Los valores a, b y c en la misma columna con diferentes exponentes por el mismo autor estadísticamente son diferentes.

proteína. Sin embargo, la dieta de maíz común suplementado con lisina y triptófano mejoró significativamente tanto el crecimiento como la eficiencia de utilización de alimentos.

Estudios similares en Brasil (17) mostraron resultados semejantes a los que se hicieron en Colombia, excepto que los resultados obtenidos con maíz común como única fuente de proteína fueron mejores debido a que se comenzó con cerdos de mayor peso (30 en comparación con 18 kg). Estos estudios indican que el maíz opaco-2 es inferior para cerdos en crecimiento y en la etapa final, que una dieta adecuada con 16% de proteína, pero superior al maíz común como única fuente de proteína.

Los estudios hechos en la Universidad Purdue (12), indican que aparentemente el maíz opaco-2 puede sustituir dietas de maíz harina de frijol soya entre un 13 o 16% de proteína en cerdos en crecimiento-etapa final de vida si ellas se suplementan apropiadamente con lisina o pequeñas cantidades de harina de frijol soya.

Gestación

La razón por la que el tamaño de la camada, el peso de los cerdos al nacimiento y el destete a diferentes edades sean similares, depende de los diferentes niveles de proteína en la alimentación durante toda la gestación (13, 15, 18, 19). Las cerdas preñadas tienen una marcada capacidad para proveer nutrimentos a los fetos en desarrollo durante períodos de restricciones severas de proteína. No se ha observado que una alimentación con dietas que contengan 5% de proteína durante la preñez tenga efectos nocivos sobre la descendencia (4, 34). Y aun cuando la dieta esté esencialmente libre de proteína desde el vigésimo cuarto día de la gestación hasta el parto, han nacido cerdos normales en número y peso (33, 36).

El maíz opaco-2 ha sido usado como única fuente de proteína y energía para cerdas en período de gestación sin alterar la reproducción normal (1, 13, 14). En comparación con cerdas-control alimentadas con dietas de maíz común o de maíz-harina de frijol soya que contienen de 11.2 a 20% de proteína cruda, la alimentación con maíz opaco-2 durante la gestión no tuvo efecto sobre el número o peso de los cerdos recién nacidos. Sin embargo, el número de cerdos al destete, por camada, la ganancia de peso por camada y el peso total de la camada al destete fueron superiores para cerdas alimentadas con dietas de maíz opaco-2 en comparación con aquellas que lo fueron con una dieta de maíz normal (1).

Lactancia

Mahan y sus colaboradores (20, 21) en la Universidad de Illinois, suplementaron maíz opaco-2 exclusivamente con vitaminas y minerales para alimentar a cerdas en su primera y segunda camada y compararon su comportamiento con cerdas alimentadas con dietas de maíz-harina de frijol soya con niveles de 10 a 18% de proteína. El aumento de peso en las camadas de las cerdas alimentadas

TABLA 17 Efecto del nivel de proteína y maíz opaco-2 sobre cerdas y camadas

	Proteína en la dieta					
	Maíz-harina de frijol soya (%)					*Opaco-2 (%)*
Criterio	*10*	*12*	*14*	*16*	*18*	*9,7*
Cerdas de la primera camada						
Peso al parir	156.4	149.3	163.5	154.4	153.5	163.6
Pérdida de peso, 0-28 días	-26.9	-15.3	-13.5	-12.8	-11.0	-25.3
Alimento consumido, 0-28 días	86.6	94.6	97.0	97.8	96.0	92.2
Peso de la camada, 28 días	45.9	49.2	51.4	54.6	53.0	49.8
Peso prom. por cerdo de 28 días	5.7	6.2	6.4	6.8	6.6	6.2
Cerdas de la segunda camada						
Peso al parir	188.4	195.0	187.9	197.9	186.4	184.8
Pérdida de peso, 0-28 días	-25.6	-20.8	-16.5	-15.6	-13.9	-22.0
Alimento consumido, 0-28 días	109.0	111.8	107.1	114.7	116.0	114.1
Peso de la camada, 28 días	49.6	49.8	50.7	53.8	56.5	48.9
Peso prom. por cerdo de 28 días	5.0	5.0	5.1	5.4	5.7	4.9

Fuente: Mahan *et al* (21).
Nota: Todos los pesos son en kilogramos.

con maíz opaco-2 fue intermedio respecto al que se obtuvo con dietas con 12 y 14% de proteína pero fueron similares a aquellas para cerdas alimentadas con dietas de 10% de proteína (tabla 17). Cuando se mantuvo constante el tamaño de la primera y la segunda camadas de las cerdas en ocho y diez cerdos por camada, respectivamente, y se controló el nivel de alimentación para asegurar aproximadamente una cantidad igual para todas las cerdas, el aumento de peso de las camadas de las cerdas alimentadas con maíz opaco-2 fue inferior al aumen-

TABLA 18 Producción de cerdas en lactancia alimentadas con dietas de maíz opaco-2 con niveles subóptimos de proteína.

	Proteína dietética		
Criteria	*Maíz normal-harina de frijol soya*[1] *(16% prot.)*	*Maíz opaco-2 harina de frijol soya*[1] *(12% prot.)*	*Maíz opaco-2*[1] *(9.8% prot.)*
Número de cerdas	23	26	25
Peso prom., 24 hs. post-parto (kg)	175.6	184.6	174.2
Peso prom., 35 días post-parto (kg)	188.3	195.0	172.0
Ganancia o pérdida prom. de las cerdas (kg)	+12.8[a]	+10.4[a]	-2.2[b]
Alimento prom. diario, 0-35 días (kg)	4.63	4.85	4.57
Prom. de cerdos nacidos vivos	9.9	9.6	10.0
Prom. de cerdos a los 35 días	7.4	7.4	8.0
Peso prom. de cerdos recién nacidos (kg)	1.3	1.3	1.3
Peso prom. de cerdos al destete, 35 días (kg)	6.1	6.1	6.1

Fuente: Adaptado de Maner, *et al.* (25).
[1] Los valores a y b en la misma hilera con exponentes diferentes estadísticamente son diferentes.

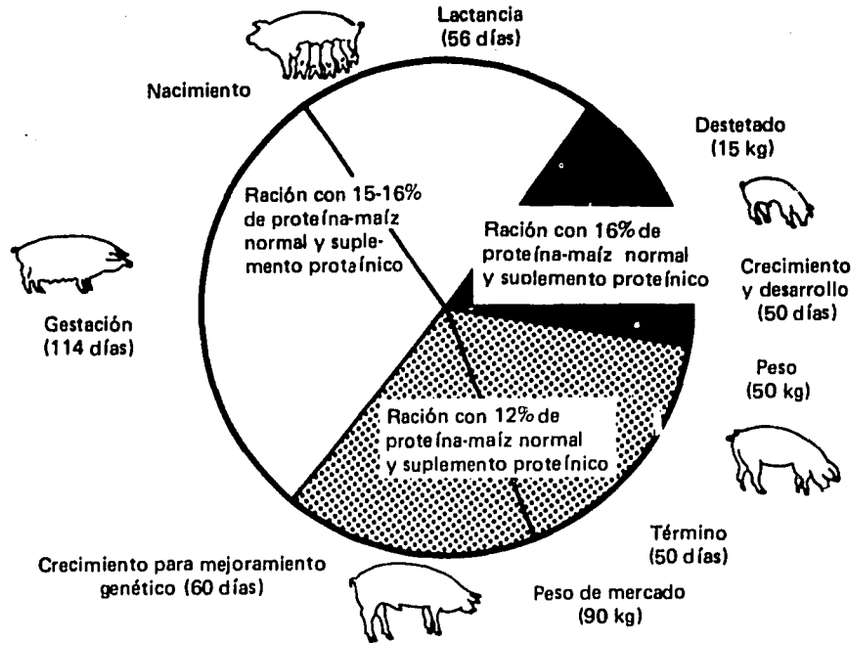


FIGURA 4 Sistema recomendado de alimentación a base de maíz común y harina de frijol soya.

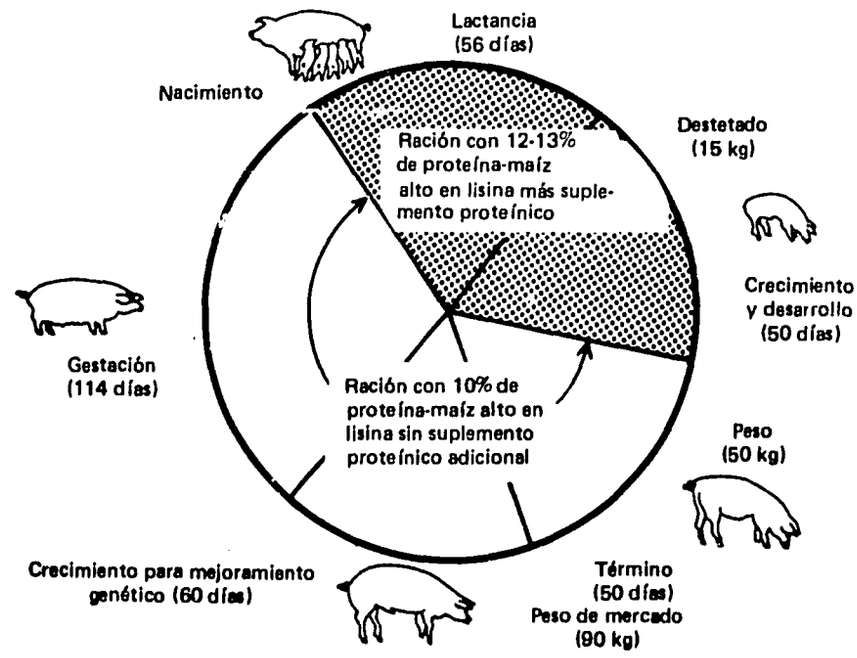


FIGURA 5 Sistema recomendado de alimentación a base de maíz opaco-2.

to de peso máximo obtenido para aquellas alimentadas con dietas con 16 a 18% de proteína. Las cerdas alimentadas con dietas de maíz opaco-2 tuvieron un balance negativo de nitrógeno durante la lactancia, como lo tuvieron las cerdas alimentadas con dietas con sólo 10% de proteína de maíz-harina de frijol soya (21). Cuando se alimentó a las cerdas con dietas de maíz opaco-2 o de maíz-harina de frijol soya con 10% de proteína, ocurrió una marcada reducción de la producción de leche en las cerdas (22).

Maner y sus colaboradores colombianos (25) compararon dietas de maíz opaco-2 que contenían niveles subóptimos de proteína (9.8 y 12%) con un control de maíz normal-harina de frijol soya que contenía un 16% de proteína. La dieta con 9.8% de proteína sólo contenía maíz opaco-2, vitaminas y minerales. La dieta con 12% de proteína, además de estos ingredientes, contenía 5.64% de harina de frijol soya. Después de alimentar con estas dietas a cerdas en lactancia durante un período de 35 días, no se observaron diferencias en el tamaño y peso de las camadas (tabla 18). Pero las cerdas alimentadas con la dieta de maíz opaco-2 con 9.8% de proteína perdieron significativamente más peso que los grupos de los otros dos tratamientos.

RESUMEN

En resumen (fig. 5) se puede concluir que se puede usar el maíz opaco-2 como única fuente de proteína durante los períodos final, anterior a la gestación y durante la gestación en el ciclo de vida de los cerdos sin afectar su desarrollo en comparación con dietas basadas en los requisitos del "Consejo Nacional de Investigación" (fig. 4). El maíz opaco-2 no sólo es adecuado para cerdos lactantes, en crecimiento o para cerdas en período de lactancia, y debe ser suplementado con algo de proteína y/o aminoácidos para producir un comportamiento óptimo y máximo. La ventaja del maíz opaco-2 es que contiene un mejor balance de aminoácidos, especialmente lisina y triptófano, lo cual permite un comportamiento igual de los cerdos con menos proteína suplementaria que en el caso del maíz común. En la fig. 5 se presenta el sistema de alimentación recomendado durante el ciclo de vida basado en maíz opaco-2.

BIBLIOGRAFIA

1. Baker, D. H., D. E. Becker, A. H. Jensen y B. G. Harmon. 1970. Protein source and level for pregnant gilts: a comparison of corn, opaque-2 corn and corn — soybean meal diets. J. Animal Sci, 30:364.
2. Becker, D. E., A. H. Jensen, B. G. Harmon. 1963. Balancing swine rations. Univ. Illinois Circ. 866.
3. Beeson, W. M., R. A. Pickett, E. T. Mertz, G. L. Cromwell y O. E. Nelson. 1966. Nutritional value of high-lysine corn. Proc. Distillers Feed Res. Council, 21:70.
4. Clawson, A. J., H. L. Richards, G. Matrone y E. R. Barrick 1963. Influence of level of total nutrient and protein intake on reproductive performance in swine. J. Animal Sci., 22:662.
5. Cromwell, G. L., R. A. Pickett y W. M. Beeson. 1967. Nutritional value of opaque-2 corn for swine. J. Animal Sci., 26:1325.

6. Drews, J. E , N. W. Moody, V. W. Hays, V. C. Speer y R. C. Ewan. 1969. Nutritional value of opaque-2 corn for young chicks and pigs. J. Nutr., 97:537.
7. Emerson, R. A., G. W. Beadle y A. C. Fraser. 1935. Summary of Linkage studies in maize. Cornell Univ. Agr. Exp. Sta. Mem. 180.
8. Gallo, J. T., J. H. Maner e I. Jiménez. 1968. Nutritive value of opaque-2 corn for growing pigs. J. Animal Sci.. 28:1152 (abstr.).
9. Gallo, J. H. Maner y M. Corzo. 1968. Feeding opaque-2 corn to finishing pigs. J. Animal Sci., 28:1152.
10. Gallo, J. H. Maner y M. Corzo. 1970. Opaque-2 vs. common corn with same total level of amino acids. J. Animal Sci., 31:200 (abstr.).
11. Gallo, J. H. Maner e I. Jiménez. 1970. Amino acid addition to Colombian opaque-2 and common corns. J. Animal Sci., 31:200 (abstr.).
12. Gipp. W. F. y T. R. Cline. 1972. Nutritional studies with opaque-2 and high protein opaque-2 corns. J. Animal Sci., 34:963.
13. Hesby, J. H., J. H. Conrad, M. P. Plumlee y T. G. Martin. 1970. Normal corn. opaque-2 corn and corn — soybean meal in swine reproduction. J. Animal Sci., 31:56.
14. Hesby, J. H. Conrad, M. P. Plumlee y R. B. Harrington. 1970. Nitrogen balance and serum protein response of gestating swine fed opaque-2 corn, normal corn and corn — soybean diets. J. Animal Sci., 31:481.
15. Holden, P. J., E. W. Lucas, V. C. Speer y V. W. Hays. 1968. Effects of protein level during pregnancy and lactation on reproductive performance in swin. J. Animal Sci., 27:1587.
16. Klein. R. G., W. M. Beeson, T. R. Cline y E. T. Mertz. 1971. Opaque-2 and floury-2 corn studies with growing swine. J. Animal Sci., 32:256.
17. Kronka, R. N., L. Melotti, E. L. Caielli, A. J. Rodrigues, L. T. Miranda y P. Biondi. 1968. Utilizacao do milho opaco-2 no crescimento en engorda de suinos. Bol. Ind. Animal (Sao Paulo), 25:197.
18. Lenkeit, W. 1957 Effect of feeding on embryonic development. Zuchtangskunde, 29:397.
19. Livingstone, R. M., R. M. MacPherson y F. W. H. Elsley. 1966. Note on the effect of protein concentation in the diets of pregnant sows on performance and carcass quality of their progeny. Animal Prod., 8:337.
20. Mahan, D. C., D. E. Becker y A. H. Jensen. 1971. Effect of protein levels and opaque-2 corn on sow and litter performance during the first and second lactation periods. J. Animal Sci., 32:470.
21. Mahan, D. E. Becker y A. H. Jensen. 1971. Effect of protein level and opaque-2 corn on nitrogen metabolism in the sow and litter during the first and second lactation periods. J. Animal Sci., 32:476.
22. Mahan, D. E. Becker, B. G. Harmon y A. H. Jensen. 1971. Effect of protein level and opaque-2 corn on sow milk composition. J. Animal Sci., 32:482.
23. Maner, J. H. y J. Gallo. Opaque-2 and common corn for growing-finishing pigs. Información inédita.
24. Maner, J. Gallo, H. Obando y J. Grant. 1969. Comparative responses of pigs fed common corn, opaque-2 corn, and corn-soybean meal diets at different levels of protein. Amer. Soc. Agron., Detroit (abstr.).
25. Maner, W. G. Pond, R. Portela y J. Mesa. 1971. Maíz opaco-2 en dietas con niveles subóptimos de proteína para cerdos en lactancia. III Reunión Latinoamer. Producción Animal, Bogotá, abril 26-30, 1971.
26. Maner, W. G. Pond, J. T. Gallo, A. Henao, R. Portela y F. Linares. 1971. Performance of rats and swine fed Colombian floury-2, Colombian opaque-2 or normal corn. J. Animal Sci., 33:791.
27. Mertz, E. T., L. S. Bates y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145:279.
28. Misouic, M., V. Anastasijenic, N. Senkonic, I. Rajic, A. Dokin y M. Petronic. 1969. Studies of the nutritional value of corn with an improved protein composition (opaque-2) on the gain and feed conversion of early weaned pigs. J. Sci. Agr. Res., 22:71.
29. Ocio, E., y J. Treviño. 1968. Valor biológico de la calidad de la proteína de maíz

opaco-2 cultivado en España. Actas VI Reunión Cient. Sociedad Ibérica Nutr. Animal, Madrid.

30. Osborne, T. B. y L. B. Mendel. 1914. Nutritive properties of proteins of the maize kernel, J. Biol, Chem., 18:1.
31. Pick, R. I. y R. J. Meade. 1970. Nutritive value of high lysine corn: deficiencies and availability of lysine and isoleucine for growing-swine. J. Animal Sci., 31:509.
32. Picketr. R. A. 1966. Opaque-2 corn in swine nutrition. Proc. High Lysine Corn Conf. Corn Refiners Assn., Inc., Washington, D.C., págs. 19-22.
33. Pond, W. G., W. G. Wagner, J. A. Dunn. and E. F. Walker, Jr. 1968. Reproduction and early postnatal growth of progeny in swine fed a protein-free diet during gestation. J. Nutr. 94:309.
34. Rippel, R. H., D. G. Rasmussen, A. H. Jensen, H. W. Norton, and D. F. Becker. 1965. Effect of level and source of protein on reproductive performance os swine. J. Animal Sci., 24:203.
35. Roberts, E. D., J. Maner, J. Gallo y D. D. Harpstead. 1969. Comparison of the cellular influence of cpaque-2 corn and common corn diets fed to swine. Amer. Soc. Agron., Detroit (abstr.).
36. Strachan, D. N., E. F. Walker, Jr., W. G. Pond, J. R. O'Connor, J. A. Dunn y R. H. Barnes. 1968. Reproduction in swine fed a protein-free diet at various stages of gestation. J. Animal Sci., 27:1157 (abstr.).
37. Thomas, H. R. y E. T. Kornegay. 1972. Lysine supplementation of high lysine corn and normal corn — peanut meal diets for growing swine. J. Animal Sci., 34:587.

Parte III

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ: ASUNTOS Y PROBLEMAS ACTUALES

D. E. Alexander*

Hace seis años y medio muchos de nosotros nos reunimos en la Universidad Purdue para conocer las primeras investigaciones sobre el maíz modificado en proteínas y para presentar los estudios hechos sobre el mismo. Entre los asistentes estaba un Senador de los Estados Unidos quien dijo algo que creo ha sido comprobado por los resultados obtenidos en las investigaciones hechas en los últimos seis años. El expresó: "...en mi opinión, esta conferencia marca uno de los grandes hitos del siglo veinte en la guerra más importante de nuestra era, la guerra para acabar con el hambre y satisfacer las necesidades humanas".

¿SE PUEDE MEJORAR LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ MODIFICADO?

Desde la conferencia de 1966, hay ciertas dudas respecto a si es acertado o no tratar de modificar la calidad proteínica de los cereales mediante procedimientos genéticos. Estas reservas fueron bien planteadas por J. R. Aitken en el número de abril-mayo de 1969 en la revista de la Sociedad Americana de Agronomía, *Crops and Soils.*

*Deparment of Plant Genetics, Universidad de Illinois, Urbana, Illinois.

"No hay justificación económica para tratar de hacer de un cereal de grano un tipo de alimento más completo. Las deficiencias en calidad y cantidad proteínica pueden ser corregidas en forma más económica mediante suplementación con suplementos proteínicos no derivados de granos o con aminoácidos sintéticos, los cuales por lo general tienden a bajar de precio a medida que pasa el tiempo. En el desarrollo de nuevas variedades de grano para la alimentación, el fitomejorador debe estudiar la forma de reducir el costo por caloría a través de un incremento de la producción de energía nutricional aprovechable por hectárea".

No se necesita decir que el comentario de Aitken provocó varias respuestas, la mayoría de ellas en desacuerdo con su punto de vista. Entre las que no estuvieron de acuerdo, y respondieron, estaba la del grupo de los mejoradores de maíz de la Universidad de Illinois. Entre otras cosas, expresaron:

"Varios economistas han calculado que el maíz regular opaco-2 compite con el maíz ordinario y frijol soya como dieta alimenticia en la alimentación de cerdos, asegurando que la reducción en producción no es mayor que de un 4 a un 6%. Por lo que la interrogante es simplemente acerca de si la producción del maíz modificado en calidad proteínica ahora está bajo este mínimo y de si es probable que en el futuro la producción permanezca por debajo del maíz ordinario".

La interrogante acerca de la suplementación del maíz de baja calidad proteínica con aminoácidos sintéticos puede ser contestada por un comentario reciente que hizo E. T. Mertz, codescubridor del efecto opaco-2:

"Suponiendo que no haya una reducción de rendimiento, las plantas de maíz opaco-2 pueden producir una cantidad extra de lisina y triptófano equivalente aproximadamente a 2 centavos de dólar la libra. Es improbable que algún proceso industrial pueda igualar este bajo costo de producción".

Nos parece que es útil tener alguna perspectiva para evaluar el curso probable que podrían tomar los acontecimientos. El fitomejoramiento es un proceso evolutivo, no un proceso revolucionario. Tanto los tipos dentado y normal como algunos harinosos, han sido seleccionados por el hombre por 10,000 o más generaciones. Los complejos de genes que modifican favorablemente estos tipos de endosperma se han acumulado con lentitud. Sería más sorprendente encontrar que en unas pocas generaciones de mejoramiento, el alelo opaco-2 en un fondo genético de modificadores que favorece al alelo dentado, diera como resultado un producto satisfactorio. Actualmente la evidencia está a mano y sugiere que hoy día los fitomejoradores están mucho más cerca al mejoramiento de maíces agronómicamente satisfactorios que pueden satisfacer los requerimientos calórico-proteínicos de cerdos de 70 libras y de jóvenes humanos, que a como lo estaban los fitomejoradores en 1908 para producir exitosamente maíces híbridos.

En resumen, nosotros creemos que los fitomejoradores deberían prestar atención al mejoramiento de maíces modificados en su calidad proteínica. Hacer-

lo de otra manera sería ignorar la realidad de que es necesario que las proteínas endospermáticas no sean de baja calidad biológica.

PRODUCCION DE LOS ESTADOS UNIDOS

En los Estados Unidos se ha introducido al mercado agrícola semilla de híbridos con relativamente escasa modificación proteínica y ahora casi toda la semilla para la venta lleva el gene opaco-2. Preguntamos a cuatro conocidos productores de híbridos acerca de sus ventas y de sus planes futuros para con el maíz opaco-2. Basándonos en sus respuestas, se estimó que en los Estados Unidos, en 1972, se produjeron aproximadamente 254 545 toneladas de maíz comercial opaco-2 esto es, cerca del 0.2% de la producción total del cultivo.

Todos los productores de semillas señalaron que los rendimientos casi siempre fueron inferiores a los de los híbridos dentados. Uno reportó que su compañía había convertido esencialmente todos sus híbridos comerciales a variedades de opaco-2, y que sólo del 2 a 3% de las mismas parecieron comportarse de igual manera que sus contrapartes normales.

De este modo, los productores norteamericanos que se dedican a la venta de semilla de híbridos no están optimistas respecto al futuro del maíz opaco-2, aunque aparentemente han tomado una actitud de "esperar y ver", mientras llevan adelante una conversión modesta y continúan ensayando programas. Mientras tanto, se han producido híbridos y ofrecido a la venta, particularmente a los productores de cerdos.

PROBLEMAS ACTUALES ACERCA DEL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ MODIFICADO

En 1966, planteé tres interrogantes, las cuales consideré que eran los principales problemas a los que tenían que enfrentarse los fitomejoradores de maíz.

1. ¿Afecta el opaco-2 al comportamiento agronómico?
2. ¿Existen efectos epistáticos, es decir, influyen los modificadores del opaco-2 en la concentración de lisina o la apariencia fenotípica del grano?
3. ¿Deberían conducirse los trabajos de mejoramiento en el nivel de 9 a 10% de proteína, o también deberían ser mejorados tipos más altos en contenido proteínico?

Creo que las dos primeras preguntas han sido contestadas en estos seis años. La tercera tal vez no tenga una respuesta concreta, pero la evidencia indicará que el esfuerzo no debería asentarse sin un gran trato de reserva.

ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACION Y PERSPECTIVAS DE MEJORAR LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ POR MEDIO DEL OPACO-2

Joginder Singh* y V. L. Asnani**

Además de alterar favorablemente el espectro de aminoácidos, el maíz opaco-2 tiene varios defectos que limitan su explotación comercial generalizada. En diferentes investigaciones se han hecho comparaciones entre los tipos normales de maíz y el opaco-2 con respecto a varias características agronómicas importantes. Los puntos relevantes que han surgido de dichas comparaciones son:

1. *Rendimiento de grano.* En general, las variedades de opaco-2 rinden de 10 a 15% menos que las variedades de maíz normal (18, 28, 33). El menor rendimiento de grano del opaco-2 se ha atribuido a un menor peso hectolítrico.

Los granos del opaco-2 son de 10 a 15% más ligeros en su peso (2, 4, 12, 14, 18, 22, 25, 33). El menor peso del grano puede atribuirse a una menor densidad de las partículas de almidón en el endospermo (9).

2. *Contenido de humedad.* Se ha demostrado (18, 25) que las variedades de opaco-2 tienen de 1.8 a 4.2% más humedad en sus granos que los tipos normales comparables. Un contenido de humedad más alto necesita de secado adicional después de la cosecha.

3. *Apariencia del grano.* Los granos del maíz opaco-2 carecen de lustre, son de apariencia opaca y contrastan con los granos brillantes y translúcidos de las variedades cristalinas que los agricultores acostumbran sembrar.

* Projet Coordinator (Maize), Indian Agricultural Research Institute, Nueva Dehli, India.
** Department of Plant Breeding, G. B. Pant University of Agriculture and Technology, Pantnagar, India.

TABLA 1 Susceptibilidad relativa de las versiones de maíz opaco-2 y normal a *Sitophilus oryzae*

Variable	*Variedades*	*Media*[1]	*Rango*	*D.C.*[2] *%* *(datos transformados)*
A nivel de 30% de hum del grano				
No. de insectos por	Normal	280.2 (16.7)		1.5
100 g de grano	Opaco-2	390.5 (19.8)	245.9-353.1	
Pérdida en peso (%)	Normal	12.8 (19.8)	5.0-26.8	1.45
	Opaco-2	30.8 (33.5)	21.1-45.9	
A nivel de 12% de hum del grano				
No. de insectos por	Normal	19.9 (4.5)		0.56
100 g de grano	Opaco-2	51.0 (7.1)	15.6-29.5	
Pérdida de peso (%)	Normal	5.2 (12.9)	3.5-7.1	2.2
	Opaco-2	12.4 (20.5)	11.1-13.7	2.2

Fuente: D. Sivasankar y V. L. Asnani, 1972. Información inédita.
[1] Las cifras entre paréntesis son datos transformados.
[2] D. C., diferencia crítica.

4. *Susceptibilidad a enfermedades y plagas.* Se observó que las variedades de opaco-2 eran más susceptibles, tanto en términos de infestación como en pérdida de peso del grano a *Sitophillus oryzeae* (13) que los tipos de maíz normal (tabla 1). La interacción genotipo – variedad (opaco-2 o normal) y el nivel de humedad fueron significativos para la infestación de gorgojos. También se encontró que las variedades de opaco-2 eran más susceptibles a las pudriciones de la semilla causadas por *Cephalosporium acremonium* y *Fusarium moniliforme* (4) (tabla 2).

TABLA 2 Susceptibilidad relativa de las versiones de maíz opaco-2 y normal a *C. acremonium* y *F. moniliforme* (porcentaje de pudrición de semilla)

Carácter y genotipo	*Variedades*[1] *Normal*	*Opaco-2*	*D. C.*[2] *a 5%* *(datos transformados)*
C. acremonium			
M.C. 109	22.2	74.2	
M.C. 112	26.2	59.9	
M.C. 113	28.4	60.2	
M.C. 201	20.2	64.9	
Media	24.3 (29.4)	64.7 (54.0)	3.6
F. moniliforme			
M.C. 109	17.6	41.3	
M.C. 112	25.3	60.2	
M.C. 113	18.2	36.0	
M.C. 201	12.2	51.8	
Media	18.4 (25.2)	43.0 (43.4)	2.0

Fuente: D. Sivasankar y V. L. Asnani, 1972. Información inédita.
[1] Las cifras entre paréntesis son datos transformados.
[2] D. C., diferencia crítica.

TABLA 3 Rendimiento y componentes del rendimiento de variedades de maíz y normal opaco-2

Carácter	*Variedad*	*Media*	*Rango*	*D. C.*[1] *a 5%*
Peso de 1 000 granos (g)	Normal	236	201-293	6
	Opaco-2	209	171-250	
Longitud de mazorca (cm)	Normal	16.0	12.8-18.3	1.4
	Opaco-2	14.9	12.2-18.4	
Diámetro de mazorca (cm)	Normal	3.7	3.5-4.0	0.3
	Opaco-2	3.7	3.1-4.0	
Porcentaje de desgrane	Normal	70	63-77	5
	Opaco-2	71	63-76	
Hileras de granos/mazorca	Normal	12.9	12.0-13.8	0.8
	Opaco-2	13.6	9.9-15.0	
Rendimiento de grano (g)/planta	Normal	56.6	33.7-72.8	21.5
	Opaco-2	56.0	28.0-74.4	

Fuente: Asnani y Gupta, (4).
[1] D. C. diferencia crítica.

Las variedades de opaco también se han reportado como más susceptibles a *Chilo zonellos* (8).

5. *Otras características de la planta.* La información disponible no apoya ningún cambio significativo en la longitud de la mazorca, diámetro de la misma, número de carreras de granos, número de granos por carrera y porcentaje de desgrane (4). Aún cuando en algunas variedades de opaco-2 se registraron aumentos en el número de granos por mazorca (31, 33), longitud y diámetro de mazorca y porcentaje de desgrane (tabla 3), las diferencias no fueron significativas. Sólo se dispone de un documento publicado (31) sobre una reducción significativa en la longitud de la hoja y en el diámetro del tallo y de un aumento en el período de antesis en el opaco-2.

6. *Balance de aminoácidos.* Varios investigadores han demostrado adecuadamente que las variedades de opaco-2 tienen un mejor balance de aminoácidos y que tienen de un 60 a un 130% más de lisina y triptófano que el maíz normal, además de un 12 a un 40% de reducción en leucina.

Las comparaciones hechas entre el maíz opaco-2 y el maíz normal deben verse en la constitución de los materiales y procedimientos utilizados en el desarrollo de las variedades de opaco-2. Para formular nuestra futura línea de acción se necesita una evaluación crítica de los antecedentes genéticos.

En la mayoría de los estudios mencionados, las conversiones de opaco-2 se hicieron utilizando como donadores materiales de opaco-2 de Purdue-Illinois en linajes o variedades localmente bien adaptadas. Como podría esperarse, los materiales de opaco-2 donadores no se sujetaron a ninguna selección rigurosa, por lo que también podría esperarse que tuvieran una baja frecuencia de genes que confirieran resistencia a las varias plagas y enfermedades y que transmitieran un alto potencial de rendimiento. En particular los materiales donadores tenían una adaptación muy baja a las regiones maiceras tropicales del mundo.

En la mayoría de los estudios mencionados antes, los tipos de opaco-2 se recobraron después de dos o tres generaciones de cruce reversivo todavía rete-

niendo de 7 a 13% del progenitor no-recurrente. Más aún, no se han hecho selecciones en las poblaciones recuperadas por cruce reversivo que todavía tienen una variación considerable para varios caracteres. Como procedimiento, el cruce reversivo (2) tiene varias restricciones y en parte es el responsable de la limitación de la recuperación de los fondos genéticos deseables en los cuales se consideraría el opaco-2 como el tipo ideal.

No se ha dilucidado la cuestión de si los efectos adversos observados en el gene opaco-2 son de naturaleza pleitrópica directa o indirecta, o si se deben a los genes indeseables estrechamente ligados que se reciben del progenitor donador. Otro hecho importante es que el mejor balance de aminoácidos que induce el opaco-2 está asociado con el endosperma suave (2, 17). Se necesitan información básica sobre el papel relativo de los dos factores, endosperma suave y espectro de aminoácidos mejor balanceado, para analizar los efectos adversos del opaco-2.

En la mayoría de las comparaciones entre los tipos normal y opaco-2, se han observado marcadas diferencias en el nivel real de comportamiento de varios caracteres. Estas variaciones se han relacionado con el genotipo del progenitor recurrente. Aún cuando las variedades de opaco-2, en general, han rendido de 10% a 15% menos, se ha informado (4, 18, 33) de varios casos en que los híbridos de opaco-2 rindieron igual o más que sus contrapartes normales (tabla 4). También se ha demostrado que el peso hectolítrico del opaco-2 en ciertos genotipos es comparable al del grano normal (2, 18, 28). Se ha observado variación en la susceptibilidad de las variedades de opaco-2 a la incidencia de pudriciones de la mazorca, al ataque de gorgojos y al daño de barrenadores (13, 27). El hecho de que sea posible obtener un mayor peso de grano, comparable o mayor que el de los normales, y baja susceptibilidad a las enfermedades y a los insectos en ciertos fondos genéticos, sugiere que mediante una selección apropiada de las variedades progenitoras para convertir a opaco-2, debe ser posible superar los efectos adversos del opaco-2.

Aparte de otros problemas ennumerados antes, la apariencia sin lustre de los granos del opaco-2 puede interferir en su aceptabilidad en regiones donde se acostumbra sembrar variedades cristalinas o dentadas. Se han emprendido trabajos tendientes a desarrollar tipos de opaco-2 con apariencia casi vítrea (26). Es frecuente que en varios programas de cruza reversiva se encuentren granos de

TABLA . Algunas poblaciones que tienen un mejor comportamiento en su variedad opaco-2

Poblaciones	*Variedades*	*Rendim. (g/planta)*	*Longitud de mazorca (cm)*	*Diámetro de mazorca (cm)*	*Desgrane %*
Cuba 11 J	Normal	45.3	14.8	3.5	64
	Opaco-2	50.3	16.1	3.5	66
Cuba V 66	Normal	49.1	17.2	3.8	67
	Opaco-2	58.1	13.3	4.0	70
Waimea Dent	Normal	60.7	18.3	3.6	70
	Opaco-2	74.4	18.4	4.0	72
D.C.[1] a 5%		21.5	1.4	0.3	5

Fuente: Asnani y Gupta, (4).

[1] D.C., diferencia crítica.

maíz opaco modificado en varios grados y patrones de vidriosidad. La frecuencia de ocurrencia de algunos grados cercanos al del grano normal varía de acuerdo con el antecedente genético del padre recurrente. Hasta hace muy poco tiempo, en la mayoría de los programas de cruza reversiva sólo se retenían los granos completamente opacos y se desechaban los semiopacos o casi normales.

TABLA 5 Composición química de algunos linajes de opaco-2 modificado seleccionados de los compuestos Shakti, Rattan y Protina

Geneología	*Proteína en endospermo desgrasado (%)*	*Triptófano en endospermo desgrasado (%)*	*Triptófano en proteína (%)*	*Gravedad específica*
Rattan				
2	12.24	0.069	0.53	1.24
5	8.09	0.076	0.94	1.23
27	8.89	0.064	0.72	1.22
34	9.47	0.050	0.52	1.24
36	8.89	0.050	0.56	1.26
42	10.51	0.074	0.70	1.17
43	12.28	0.082	0.67	1.16
57	11.90	0.056	0.47	1.27
64	8.32	0.061	0.73	1.19
65	12.36	0.053	0.43	1.27
70	7.28	0.066	0.91	1.26
110	17.27	0.057	0.33	1.15
114	10.86	0.040	0.37	1.34
116	11.78	0.048	0.41	1.27
119	12.93	0.045	0.35	1.27
123	11.32	0.040	0.35	1.29
127	9.93	0.039	0.39	1.15
Shakti				
319	8.66	0.045	0.52	1.18
323	10.74	0.057	0.53	1.25
326	8.55	0.054	0.63	1.30
346	9.47	0.079	0.83	1.16
201	6.70	0.050	0.74	1.24
210	12.47	0.064	0.51	1.26
235	8.32	0.087	1.04	1.14
376	11.67	0.067	0.57	1.31
362	8.31	0.033	0.40	1.30
387	12.13	0.064	0.53	1.12
388	10.28	0.041	0.40	1.25
405	10.63	0.052	0.49	1.33
409	11.20	0.050	0.45	1.16
Protina				
496	15.36	0.077	0.50	1.11
508	10.51	0.045	0.43	1.16
534	10.05	0.060	0.60	1.18

Fuente: Datos inéditos de M. L. Lodha, H. O. Gupta y J. Sing.

La apariencia cristalina en la presencia del opaco-2 parece ser el resultado del efecto complementario de varios genes modificadores. Sin embargo, no se dispone de información precisa acerca del número y naturaleza de los modificadores responsables de la textura cristalina del grano. Estos modificadores, en presencia del opaco-2, suministran considerable variabilidad con respecto a proteína, densidad del grano, triptófano, lisina, etc. Tal variabilidad se observó en los compuestos Shakti, Rattan y Protina, donde se hizo selección por granos semiopacos y cristalinos (tabla 5). En el reducido número de muestras analizadas se observaron selecciones con alta proteína (17.27%) y bajo triptófano (0.33%), y baja proteína (8.32%) y alto triptófano (1.04%). En la tabla 6 se presentan datos de comparaciones de las selecciones de opaco-2 casi vítreos con opacos completos. En la muestra de la población de opaco-2 modificado se observó muy poca asociación entre proteína y triptófano (tabla 7). Esto contrasta con la asociación positiva y significativa observada en las poblaciones de opaco completo.

El opaco-2, un gene recesivo simple, influye sobre varias características de calidad que son cuantitativas en su herencia. El mejoramiento de las variedades con respecto a su calidad, está sujeto a requisitos semejantes que cuando se mejora por rendimiento. Cualquier programa efectivo de mejoramiento requerirá variabilidad adecuada, información sobre la hereditabilidad y la naturaleza de la acción genética y conocimiento de la interacción genotipo ambiente y de la asociación entre las diferentes características de calidad pertinentes. Para elegir el

TABLA 6 Comparación de fenotipo de grano de opaco-2 modificado y segregantes de opaco-2 de familias S_1

	Peso de 100 granos (gr)		*Proteína (%)*		*Triptófano en proteína (%)*	
Familia	*Fenotipo modificado*	*Opaco-2*	*Fenotipo modificado*	*Opaco-2*	*Fenotipo modificado*	*Opaco-2*
166-7	27.9	25.8	7.2	8.0	0.92	0.99
169-2	28.0	27.6	7.7	8.5	0.87	0.71
163-4	23.4	22.0	7.9	7.6	0.81	0.81
152-6	22.8	21.8	8.9	8.8	0.78	0.79
164-6	19.3	15.8	7.1	8.0	0.68	0.67

Fuente: Datos inéditos de Asnani y Vasal, 1970.

TABLA 7 Coeficientes de correlación entre el porcentaje de proteína el de triptófano, triptófano como porcentaje de proteína, y gravedad específica de selecciones de opaco-2 de Shakti, Rattan y Protina

	Triptófano (%) muestra	*Triptófano % de proteína*	*Gravedad específica*
Proteína	0.0802	-0.5831**	-0.1922
Triptófano, % muestra		0.7348**	-0.4559**
Triptófano, % de proteína			-0.2450

Fuente: Datos inéditos de M.L. Lodha, H. O. Gupta y J. Singh.
** Significativo al 1%.

procedimiento de selección no se dependerá sólo de la precisión de la información sobre los puntos citados, sino también estará determinada por los recursos disponibles y tanto como por naturaleza del producto final requerido.

Aun cuando se dispone de considerable información sobre la naturaleza de la variabilidad, hereditabilidad, interacción genotipo — ambiente y ganancias logradas mediante diferentes esquemas de selección para varias características de calidad, en especial de proteína, aceite y aminoácidos esenciales en el maíz normal, se conoce relativamente poco sobre el opaco-2. De hecho, la mayor parte de la información de que se dispone en la actualidad se relaciona con las poblaciones sintéticas o compuestos que se han desarrollado a través de dos o tres cruzas reversivas, sin que se tenga un conocimiento detallado acerca de los progenitores recurrentes y no recurrentes.

En la tabla 8 se presenta el tipo de variabilidad concomitante para varias características de calidad, disponible en el "Compuesto opaco amarillo" (desarrollado a partir de los compuestos opacos J_1, Cuba 11 J. Doeto y Antigua 2D). La información se basa en 320 familias de mediohermanos que se escogieron de este compuesto (fig. 1). Se observó que el coeficiente de variación para proteína fue de 12.7%; para aceite, de 18.2%, para el peso de 100 granos, de 11.1%; y para la densidad de la semilla de 4.5%. Se espera que se pueda generar aún una mayor variabilidad mediante la combinación de progenitores, con conocimiento previo de las características de las variedades en cuestión. También se han reportado datos sobre la naturaleza de la variación en tres variedades sintéticas de opaco-2 (10), las cuales sugieren la presencia de una variación adecuada para la mayoría de las características referentes a la calidad.

Se ha registrado mucha mayor variabilidad para caracteres individuales de calidad. En Burr White, Illinois, 65 ciclos de selección han dado como resultado la selección de linajes con 25% de proteína. El mayor contenido de proteína de la *Illinois High Protein* se ha considerado como un factor artificial porque hay una menor síntesis de almidón (3,24). Aun cuando esto pudiera sugerir que el alto rendimiento y la alta proteína no se pueden combinar, por lo menos indica que se pueden desarrollar selecciones de maíz con hasta un 25% de proteína.

Aun cuando la mayoría de las variedades de maíz opaco-2 de que se dispone promedian de 3.5% a 4.5% de lisina (como porcentaje de la proteína), se ha

TABLA 8 Variabilidad del Compuesto Opaco-2 Amarillo (basada en 320 familias de medios hermanos)

Caracteres	*Media*	*M.E.*[1]	*Rango*	*Coef. de var.*
Peso de 100 granos (g)	12.3118	±0.0758	8.47	11.08
Vol. de 100 granos (mm)	11.5742	±0.0758	8.50	11.79
Proteína (%)	10.8315	±0.0765	7.24	12.71
C.C.	0.2268	±0.0018	0.39	14.23
Aceite %	4.7822	±0.0484	7.55	18.21
Gravedad específica	1.0567	±0.0026	0.696	4.51

Fuente: Datos inéditos de A.K. Kaul y J. Singh.
M.E. mazorca estándar
C.C. capacidad para colorearse.

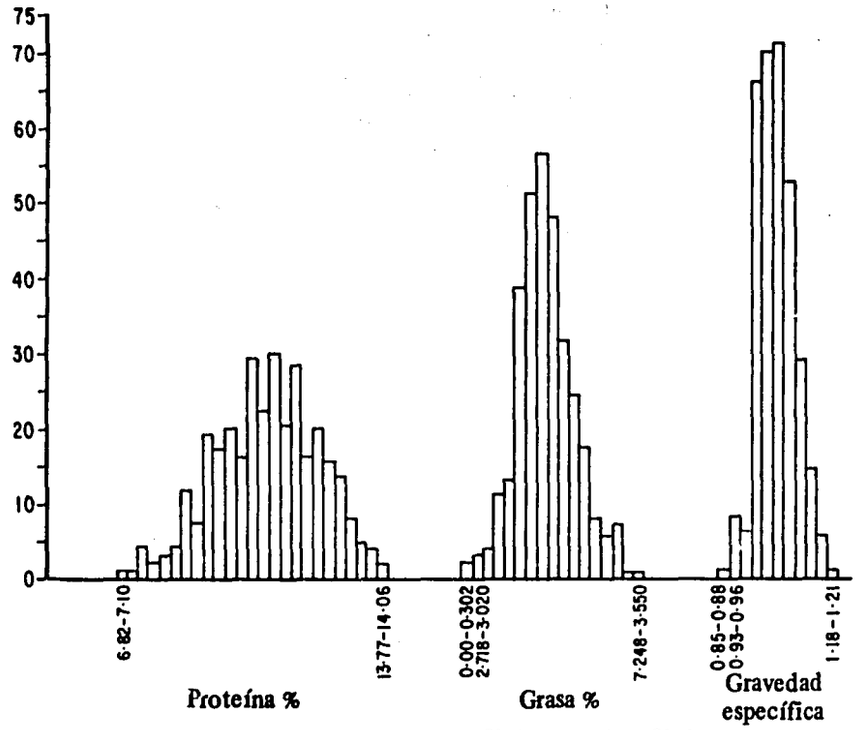


FIGURA 1 Distribución de frecuencia para % de proteína, % de grasa y gravedad específica en el Compuesto Opaco-2 Amarillo.

mostrado (29) que mediante el uso de mutantes dobles que incluyen al opaco-2 y a otros genes mutantes endospérmicos como bt_1, bt_2, fl_1, su_1, su_2, etc., el nivel de lisina se puede incrementar en un 50%. Este nivel también se puede aumentar a través del uso de materiales con capa múltiple de aleurona (37).

También se ha demostrado una marcada variabilidad en el peso de 100 granos, densidad del grano y reacción a la pudrición de la mazorca y al ataque de gorgojos (10, 18, 28).

En la bibliografía sobre el tema se encuentran algunos estudios sobre el análisis genético de las características de calidad en variedades de opaco-2 (10, 33). Se demostró que la variancia genética aditiva fue de 10 a 17 veces mayor que la variancia genética no aditiva para peso del grano, número de granos, rendimiento de grano, porcentaje de lisina en la muestra y rendimiento de lisina, en tanto que para el porcentaje de proteína y rendimiento de proteína, tanto las variancias aditivas como las no aditivas fueron importantes. Los valores de hereditabilidad basados en el promedio de cuatro compuestos fueron altos: para porcentaje de proteína, 66%; para porcentaje de aceite, 72%; para densidad del grano, 63%; y para porcentaje de humedad, 77%. Para porcentaje de lisina,

TABLA 9 Coeficientes de correlación entre varios caracteres (45 compuestos oparcos)

	C.C.[1]	*Triptófano % muestra*	*Triptófano % proteína*	*P*	*K*	*Zn*	*Mn*	*Cu*
Proteína %	0.7504**	0.3054*	-0.5656**	0.3709**	0.3648*	0.3939**	-0.0798	0.0266
C.C.		0.4828**	-0.2067	0.3563*	0.3922**	0.1997	-0.1140	0.0427
Triptófano % muestra			0.6074**	0.0709	0.1799	0.3272*	0.0245	0.1325
Triptófano % proteína				-0.2333	-0.1497	-0.0662	0.0729	0.0675
P					0.4137**	0.0439	-0.2223	0.1830
K						0.0112	0.0138	-0.0959
Zn							0.0364	0.1308
Mn								0.0209

Fuente: Datos inéditos de M.L. Lodha, H. O. Gupta, y J. Singh.

[1] C.C. capacidad para colorearse.

* Significativo al 5%.

** Significativo al 1%.

rendimiento de grano y lisina por parcela, los valores fueron de intermedios a bajos: 41%, 49%, y 44% respectivamente. El valor fue bajo para el procentaje de lisina como porcentaje de proteína, 41% (10).

Para lograr el mejoramiento simultáneo de varios caracteres, es necesario tener información sobre la naturaleza de la asociación entre ellos. Varios investigadores han reportado correlaciones entre varios caracteres de calidad (10, 31, 33). En las tablas 9 y 10 se registran correlaciones que involucran varios caracteres entre 45 compuestos de opaco-2 y dentro de un compuesto braquítico-2 opaco-2. Se encontraron correlaciones positivas y significativas entre el porcentaje de triptófano en la muestra y la proteína. La correlación entre proteína y triptófano como porcentaje de la proteína fue negativa y significativa. Estas observaciones concuerdan con otros informes publicados (10, 33). En el Compuesto Opaco Amarillo se observó una baja asociación positiva (tabla 11) entre la densidad del grano y el porcentaje de triptófano en la muestra (0.0022%) y entre la densidad del grano y el triptófano como porcentaje de la proteína (0.0144%). También se ha reportado una baja asociación negativa de magnitudes variables entre lisina y densidad del grano (10). Una fuerte asociación positiva entre lisina y contenido de triptófano del endospermo sugiere que es adecuada la selección para cualquiera de esos caracteres (16).

Como otros caracteres cuantitativos, la proteína, la lisina, el triptófano y otros aminoácidos esenciales, son influidas considerablemente por varios factores ambientales como el nivel de nitrógeno, localidades, etc. Se han demostrado marcados cambios en la proteína y varios aminoácidos como resultado de la aplicación de nitrógeno, a bajos niveles de simazín y otras prácticas de manejo, en variedades de maíz normal (15, 32, 34). Estudios con variedades de maíz normal han demostrado marcada interacción genotipo – localidad con respecto a la proteína, la lisina, la metionina, la isoleucina y el triptófano. La variancia debida a localidades y a la interacción variedad – localidad para varios caracteres de calidad respondieron del 15% al 69% y el 15% al 56% de la variancia total, respectivamente. La variancia debida a variedades fue mucho más pequeña que para localidades y para la interacción variedad – localidad. Con base en la importancia relativa de las localidades se sugirió (6) que "la selección de variedades basada sobre el contenido de nutrimentos se debe hacer a nivel local"

TABLA 10 Coeficientes de correlación entre caracteres en 65 líneas de poblaciones braquítico-2 opaco-2

	Triptófano % muestra	*Triptófano % proteína*	*Lisina en muestra*	*Lisina % proteína*
Proteína %	0.6469**	-0.1781	0.5774**	-0.1792
Triptófano (% muestra)		0.6304**	0.5416**	0.0934
Triptófano (% proteína)			0.1199	0.3137*
Lisina (% en la muestra)				0.6879**

Fuente: Datos inéditos de M. L. Lodha, H. O. Grupta y J. Singh.
* Significativo ai 5%
** Significtivo al 1%

TABLA 11 Coeficientes de correlación entre varios caracteres en 320 familias de medio hermanos del Compuesto Opaco-2 Amarillo

	Volumen 100 gramos	*Proteína %*	*C.C.*	*Triptófano*	*Aceite %*	*Gravedad específica*	*Triptófano / proteína*
Peso (100 granos)	0.9072	-0.0401	-0.1187	0.0224	-0.0392	0.1273	0.0158
Volumen (100 granos)		0.0021	-0.0736	0.0211	-0.0163	-0.2991**	0.0099
Proteína %			0.3524**	-0.0049	0.0078	-0.0998	-0.1742*
C.C.				0.1142	0.0346	-0.0956	0.0386
Triptofano					0.0098	0.0022	0.9668**
Aceite %						-0.0605	-0.0018
Gravedad específica							0.0144

Fuente: Datos inéditos de M. L. Lodha, H. O. Gupta y J. Singh.
C.C. capacidad para colorearse.
* significativo al 5%.
** significativo al 1%.

No se dispone de información publicada sobre opaco-2 con respecto a la magnitud de la interacción genotipo — ambiente.

En un estudio reciente, se probaron 45 compuestos de maíz opaco-2 junto con 4 variedades normales en Delhi, Dholi, Ludhiana y Coimbatore, India. Este estudio indicó que: 1) la variación debida a repeticiones para triptofano no fue significativa; 2) las variancias debidas a variedades y a localidades fueron significativas para el porcentaje de triptófano en la muestra, el porcentaje de proteína y el porcentaje de triptófano en la proteína; 3) la variancia debida a las localidades fue mucho mayor que la debida a las variedades, con valores de 30, 5.3 y 5.9 veces mayor para proteína, porcentaje de triptofano en la proteína y porcentaje de triptófano en la muestra; 4) el análisis de estabilidad (11) para el porcentaje de triptófano en la muestra indicó un rango en los valores de coeficiente de regresión para diversas variedades. Esto sugirió variación en la estabilidad relativa de diferentes variedades con valores medios comparables.

Las observaciones anteriores concuerdan con las reportadas para maíz normal (6) razón por la cual existe una gran necesidad de obtener más información de los diferentes compuestos de opaco-2 bajo ambientes diferentes. Sin embargo, la información disponible sugiere que: se dispone de variabilidad adecuada para varias características de calidad y caracteres agronómicos; que la dominancia relativa está presente dentro del rango de dominancia parcial a dominancia; que la hereditabilidad de la mayoría de los caracteres es de media a alta; que la correlación es de moderada a alta (y aún cuando sea significativa, no sugiere serios problemas de ligamiento); y, finalmente, que los caracteres de calidad son más susceptibles a la influencia de la localidad.

Con base en la información anterior, se podría sugerir que cualquiera de los patrones de selección que capitalizara la variancia genética aditiva, sería eficaz. Se han sugerido patrones como la selección masal; es decir la selección recurrente por habilidad combinatoria general, y otros patrones de selección recurrente (33) para el mejoramiento de la calidad. Los patrones de selección indicados arriba son sencillos y baratos, pero sólo pueden operarse en una localidad. Puesto que los datos disponibles sugieren una importancia considerable de la localidad, es probable que el mejoramiento no sea el más efectivo, a menos que se lleve a cabo en más localidades. Tal vez el diseño aumentado de "mazorca modificada por-surco sea el más eficiente (19). Este diseño difiere del de "mazorca modificada por-surco" únicamente en que en cada localidad, los materiales se siembran en un diseño aumentado, donde cada localidad se puede manejar individualmente y también los datos de varias localidades se pueden conjuntar para recuperar la información deseada. Este patrón sería más eficiente puesto que permite: 1) la evaluación simultánea de los materiales en tres o más localidades; 2) las posibilidades de efectuar selecciones interprogenie e intraprogenie que lo hacen más eficiente que otros patrones; 3) se puede completar un ciclo de selección en un año; y 4) es posible hacer selección simultánea para más de un carácter. Las poblaciones mejoradas después de unos cuantos ciclos de selección se pueden usar *per se* o como población base para el desarrollo de líneas élite que pueden utilizarse en el programa de híbridos.

Es necesario señalar que el mejoramiento de las características de calidad en cada ciclo de selección tiene que ser apoyado por el análisis químico. A fin de clasificar los genotipos estables superiores. Este análisis es todavía más

importante cuando se lleva a cabo la selección de opacos modificados, donde el contenido de lisina o triptófano no se puede reconocer visualmente (26). Se requiere establecer facilidades para realizar análisis químicos para el manejo de los materiales de tres o cuatro localidades, a fin de que el método mazorca-modificado por-surco sea efectivo.

Ya se han desarrollado variedades de opaco-2 en Colombia, México, Estados Unidos, Brasil, Indias y Nigeria, y en varios de estos países ya se han distribuido para cultivo comercial. En otras naciones se dispone de un cierto número de materiales experimentales. La mayoría de estas poblaciones, aún cuando de formaron mediante el procedimiento estándar de cruza reversiva, todavía contiene considerable variabilidad que se podría usar convenientemente para mejorarlas aún más con respecto a rendimiento, reacción a plagas y enfermedades y contenido de proteína. Si existe una variabilidad adecuada, también se puede llevar a cabo la selección para tipos cristalinos o mosaico.

Los países que ahora inician nuevos programas deben desarrollar poblaciones heterocigóticas básicas y deseables de opaco-2. Con la disponibilidad del gene opaco-2 en fondos genéticos de alto rendimiento y mejor adaptados, ya no es necesario usar los materiales de Illinois o de Purdue, particularmente en los trópicos, y seguir el programa de cruzas reversiva. El opaco-2 se puede incorporar en forma conveniente mediante la siembra de unos cuantos surcos de maíz opaco-2 en medio de una parcela aislada de una variedad de alto rendimiento y bien adaptada, y desespigando el opaco-2. La población, una vez estabilizada, puede llevarse hacia fases de mejoramiento más avanzadas.

Necesidad de más información

Ante de iniciar un programa de mejoramiento de la calidad proteínica, es necesario definir los objetivos. Estos se pueden determinar por el uso que probablemente se vaya a dar a los materiales. Los nutriólogos pueden ser también de gran ayuda. La información que más necesitan los fitogenetistas es el balance de aminoácidos entre triptófano y lisina. ¿Deben los fitomejoradores dedicar sus esfuerzos a incrementar el contenido de lisina y triptófano en las variedades de alto rendimiento de los que se dispone en la actualidad y que tienen un nivel relativamente bajo de proteína (8% a 10%)? ¿O deben dirigir sus esfuerzos a mejorar el contenido de proteína al nivel actual de lisina (3,5% a 4,5%)? Sin embargo, sería deseable combinar altos niveles de proteína y lisina en fondos genéticos más productivos.

Como es el caso del rendimiento, existe una variación considerable genética en la estabilidad relativa de las características de calidad de los materiales en varios ambientes. Será deseable la identificación de variedades estables. También es necesario determinar si los genotipos de alta lisina-media proteína o los genotipos de media lisina-alta proteína serán más estables.

Se ha mostrado que le gene opaco-2 incrementa el contenido de lisina en el endospermo, pero no se ha notado un mejoramiento relativo en la composición química del embrión. Sin embargo, varios investigadores han registrado un incremento del tamaño del embrión. La mayoría de los estudios se han hecho en

un número limitado de variedades. Existe la necesidad de indentificar variedades con mejor composición del embrión. Tales tipos ayudarían a elevar el nivel de proteína y lisina de todo el grano, lo cual tendría un efecto benéfico en aquellos países donde se utiliza el grano completo en la dieta.

En la actualidad la mayoría de los fitomejoradores utilizan el análisis de triptófano (16) como una medida del mejoramiento de la calidad de la proteína. Aunque es una técnica relativamente rápida, continúa siendo cara y lenta como para restringuir el número de muestras, de manera que efecta el avance de un programa de mejoramiento. El desarrollo de procedimientos semejantes a los que se usan para determinar el aceite, como el NMR, propiciarían mucho la velocidad del avance. Más trabajos en las técnicas de teñido para microscopio 17 pueden ayudar a distinguir genotipos con alta lisina de los que tienen baja lisina. Los fitogenetistas aceptarán con agrado la introducción de técnicas más eficientes, sencillas y relativamente baratas.

Por último es necesario entender cuáles son las funciones del gene opaco-2. ¿A qué se debe que un solo gene afecta simultáneamente varias caracterísricas? ¿Por qué aumenta el contenido de lisina y triptófano, disminuye la leucina, se produce una apariencia opaca del grano, se hace suave al endosperma e incrementa el contenido de azúcar? ¿Es el opaco-2 un locus complejo? Ya se ha comenzado (30, 36). La información sobre los puntos anteriores ayudaría a desarrollar variedades con un contenido todavía mayor de lisina y triptófano en granos más cristalinos. La información básica también ayudaría a desarrollar métodos más rápidos y eficientes para seleccionar genotipos más deseables.

BIBLIOGRAFIA

1. Ahuja, V. P., J. Singh y M. S. Naik. 1970. Amino acid balance of proteins of maize and sorghum. Indian J. Genet., 30: 727-731.
2. Alexander, D. E. 1966. Problems associated with breeding opaque-2 corn and some proposed solutions. Proc. High Lysine Corn Conf. Corn Refiners Assn., Inc., Washington, D. C. págs. 156-160.
3. Alexander, D. E., J. W. Lambert y R. J. Dudley. 1969. Breeding problems and potential of modified protein maize. *In* New approaches to breeding for improved plant protein. Intern. At. Energy Agency, Viena, págs. 55-65.
4. Asnani, V. L. y S. C. Gupta. 1970. Effect of incorporation of opaque-2 gene on yield and yield components in four composites of maize. Indian J. Genet., 30:377-382.
5. Bates, L. S. 1966. Amino acid analysis. Proc. High Lysine Corn Conf. Corn Refiners Assn., Inc. Washington, D. C., págs. 61-66.
6. Bressani, R., L. G. Elías, N. S. Scrimshaw y M. A. Guzmán. 1962. Nutritive value of Central American corn. VI. Varietal and environmental influence on the nitrogen, essential amino acid and fat content of ten varieties. Cereal Chem., 39:59-67.
7. Bressani, R., L. G. Elías y R. A. Gómez-Brenes. 1969. Protein quality of opaque-2 corn evaluation in rats. J. Nutr., 97:173-180.
8. Chatterjee, S. M., V. P. S. Panwar, K.H. Siddiqui, W. R. Young y K.K. Marwaha, 1970. Field screaning of some promissing maize germ plasm against *Chilo zonellus* Swinhoe under artificial infestation. Indian J. Entomol., 32:167-170.
9. Dilmer, R. J. 1966. Report on kernel structure and wet milling of high lysine corn. Proc High Lysine Corn Conf. Corn Refiners Assn., Inc., Washington, D. C. págs. 121-127.
10. Dudley, J.W. R.J. Lambert y D. E. Alexander. 1971. Variability and relationships among characters in *Zea mays* L. synthetics with improved protein quality. Crop Sci., 11:512-514.
11. Eberhart., S. A. y W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci., 6:36-40.

12. Galeev, G. S., N. I. Kissel y L. A. Taova. 1969. Productiveness and use of the opaque-2 maize mutant in breeding Rept. All. Un. Lenin Acad. Agr. Sci., 10:58; see Plant Breed. abstr., 40:4895 (1970).
13. Gupta. S. C., V. L. Asnani y B. P. Khare. 1970. Effect of opaque-2 gene in maize (*Zea mays* L.) on the extent of infestation by *Sitophilus oryzae* L. J Stored Prod. Res., 6:191-194.
14. Hadzinov, M. y K. I. Zima. 1970. Trends and methods in breeding for increased lysine in maize grains. Kukurzua, 4:28-31; see Plant Bredd. Abstr., 41:5147 (1971).
15. Hamilton, T. S., B. C. Hamilton, B. C. Johnson y H. H. Mitchell. 1951. The dependence of the physical and chemical composition of the corn kernel on soil fertility and cropping system. Cereal Chem., 28:163-176.
16. Hernández. H. y L. S. Bates. 1969. A modified method for rapid tryptophan analysis of maize. CIMMYT Res. Bull. 13.
17. Inglett, G. E. 1970. Corn and sorghum proteins. Proc. XXV Ann. Corn Sorghum Res. Conf., págs. 67-68.
18. Lambert, R. J., D. E. Alexander y J. W. Dudley. 1969. Relative performance of normal and modified protein (opaque-2) maize hybrids. Crop Sci., 9:242-243.
19. Lonnquist, J. H. 1964. A modification of ear-to-row procedure for the improvement of maize populations. Crop Sci., 4:227-228.
20. Mehta, S. L., K. N. Srivastava, P. C. Mali y M. S. Naik. 1972. Changes in the nucleic acid and protein fractions in opaque-2 maize kernels during development. Phytochemistry, 11:937-942.
21. Mertz, E. T., L. S Bates y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145:279-280.
22. Nelson, O. E. 1966. Opaque-2, floury-2 and high protein maize. Proc. High Lysine Corn Conf. Corn Refiners Assn., Inc., Washington, D. C. págs. 156-160.
23. Nelson, O. E. 1969. The modification by mutation of protein quality in maize. *In* New approaches to breeding for improved plant protein. Intern. At. Energy Agency. Viena, págs. 41-54.
24. Nelson, O. E. 1970. Improvement of plant protein quality. *In* Improving plant protein by nuclear techniques. Intern. At. Energy Agency, Viena, págs. 43-51.
25. Paez, A. V., J. L. Helm y M. S. Zuber. 1969. Kernel opacity development and moisture content within maize ears segregating for opaque-2 and floury-2. Agron. J., 61:443-445.
26. Paez, A. V., J. L. Helm y M. S. Zuber. 1969. Lysine content of opaque-2 maize kernels having different phenotypes. Crop. Sci., 9:251-252.
27. Pickett, R. A. 1966. Opaque-2 corn in swine nutrition. Proc. High Lysine Corn Conf. Corn Refiners Assn., Inc., Washington, D. C., págs. 19-22.
28. Progress Report, 1971. All-India coordinated maize improvement scheme and other unpublished data of the projet.
29. Purdue University. Report on the high lysine corn projet, UNDP.
30. Salamani, F., G. Baldi y A. Bianchi. 1969. Azoto tolate, frazioni proteiche e aminoacidi in diverse F2 di mais segreganti seme normale e opaco-2. Maydica, 14:3-22.
31. Salamani, F., B. Borghi y C. Lorenzoni. 1970. The effect of the opaque-2 gene on yield in maize. Euphytica, 19:531-538.
32. Sauberlich, H. E., W. Y. Cheng y W. D. Salmon. 1953. The amino acid and protein content of corn as related to variety and nitrogen fertilization. J. Nutr., 51:241-250.
33. Sreramulu, C. y L. F. Bauman. 1970. Yield components and protein quality of opaque-2 and normal diallels of maize. Crop. Sci., 10:262-265.
34. Tello, F., M. A. Alvarez-Tosatado y G. Alvarado. 1965. A study on the improvement of the essential amino acid balance of corn proteins. I. Correlation between racial and varietal characteristics and lysine levels of corn. Cereal Chem., 42:368-384.
35. Thomas. A. T. 1966. Evaluation of opaque-2 maize for fermentation with *Saccharomycetes cerevisiae.* Proc. High Lysine Corn Conf. Corn Refiners Assn., Inc., Washington, D. C. págs. 128-140.
36. Tomov, N. y K. Shopova. 1968. Study of maize plant carriers of opaque-2 and floury-2 genes. Genet. Plant Breeding, Sofia, 1(3):213-221.
37. U. S. Department of Agriculture. 1971. Retrieving genes for space-age corn. Washington, D. C. págs. 3-4.

SISTEMAS DE SELECCION PARA AUMENTAR LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ HARINOSO CON EL GENE OPACO-2

Federico Scheuch*
Charles A. Francis**

El noventa por ciento del maíz que se siembra en las mesetas de Bolivia, Ecuador y Perú es de un tipo suave y harinoso que se emplea para el consumo humano, sin ninguna transformación o tratamiento previo. Para la gente de la zona andina, el maíz representa un alimento básico que comparte con la papa una gran importancia en sus dietas. Por lo menos el 50% de la población vive en las tierras altas, regiones en las que la gente tiene el ingreso per cápita más bajo de sus respectivos países. Los alimentos ricos en proteína son muy caros e inaccesibles para ellos.

La mayoría son agricultores que consumen la mayor parte de su producción agrícola. El aumento de los rendimientos de los cultivos no es la solución final para estas familias, puesto que la sobreproducción en relación con sus necesidades dará como resultado que en el ciclo siguiente reduzcan el área de ese cultivo. El mejoramiento de la calidad de los actuales cultivos alimenticios de la zona andina es la mejor manera de ayudar a estos habitantes de los valles altos y mesetas a criar niños sanos que dispongan del potencial de aprendizaje adecuado para afrontar los cambios culturales que ocurrirán a medida que aumenten las comunicaciones y se extienda el progreso.

La mayoría de estos maíces harinosos andinos portan el gene harinoso-1 (fl_1), y el fenotipo del grano de muchas variedades es idéntico al del mutante opaco-2 (o_2). Esto complica el proceso de la conversión, puesto que el patrón más sencillo y familiar depende de la observación visual de los segregantes opacos

* Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
** Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

en un antecedente genético normal. Por lo general para convertir maíz harinoso en opaco-2 se hacen cruzas experimentales a fin de evaluar la progenie y, para asegurarse de los avances en la calidad proteínica, se deben hacer análisis en el laboratorio. En las secciones siguientes se presentan varios esquemas para lograr la conversión, junto con un resumen de sus ventajas y desventajas.

ESQUEMAS DE SELECCION PARA LA CONVERSION DE MAICES HARINOSOS DE ZONAS DE ALTURA

Debido a las dificultades bosquejadas anteriormente en lo que respecta al reconocimiento de segregantes o granos individuales de alta calidad proteínica durante el programa de cruzas reversivas, son esenciales ciertas manipulaciones genéticas especiales y pruebas de laboratorio en las progenies para lograr avances en las conversiones de maíz harinoso a opaco-2. En este trabajo se presentan seis esquemas para la conversión de estos maíces de zonas altas. Los primeros tres métodos relacionados incluyen cruzas experimentales durante cada generación de cruza reversiva; la principal diferencia se encuentra en el producto final deseado y el manejo del gene harinoso-1. Dos esquemas dependen de la selección visual y del fenotipo y antecedente genético del progenitor recurrente que se emplea en la conversión. Estos cinco esquemas sólo requieren de análisis de laboratorio para verificar el avance y para asegurar que se mantenga la calidad del opaco-2.

El sistema final depende mucho de una actividad continua en el laboratorio y requiere de un análisis un tanto elaborado de grano individual. Este sistema es el más positivo en términos de identificación, pero requiere de un insumo tecnológico disponible en pocos lugares. En cada sistema, se incluye la bibliografía y otras fuentes de información que los autores dispusieron.

En seguida de la presentación de los seis esquemas, se sugiere un enfoque genético general que incorpora los mejores aspectos de los varios sistemas y que tiene productos finales alternativos y diversas maneras de desarrollarlos.

Conversión de variedades o híbridos harinosos a opaco-2 sin referencia al locus harinoso

El sistema de conversión más sencillo de linajes o variedades harinosas a opaco-2 (A), utiliza un probador opaco-2 conocido durante cada generación de cruza reversiva; este probador debe estar en un fondo genético cristalino (flint), claramente expresado. El sistema, presentado por el Dr. Paul Crane (3), sólo incluye el locus opaco-2 y por tal razón es menos complicado que los dos sistemas siguientes. En la tabla 1 se presenta el sistema utilizado para convertir linajes harinosos.

La cruza original del linaje o variedad por convertir con la mejor fuente de opaco-2 de que se dispone (la que mejor se adapta a las condiciones de regiones de altura), se puede hacer en una u otra dirección. Siguiendo a esta cruza inicial el progenitor recurrente local normalmente se utiliza como polini-

TABLA 1 Esquema A: Conversión de líneas o variedades harinosas usando un probador opaco-2 en un fondo genético cristalino conocido

	Progenitor recurrente		*Progenitor femenino*	*Res. de las cruzas exp.*[a] ♀ (o_2/o_2)
Cruza original	+/+	X	o_2/o_2 ↓	
Primera cruza reversiva	+/+	X	$+/o_2$ ↓	
Segunda cruza reversiva + cruza experimental	+/+	X	+/+	Normal
			$+/o_2$ ↓	1 normal: 1 opaco segregaciones[a]
Tercera cruza reversiva + cruza experimental	+/+	X	+/+	$+/o_2$ normal
			$+/o_2$ ↓ (A otros ciclos)	1 normal: 1 opaco segregaciones[a]

a En cada ciclo, hay que seleccionar las plantas femeninas cruzadas reversivamente cuyas cruzas experimentales respectivas muestran segregación de aproximadamente 1 grano normal: 1 grano harinoso. En cualquier etapa se puede lograr la recuperación del genotipo homocigótico mediante la autofecundación del heterocigote probado y haciendo una cruza experimental a de opaco-2.
Fuente: Crane (3).

zador macho para las plantas femeninas heterocigotas seleccionadas en cada ciclo. Si resulta fácil efectuar la primera cruza reversiva en la dirección de reversa, esto no cambiará el procedimiento. La semilla de la primera cruza reversiva se siembra y las plantas individuales se polinizan con polen del progenitor recurrente. Se hacen cruzas experimentales con polen que se lleva de estos mismos individuos al probador opaco. Basándose en las mazorcas de las cruzas experimentales se seleccionan las plantas hembras cruzadas reversivamente. Se rechazan los individuos que dan una mazorca completamente normal en la cruza experimental, en tanto que se retienen para el siguiente ciclo los que producen una mazorca segregante. Utilizando este sistema acelerado de cruza reversiva y cruza experimental, se logra un ciclo en cada siembra (por lo general en las regiones altas esto sería un ciclo anual). Luego del segundo ciclo de cruza reversiva, es aconsejable comenzar a autofecundar varias plantas de la progenie heterocigota para producir linajes o variedad de opaco-2 a este nivel de conversión. Las prueba de laboratorio de los granos opacos asegura que se mantiene la calidad. Con la autofecundación también se obtiene semilla de una variedad convertida a opaco-2 (o de linajes que pueden usarse para formar híbridos), que puede probarse de inmediato en la estación experimental o con los agricultores. Dependiendo del grado de adaptación de la fuente de opaco-2, la heterosis entre esta fuente y la variedad o linaje que se va a convertir, y los resultados de los ensayos de rendimiento de las generaciones tempranas de la conversión, este procedimiento puede necesitar de dos a cinco generaciones de cruzamientos reversivos.

TABLA 2 Esquema B: Conversión de líneas o variedades harinosas usando un probador opaco-2. El objetivo final es un maíz (+/+ o_2/o_2) o (fl_1/fl_1 o_2/o_2)

	Progenitor recurrente		*Genotipo de las plantas cruzadas reversivamente*		*Fenotipos de cruza reversiva*	*Fenotipos de cruza experimental* ♀ (+/+ o_2/o_2)
Cruza original	fl_1/fl_1 +/+	X	+/+	o_2/o_2		
			↓			
Primera cruza reversiva	fl_1/fl_1 +/+	X	+/fl_1	+/o_2		
			↓			
Segunda cruza reversiva + cruza de prueba	fl_1/fl_1 +/+	X	fl_1/fl_1	+/+	Harinoso	Normal
			fl_1/fl_1	+/o_2	Harinoso	1 normal: 1 opaco
			+/fl_1	+/+	1 normal: 1 harinoso	normal
			+/fl_1	+/o_2 [a]	1 normal: 1 harinoso	1 normal: 1 opaco [b]
			↓			
Tercera cruza reversiva + cruza de prueba	fl_1/fl_1 +/+	X	+/fl_1	+/+	1 normal: 1 harinoso	normal
			+/fl_1	+/o_2 [a]	1 normal: 1 harinoso	1 normal: 1 opaco [b]
			↓			
			(A siguientes ciclos)			

[a] A partir de la segunda cruza reversiva, la selección de sólo los granos normales de esta mazorca segregante de la misma eliminará la mitad de la progenie en el siguiente ciclo, y la mitad de materiales innecesarios del programa.

[b] En cada ciclo, hay que seleccionar las plantas hembras cruzadas reversivamente, cuyas cruzas de prueba muestran segregación de aproximadamente 1 normal: 1 opaco; y cuyo propio fenotipo cruzado reversivamente segrega 1 normal: 1 harinoso.

Fuente: Bauman y Crane, 1971.

Este sistema es el más sencillo de los esquemas de conversión y pruebas para el maíz de endosperma suave de las regiones andinas altas, pero se ignora por completo el locus harinoso del progenitor recurrente y el producto final. En raras ocasiones el producto final será homocigótico tanto para el harinoso-1 como para el opaco-2.

La principal desventaja de este esquema puede ser el cultivo comercial de variedades de maíz mutante doble en zonas en las que el maíz harinoso-1 predomina en los campos. Sin embargo, ese tipo de maíz es normal en áreas donde predomina el opaco-2.

Conversión de variedades o híbridos harinosos a opaco-2, con el objetivo final de tener un maíz doble recesivo

Un segundo esquema (B), semejante al primero pero que controla el gene harinoso, fue propuesto por Buman y Crane (1971). Este sistema se bosqueja en la tabla 2. Como en el esquema previo, la cruza original debe hacerse con la fuente de opaco-2 de mejor adaptación que se conozca, y de nuevo puede hacerse en una u otra dirección, dependiendo de la época de floración, vigor de la planta o producción potencial de semilla. A menudo, durante el primer ciclo no se obtienen los resultados esperados del material introducido, y pudiera producir polen aunque no produzca una buena mazorca. Después de esta cruza inicial, debe hacerse la primera cruza reversiva con el progenitor recurrente como macho y el heterocigote F_1 como hembra. Se siembra la semilla de esta primera cruza reversiva y se polinizan las plantas individuales con una mezcla del polen de la variedad local o linaje adaptado recurrente. Se hacen cruzas experimentales numeradas con polen que se lleva de esas mismas plantas individuales al probador opaco-2. La selección de hembras doble heterocigotas ($+/fl1_1$ $+/o_2$) se basa en el examen de las mazorcas de cruza reversiva y de cruza experimental. Como se muestra en la tabla 2, los individuos de la cruza reversiva que se seleccionan son aquellos que muestran segregación de 1 grano normal: 1 grano harinoso en la mazorca de cruza reversiva polinizada por el progenitor recurrente, y la mazorca de prueba a donde se llevó el polen. Este sistema acelerado da cruzas reversivas continuas con un ciclo por siembra.

Comenzando con la segunda siembra de cruza reversiva, la mitad del material se puede eliminar sembrando únicamente los granos normales obtenidos de las mazorcas segregantes de la cruza reversiva. Estas serán una mezcla de ($+/fl_1$ $+/+$) y ($+/fl_1$ $+/o_2$), en este punto no es posible distinguir entre los tipos. Sin embargo, esto elimina la carga innecesaria de seguir con material que no se requiere para la generación siguiente.

Luego de este ciclo de la segunda cruza reversiva, también es importante comenzar a aislar los dobles recesivos deseados para pruebas de campo y laboratorio. Las autofecundaciones y cruzas experimentales, seguidas del análisis de laboratorio, asegurarán el genotipo deseado, ya sea (fl_1/fl_1 o_2/o_2) o ($+/+$ o_2/o_2) dependiendo de las pruebas y la selección y la alta calidad proteínica correspondiente. Lógicamente, las mazorcas autofecundadas que finalmente se seleccionan deben probarse en el laboratorio antes de que cada mazorca se

TABLA 3 Esquema C: Conversión de variedades o líneas harinosas a opaco-2, teniendo como objetivo un maíz simple recesivo

	Progenitor recurrente		*Genotipos de las plantas cruzadas recesivamente*		*Fenotipo de la cruza reversiva*	*Fenotipo de la autofecundación*
Cruza original	fl_1/fl_1 +/+	X	+/+	o_2/o_2		
			↓			
Primera cruza reversiva	fl_1/fl_1 +/+	X	$+/fl_1$	$+/o_2$	1 normal: 1 harinoso	
			↓		planta granos normales (cristalinos)	
Segunda cruza reversiva	fl_1/fl_1 +/+	X	$+/fl_1$	+/+	harinoso	1 normal: 1 harinoso
			$+/fl_1$	$+/o_2$	harinoso	6 normal: 10 harinoso[a]
+ autofecundación			↓		planta de la cruza reversiva 2 de plantas con proporción de 6 normal:	
Tercera cruza reversiva	fl_1/fl_1 +/+	X	fl_1/fl_1	+/+	10 harinoso	harinoso
			fl_1/fl_1	$+/o_2$	harinoso	harinoso
+ autofecundación			$+/fl_1$	+/+	harinoso	1 normal: 1 harinoso
			$+/fl_1$	$+/o_2$	harinoso	6 normal: 10 harinoso[a]
			↓		harinoso	
			Planta de la cruza reversiva 3 de plantas con proporción 6 normal: 10 harinoso. (A siguientes ciclos)			

[a] En cada ciclo hay que seleccionar las plantas hembras cruzadas reversivamente de las plantas autofecundadas numeradas que dan una segregación de 6 normales: 10 harinosos.

Fuente: Beingolea y Sevilla (1).

incluya en la población masal opaca-harinosa (fl_1/fl_1 o_2/o_2) o la población opaca ($+/+$ o_2/o_2).

Las mismas consideraciones bosquejadas en el esquema (A) son pertinentes en cuanto al número de generaciones de cruzas reversivas que se necesitan antes del uso comercial de estos materiales convertidos. Los resultados de campo de los ensayos de rendimiento son ciertamente la mejor indicación del avance y de cuán lejos se pueden llevar las conversiones.

El esquema B (tabla 2) no requiere más trabajo en la conversión que el A (tabla 1). La principal ventaja de este esquema es el control del locus harinoso-1. También pudiera haber ciertas propiedades organolépticas del gene homocigote fl_1 que hace a este maíz más deseable para el consumidor. Otra ventaja de este esquema es la potencialidad de recobrar ya sea el recesivo simple ($+/+$ o_2/o_2) y/o el recesivo doble (fl_1/fl_1 $o_2/_2$), en la última etapa, y poder comparar los dos en ensayos de rendimiento y pruebas de laboratorio.

Conversiones de variedades o híbridos harinosos a opaco-2, con el objetivo final de lograr un maíz simple recesivo

Beingolea y Sevilla (1) han propuesto otra modificación a este sistema de cruza reversiva y cruzas experimentales. En el esquema C también se supone que las variedades harinosas de la zona andina son del tipo de maíz harinoso-1 (fl_1) con un efecto de dosis que expresa el endosperma $fl_1/fl_1/+$ como un fenotipo harinoso. En la figura 3 se bosqueja el esquema de conversión respectivo.

Como macho se usa un harinoso local que se cruza con la fuente de opaco. La dirección inversa se puede usar en la cruza original si esto facilita la operación. La F_1 heterocigota se cruza como hembra con el progenitor recurrente harinoso local (fl_1/fl_1 $+/+$). Los granos de la cruza reversiva 1 segregarán 1 normal: 1 harinoso. La constitución genética de los embriones de los granos normales es ($+/fl_1$ $+/o_2$) y ($+/fl_1$ $+/+$). Estos se siembran y al momento de la floración se autofecundan y también se cruzan reversivamente hacia el padre recurrente (harinoso local) como hembra para obtener la cruza reversiva 2.

En la cosecha, todas las mazorcas de la cruza reversiva 2 son harinosas debido al efecto de dosis de fl_1. Las mazorcas autofecundadas de las plantas de la cruza reversiva 1 son de dos tipos: las que llevan el gene o_2 segregarán en la proporción de 6 granos normales: 10 harinosos, en tanto que las que no llevan el gene opaco-2 segregarán 1 grano normal: 1 harinoso. Solamente las mazorcas de la cruza reversiva 2 que recibieron polen procedente de plantas que cuando se les autofecundó segregaron 6 normales: 10 harinosos son las que se seleccionan para las cruzas reversivas posteriores. Para la cruza reversiva 3 se sigue el mismo procedimiento, pero ahora hay que duplicar el número de polinizaciones, puesto que hay cuatro genotipos diferentes de la cruza reversiva 2, de los cuales sólo se seleccionará uno. El procedimiento aportado para cruza reversiva 3 se puede seguir para las generaciones de cruza reversiva que siguen.

TABLA 4 Purificación de líneas o variedades del esquema de la tercera conversión después del número deseado de ciclos de retrocruza

Plantas de cruza reversiva		*Mazorcas autopolinizadas*	
fl_1/fl_1 +/+	⊗	harinoso	
fl_1/fl_1 $+/o_2$	⊗	harinoso	
$+/fl_1$ +/+		1 normal: 1 harinoso	
$+/fl_1$ $+/o_2$		6 normal: 10 harinoso	
			Cruza experimental hacia (+/+ o_2/o_2)
$+/fl_1$ +/+		1 normal: 1 harinoso	normal
$+/fl_1$ $+/o_2$	⊗	6 normal: 10 harinoso	1 normal: 1 opaco
$+/fl_1$ o_2/o_2	⊗	harinoso[a]	opaco
fl_1/fl_1 +/+	30 plantas	harinoso	normal
fl_1/fl_1 $+/o_2$	(+ cruza experimental)	harinoso	1 normal: 1 opaco
fl_1/fl_1 o_2/o_2		harinoso[a]	opaco
+/+ o_2/o_2		harinoso[a]	opaco
		Progenie de la cruza experimental ó (fl_1/fl_1 +/+)	
$+/fl_1$ o_2/o_2[b]		segrega	
fl_1/fl_1 o_2/o_2[b]	cruza experimental por ♀ como	harinoso	
+/+ o_2/o_2[b]	(fl_1/fl_1 +/+)	normal	

[a] Seleccione mazorcas autopolinizadas harinosas que también dan mazorcas completamente harinosas (opaca) cuando se cruzan experimental hacia (+/+ o_2/o_2). Este cruce experimental reduce la población requerida en la tercera generación y permite recobrar los dos genotipos +/+ o_2/o_2 y fl_1/fl_1 o_2/o_2

[b] Incremente la semilla de cada mazorca al mismo tiempo que se hace el cruce experimental en varias plantas, esto ahorrará una campaña en el incremento y uso de una nueva variedad o línea.

La recuperación de una variedad simple recesiva homocigota de opaco-2 (+/+ o_2/o_2) se obtiene mediante la autofecundación de la última generación de cruza reversiva (tabla 4). En las mazorcas segregantes 6 normales: 10 harinosos, los granos harinosos se seleccionan y se siembran mazorca-surco. En cada parcela se autopolinizan por lo menos 30 plantas. Las plantas con mazorcas autofecundadas completamente harinosas se plantan en un lote de desespigamiento mazorca-surco, con el progenitor recurrente como polinizador. Todas las líneas se pueden multiplicar mazorca por surco en otro lote. Las líneas con mazorcas normales (cristalinas) uniformes del lote desespigado son precisamente las deseables. La semilla que se multiplica de estas líneas se siembra en un lote de mezcla aislado. La constitución genética de la nueva variedad harinosa es: (+/+ o_2/o_2). Cuando el agricultor siembra esta variedad, cualquier contaminación con variedades harinosas locales que no lleven el gene opaco-2 (fl_1/fl_2 +/+) será detectada fácilmente en cada cosecha, porque los granos cruzados (+/+/fl_1 o_2o_2/+) tendrán un endosperma cristalino. Una desventaja del

sistema es que en ciertos fondos genéticos, habrá dificultad para clasificar los granos individuales, y no sería posible distinguir entre las proporciones 1 : 1 y 6 : 10.

Una modificación del sistema originalmente descrito incluye un cruce experimental hacia opaco (+/+ o_2/o_2) durante el segundo paso para fijar los genotipos deseados y así permitir la reducción de los linajes al llegar a la etapa final (tabla 4). Crane y Bauman sugieren incluir la posibilidad de polinizaciones divididas en las mazorcas de la generación segregante y usar marcadores de aleurona para identificar los individuos deseables. Con los dos tipos de cruces experimentales, uno puede hacer una identificación positiva de cada individuo que es homocigote para (+/+ o_2/o_2) o para (fl_1/fl_1 o_2/o_2). Además del cruce de prueba con polen de cada planta hacia un probador (+/+ o_2/o_2), se poliniza la segunda mazorca (o la tercera parte de los estigmas de la mazorca principal) con polen (+/+ +/+) proveniente de un linaje de aleurona púrpura. Autopolinizar la mazorca principal (o el remanente de la mazorca principal) uno o dos días después. Del resultado de los cruces experimentales hacia el (+/+ o_2/o_2) todas las plantas no homocigotas o_2/o_2 se descartan. Entre las que son o_2/o_2 examine los granos púrpuras. Si *todos* ellos son harinosos en una planta particular, los no púrpuras forman la nueva (fl_1/fl_1 o_2/o_2) linaje o variedad. Si los granos púrpuras son todos normales en una planta particular, los no púrpuras (autofecundadas) de dicha planta formarán la nueva línea o se juntarán para formar la nueva variedad que es (+/+ o_2/o_2).

Selección visual de segregantes de opaco-2 con fondo genético harinoso

Aunque la mayoría de las conversiones de las variedades andinas de maíz de altura depende de los esquemas elaborados de selección y prueba que se han mencionado antes, hay algunos materiales de las zonas altas en que el genotipo opaco-2 se puede distinguir de los tipos harinosos que se están convirtiendo. En el programa nacional colombiano, Daniel Sarria, Enrique Arias y Manuel Torregroza están convirtiendo una serie de variedades de maíz en la estación experimental de Tibaitatá, cerca de Bogotá. En estas variedades hay suficiente diferencia en color o brillo entre los granos harinosos (homocigotes y heterocigotes) y los segregantes de opaco-2 en las mazorcas autofecundadas como para permitir selección visual de las familias a la manera de conversión clásica. Este procedimiento se bosqueja en la tabla 5 (esquema D). Si se tiene éxito con este procedimiento (y en Colombia ha probado ser útil) la conversión es idéntica a la que se tiene en el maíz cristalino o dentado. Después de la primera generación de cruza reversiva, las plantas autofecundadas se pueden examinar visualmente con respecto a los granos segregantes que son homocigotes (o_2/o_2), y estos materiales pudieran incrementarse para hacer análisis de laboratorio y ensayos de campo. Este esquema es idéntico en cada detalle al bien conocido sistema de conversión para el maíz cristalino, y ciertamente es un enfoque que se recomienda si las variedades o linajes que se van a convertir tienen este tipo de endosperma. Este método puede ser peligroso, ya que el gene

TABLA 5 Esquema D: Selección visual de segregantes de opaco-2 dentro de un antecedente genético harinoso

	Progenitor recurrente		*Progenitor femenino*	*Progenie autofecundada*
Cruza original	+/+	X	o_2/o_2	
			↓	
Primera cruza reversiva	+/+	X	$+/o_2$	
			↓	
Segunda cruza reversiva	+/+	X	+/+ ⊗ → $+/o_2$	harinoso segrega 3 harinosos: 1 opaco[a]
			↓	
Tercera cruza reversiva	+/+	X	+/+ ⊗ → $+/o_2$	harinoso segrega 3 harinosos: 1 opaco[a]
			↓	
			(A siguientes ciclos)	

[a] Depende de la separación visual de los granos harinosos de los segregantes de opaco-2, sobre corte, teñido y examen con el microscopio para identificar los tipos bajos en zeína (se asumen de alta calidad).

opaco-2 reacciona con algunos fondos genéticos y produce efectos deletéreos. Estos efectos negativos podrían estar asociados principalmente con algunas expresiones visuales (como brillo reducido que se usó anteriormente como criterio de selección). Este mismo efecto deletéreo sobre el endosperma, podría estar asociado posteriormente con bajo rendimiento u otros criterios de comportamiento.

Un esquema mejor para seleccionar visualmente segregantes de alta calidad, cuando menos en las pruebas iniciales, es un método reportado por Pradilla *et al* (4) en el Congreso de Biología de Cali, y previamente usado por Wolf *et al* (5) y Choe *et al* (6). Esto considera un corte del grano con micrótomo congelado, teñido de una sección con colorante hemotoxilin, y el examen de esta preparación bajo un microscopio de alto poder de resolución. Los granos que tienen alto contenido de zeína (calidad pobre) muestran una concentración de teñido oscuro, los cuerpos rojos de zeína en los espacios entre los gránulos de almidón y en la línea o margen entre cada dos gránulos. En cambio los granos bajos en zeína, sólo muestran un teñido limitado de las pocas partículas de zeína que se encuentran en los espacios, y están casi ausentes de las líneas marginales entre los gránulos de almidón. La diferencia entre los dos tipos es tan saltante y clara, que un técnico de laboratorio no necesita experiencia previa para reconocer y clasificar los tipos contrastantes. Es probable analizar granos individualmente y plantar los mismos para la siguiente generación de cruza reversiva, prueba y aumento de semilla.

TABLA 6 Esquema E: Conversión de variedades o líneas harinosas a opaco-2 con la ayuda del laboratorio de calidad de proteína

	Progenitor recurrente		*Progenitor femenino*	*Resultado de cruza reversiva*	*Mazorcas autofecundadas*	
					Fenotipos	*Resultado del laboratorio*
Cruza original	fl_1/fl_1 +/+	X	+/+ o_2/o_2			
			↓			
Primera cruza reversiva	fl_1/fl_1 +/+	X	+/fl_1 +/o_2	1 normal: 1 harinoso		
			↓			
			Granos normales de la retrocruza			
Segunda cruza reversiva + autopolinización	fl_1/fl_1 +/+	X	+/fl_1 +/+	harinoso	1 normal: 1 harinoso	Bajos
			+/fl_1 +/o_2	harinoso[a]	6 normal: 10 harinoso	Algunos altos[a]
			Granos harinosos de la cruza reversiva			
	fl_1/fl_1 +/+	X	fl_1/fl_1 +/+	harinoso	harinoso	Bajos
			fl_1/fl_1 +/o_2	harinoso[a]	harinoso	Algunos altos[a]
			↓			
			Granos harinosos de normales			
Tercera cruza reversiva + autopolinización	fl_1/fl_1 +/+	X	+/fl_1 +/+	harinoso	1 normal: 1 harinoso	Bajos
			+/fl_1 +/o_2	harinoso[a]	6 normal: 10 harinoso	Algunos altos[a]
			fl_1/fl_1 +/+	harinoso	harinoso	
			fl_1/fl_1 +/o_2	harinoso	harinoso	
			Granos harinosos de harinosos			
	fl_1/fl_1 +/+	X	fl_1/fl_1 +/+	harinoso	harinoso	Bajos
			fl_1/fl_1 +/o_2	harinoso[a]	harinoso	Algunos altos[a]
			↓			
			(A siguientes ciclos)			

a Las pruebas de laboratorio de las mazorcas segregantes revelan algunos granos (1/4) que son de alta calidad, basados en análisis de lisina o triptófano. Estos granos harinosos de la cruza reversiva son los que se seleccionan.

TABLA 7 Esquema F: Esquema genético general para convertir maíz harinoso a opaco-2

	Progenitor recurrente		*Genotipo de las plantas de cruza reversiva*	*Fenotipo de la cruza reversiva*	*Genotipo de cruza experimental* ♀ (+/+ o_2/o_2)
Cruza original	fl_1/fl_1 +/+	X	+/+ o_2/o_2		
			↓		
Primera cruza reversiva	fl_1/fl_1 +/+	X	+/fl_1 +/o_2	1 normal : 1 harinoso	
			↓		
			Granos normales de la cruza reversiva[a]		
Segunda cruza reversiva	fl_1/fl_1 +/+	X	+/fl_1 +/+	1 normal : 1 harinoso	normal
			+/fl_1 +/o_2	1 normal : 1 harinoso	1 normal : 1 opaco[a]
			Granos harinosos de la cruza reversiva[b]		
			fl_1/fl_1 +/+	harinoso	normal
			fl_1/fl_1 +/o_2	harinoso	1 normal : 1 opaco[b]
			↓		
			Granos normales de la cruza reversiva[a]		
Tercera cruza reversiva + cruza experimental	fl_1/fl_1 +/+	X	fl_1/fl_1 +/+	harinoso	normal
			fl_1/fl_1 +/o_2	harinoso	1 normal : 1 opaco
			+/fl_1 +/+	1 normal : 1 harinoso	normal
			+/fl_1 +/o_2	1 normal : 1 harinoso	1 normal : 1 opaco
			Granos harinosos de la cruza reversiva[b]		
			fl_1/fl_1 +/+	harinoso	normal
			fl_1/fl_1 +/o_2	harinoso	1 normal : 1 opaco[b]
			↓		

TABLA 7 (cont.)

	Progenitor recurrente		*Genotipo de las plantas de cruza reversiva*	*Fenotipo de la cruza reversiva*	*Genotipo de cruza experimental* ♀ ($+/+\ o_2/o_2$)
			Granos normales de la cruza reversiva		
Cuarta cruza reversiva + cruza experimental	$fl_1/fl_1\ +/+$	X	$fl_1/fl_1\ +/+$	harinoso	normal
			$fl_1/fl_1\ +/o_2$	harinoso	1 normal : 1 opaco
			$+/fl_1\ +/+$	1 normal : 1 harinoso	normal
			$+/fl_1\ +/o_2$	1 normal : 1 harinoso	1 normal : 1 opaco[a]
			Granos harinosos		
			$fl_1/fl_1\ +/+$	harinoso	normal
			$fl_1/fl_1\ +/o_2$	harinoso	1 normal : 1 opaco[a]
			↓ (A siguientes ciclos)		

[a] Si el maíz deseado es ($+/+\ o_2/o_2$), ó ($+/+\ o_2/o_2$) y ($fl_1/fl_1\ o_2/o_2$), seleccionar granos normales de las mazorcas de la cruza reversiva 2 (o alguna posterior) en estos surcos.

[b] Si el maíz deseado es ($fl_1/fl_1\ o_2/o_2$), seleccione granos harinosos de las mazorcas de la cruza reversiva 2 (o alguna posterior) en estos surcos.

Conversión de variedades de zonas altas fenotípicamente semejantes al maíz harinoso

Después de muchos siglos de selección en las regiones altas de la zona andina, los agricultores han creado una gran diversidad de razas y biotipos de maíz. Es interesante y útil señalar que la mayoría de las variedades tienen una contraparte cristalina que se utiliza para preparar otro tipo de alimentos. Los indígenas prefieren el tipo harinoso suave para las preparaciones más típicas y para el consumo directo, pero han preservado las variedades cristalinas que aún se siembran extensamente.

La introducción del gene opaco-2 a esas contrapartes cristalinas (normales) no representa un problema para el fitogenetista. El procedimiento es idéntico al que se bosquejó con anterioridad y el esquema que se utiliza actualmente con variedades cristalinas. Este enfoque se emplea en las variedades de las zonas altas en el programa de maíz en Perú.

Sistema para la conversión de variedades harinosas a linajes de opaco-2, que depende del análisis de laboratorio

Este método (tabla 6), esquema (E) es muy semejante al que se usa para convertir maíz cristalino o dentado a opaco-2. Puesto que no es posible la selección visual en las mazorcas autofecundadas, el análisis de grano individual mostrará cuáles mazorcas harinosas llevan o segregan con respecto al gene opaco-2. En la tabla 6 se presenta el procedimiento. Comenzando con la primera cruza reversiva, el fitomejorador puede seleccionar únicamente los granos harinosos y obtener harinoso-1 (fl_1) en la condición homocigota. Por otra parte, si sólo se seleccionan granos normales (cristalinos), se puede mantener el Fl_1 (+/+) en el sistema y finalmente obtener un maíz suave que se debe al opaco-2, pero que puede mostrar contaminación cuando se poliniza con variedades harinosas. En cada ciclo hay que efectuar análisis de laboratorio solamente en aquellas mazorcas con una clara segregación 6 normales: 10 harinosos para confirmar la presencia del opaco-2. Esto reducirá en la mitad el trabajo del laboratorio.

En cualquiera de los ciclos, la germinación en laboratorio de los granos de alta calidad de las mazorcas autopolinizadas podrá efectuarse a fin de multiplicar la semilla y permitir su prueba a este nivel de conversión. Cuando hay disponibles otros sistemas genéticos que no dependen tan fuertemente del laboratorio, existen algunas dudas acerca de la eficiencia y rapidez de este esquema. Sin embargo, no hay duda de la importancia del análisis de laboratorio para constatar el progreso durante los ciclos de cruza reversiva y determinar la calidad de cada linaje antes de producir un híbrido o formar un compuesto. Este sistema se usa actualmente en el programa del CIMMYT.

Esquema genético general para convertir maíz harinoso a opaco-2

Estos seis esquemas, según han sido presentados por sus autores originales, proporcionan un valioso antecedente genético sobre el cual se puede elaborar un sistema adaptado a cada programa nacional y a cada tipo de maíz que se va a convertir, así como al análisis de laboratorio de que se dispone. Nuestra intención es presentar un esquema genético general para la conversión mediante el empleo de las mejores características de cada sistema detallado arriba, dependiendo del objetivo final del programa, el tipo de maíz que se va a convertir y la disponibilidad del componente de laboratorio.

El esquema general (tabla 7) es esencialmente el método de Bauman y Crane (1971), en él se presenta una cruza reversiva en cada ciclo, con el progenitor recurrente como macho y una cruza experimental con el original o con otra fuente opaca (+/+ como o_2/o_2) o mutante doble (fl_1/fl_1 o_2/o_2) en el producto final así como cuál ruta seguir para cualquiera de las alternativas. Los granos pueden seleccionarse de la cruza reversiva 1 para cada ruta. Si hay duda acerca de cuál producto se deseará o será más aceptable al consumidor, la ruta correcta a seguir es el seleccionar granos normales para controlar ambos loci, de modo que (+/+ o_2/o_2) ó (fl_1/fl_1 o_2/o_2) puedan ser recobrados en la última etapa.

En el caso del mutante doble recesivo (fl_1/fl_1 o_2/o_2), no se requiere ningún procedimiento especial para verificar el genotipo si se usa el cruce reversivo. Como se muestra, la progenie seleccionada de la cruza reversiva en cada ciclo sobre la base de los resultados de la cruza experimental es ya del genotipo deseado. En la tabla 4 se presenta la verificación del simple recesivo (+/+ o_2/o_2) y éste es el procedimiento recomendado más eficiente.

AVANCES EN LA CONVERSION DE MAIZ HARINOSO EN LAS ZONAS ALTAS

La actividad principal a la conversión de estas variedades de regiones altas se concentra en la Zona Andina y en México. El avance en estos programas de conversión es lento, debido al ciclo de cultivo tan largo, que por lo general se limita a un ciclo por año. La naturaleza complicada del proceso de conversión ha ocasionado pérdidas de generaciones en algunos casos.

Colombia

El programa nacional de Colombia ahora está en la tercera cruza reversiva de los materiales de maíz harinoso en Tibaitatá, el centro de investigaciones para zonas altas ubicado cerca de Bogotá. Se ha dado mayor énfasis a la selección visual, aunque en algunas variedades se necesitan los esquemas de cruzas de prueba para separar las familias que contienen opaco-2.

Ecuador

En la actualidad en el Ecuador, la cruza reversiva está en proceso y los planes presentes para la selección dependen del nuevo laboratorio para la investigación sobre la calidad proteínica del maíz que se ha instalado recientemente en Santa Catalina, cerca de Quito.

Perú

En el Perú se ha producido la tercera cruza reversiva en tres fondos genéticos de maíz cristalino y en tres maíces harinosos. Una segunda cruza reversiva con dos tipos cristalinos de zonas altas está en proceso. El avance en estos materiales depende de las cruzas experimentales y en el análisis de laboratorio en el ciclo siguiente.

México

En México, se planea para un futuro próximo la conversión de Cacahuacintle y otros materiales harinosos, en tanto que actualmente se dispone en el CIMMYT de algunos compuestos de endosperma harinoso basados en el gene opaco-2 (Compuesto I).

Bolivia

En Bolivia se ha efectuado la primera cruza reversiva. Durante el invierno se hicieron autofecundaciones y cruzas experimentales. En Cochabamba se producen dos generaciones por año de este modo, y la autofecundación y la prueba se consideran necesarias para preservar un máximo de adaptación y de aceptación del grano en tanto que se busca el genotipo deseado ($+/+\ o_2/o_2$). El rendimiento también es un objetivo muy importante en el esquema de conversión y mejoramiento de Cochabamba, puesto que se piensa que la introducción de una nueva variedad en la zona será inaceptable si la calidad proteínica es la única diferencia entre este nuevo tipo y la variedad tradicional.

Además del tiempo que se requiere para cada generación en el proceso de conversión, la mayoría de los programas han sido limitados por la carencia de resultados de laboratorio con prontitud y confiables, sobre los cuales se puedan basar las decisiones y las selecciones posteriores. Con la instalación de laboratorios en La Molina (Perú), Santa Catalina (Ecuador), Cochabamba (Bolivia), y CIAT (Colombia), y el sistema continuo de verificación de los estándares propuestos por el CIMMYT y la Universidad Purdue, este problema deberá ser menos limitativo en un futuro próximo. El laboratorio es un componente esencial para conseguir avances en estos materiales harinosos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los esquemas de conversión presentados son explícitos. Algunos otros detalles acerca de dichos esquemas pueden solicitarse a los autores que se enlistan. También se detallan las ventajas y las desventajas de cada procedimiento. La decisión de escoger un sistema en particular dependerá del maíz disponible, el objetivo final de la conversión, y de las facilidades de laboratorio disponibles. Si hay alguna manera conveniente de utilizar los esquemas que se basan en la selección visual de las mazorcas autofecundadas, esta será la ruta recomendada debido a su sencillez y al bajo nivel del componente de laboratorio, no obstante pruebas genéticas deben de seguirse para asegurar la calidad del opaco-2 en el producto final. Cuando es imposible distinguir los segregantes de opaco-2 del fondo genético harinoso, se necesitará otro de los sistemas. Los dos sistemas modificados (esquemas A y B), ofrecen el control del gene harinoso así como la identificación de los segregantes de opaco-2 de alta calidad. La selección del esquema depende del objetivo final. En virtud de la facilidad de identificar granos contaminados en los predios de los agricultores, recomendamos la conversión de las variedades locales de zonas altas a un genotipo de opaco-2 simple recesivo ($+/+$ o_2/o_2). Esto evitará la pérdida de la identidad y de la calidad en el nuevo material una vez que éste se introduce al agricultor y que él selecciona su propia semilla por algunas generaciones. El análisis de laboratorio debería ser usado para probar los productos que cualquiera de los sistemas, especialmente del procedimiento, que tiene un maíz doble recesivo como el objetivo final (fl_1/fl_1 o_2/o_2) y de aquellos basados en selección visual.

La rápida conversión del maíz harinoso de las zonas altas es esencial para mejorar la nutrición de estas regiones. Los programas de desarrollo rural tales como el Plan Puebla, en México, el Proyecto Cajamarca, en el Perú, y el Proyecto Río Negro, en Colombia, se ubican todos en valles altos. Hasta ahora, no se dispone en las regiones donde se desarrollan estos proyectos de maíz opaco-2 o de otros maíces de alta calidad proteínica. Puesto que estos programas de extensión y de desarrollo integral incluyen en sus objetivos el mejoramiento de la nutrición humana en la zona, un maíz con una mejor calidad proteínica es un componente esencial en el paquete de producción que se va a introducir. Es la responsabilidad de cada programa nacional que opera en la zona avanzar tan rápida y eficientemente como sea posible en la conversión y prueba de variedades bajo condiciones de los predios de los agricultores. Los centros internacionales como el CIMMYT y el CIAT pueden suministrar el adiestramiento de campo y de laboratorio y las pruebas de laboratorio que se necesitan para implantar estos programas en el campo. Se pueden lograr avances considerables mediante la conversión de maíz en una región determinada para que se use en otra zona o país, este intercambio puede ofrecer una solución inicial a la necesidad de una variedad de alta calidad proteínica. Sin embargo, la conversión de tipos de planta adaptados a una zona climática específica y de un tipo de grano especial preferido para el consumo en una región, hacen esenciales a estos esquemas de conversión para cada programa nacional que opera en zonas donde el maíz harinoso es importante en la dieta. Sólo mediante la introducción de este nuevo maíz de alta calidad proteínica podemos esperar que se mejoren los niveles nutricionales de muchas áreas de la región andina. La metodología y las nuevas

facilidades de laboratorio ahora disponibles darán un nuevo empuje a este trabajo, y en un futuro cercano debemos contar con variedades para el agricultor de la zona andina.

Las sugerencias de los Drs. P. L. Crane y L. M. Bauman de la Universidad Purdue y de los Drs. S. K. Vasal, CIMMTY, y F. Poey, México, fueron especialmente valiosas en la preparación del manuscrito.

Los autores también agradecen a los siguientes científicos sus comentarios respecto a las conversiones de los materiales harinosos: Enrique Arias y Daniel Sarria, Programa Nacional de Maíz y Sorgo, C.N.I.A., Palmira, ICA, Apartado aéreo 233, Palmira, Valle, Colombia. Gonzalo Avila, Director, Granja Modelo Pairumani, Casilla 126, Cochabamba, Bolivia. Luis Beingolea, y Ricardo Sevilla, Programa de Maíz, Universidad Agraria La Molina, Apartado 456, Lima, Perú. Raúl Paz y, Programa de Maíz, Estación Experimental Santa Catalina, INIAP, Apartado 2600, Quito, Ecuador.

(En la sección de *Preguntas y respuestas*, hay un análisis de esta ponencia).

BIBLIOGRAFIA

1. Beingolea, L. y R. Sevilla. 1971. Problemas en la introducción del gene opaco-2 en maíces harinosos y una posible solución, utilizando genes cristalinos. Proc. Cuarta Conf. Mejoramiento Maíz Zona Andina, ICA-CIAT, Palmira, Colombia; noviembre 2-5, 1971; pp. 109-113.
2. Choe, B.H., B.G. Cumbie y M.S. Zuber. 1973. Association of zein body classification with lysine content of corn endosperm (*Zea mays* L.) Crops. Sci. (en prensa).
3. Crane, P. L. 1968. Resumen de investigación en interacción genética con opaco-2. Proc. Tercera Conf. Mejoramiento Maíz Zona Andina, Universidad Agraria La Molina, Lima, Perú; marzo 18-21, 1968; pp. 36-42.
4. Pradilla, A., L. H. Betancur, M. de Geiter y C. Francis. 1972. Manipulación Genética de productos vegetales: su valor en nutrición humana. En Investigación básica y el mejoramiento de plantas y animales. noviembre 26-diciembre 1, 1972, Cali, Colombia.
5. Wolf, M.J., U. Khov y H.L. Seckinger, 1969. Distribution and subcellular structure of endosperm proteins in varieties of ordinary and high-lysine maize. Cereal Chem., 46: 253-263.

EL MEJORAMIENTO GENETICO DEL MAIZ DE PROTEINA MODIFICADA

J. W. Dudley, D. E. Alexander y R. J. Lambert*

El descubrimiento de que los genes recesivos opaco-2 y los semidominantes harinoso-2, incrementaba notablemente los niveles de lisina y triptófano en la proteína del endosperma de maíz, ha abierto las puertas para una reducción en la suplementación proteínica en las dietas de animales monogástricos, incluyendo el hombre.

En aquellos países donde el maíz es un producto de primera necesidad en la dieta, las implicaciones de estos hallazgos son obvios y han sido señalados repetidamente. Sin embargo, en los Estados Unidos, como en muchos otros países, el uso principal del maíz es para alimentación de ganado. Por tanto, la ampliación del uso de los híbridos modificados en contenido proteínico depende de su competitividad económica con el maíz dentado normal más harina de frijol soya como suplemento.

De este modo, las interrogantes claves que se consideraron originalmente, cuando se inició el trabajo de mejoramiento en Illinois, fueron:

1. ¿Se pueden obtener rendimientos aceptables en híbridos modificados en proteína:

a) de cruzas reversivas derivadas de linajes corrientemente usadas?

b) por aislamiento de nuevos linajes de poblaciones homocigotas o_2/o_2 ó fl_2/fl_2 que se han seleccionado para mejorar la adaptación agronómica?

* Plant Genetics, Agronomy Department, University of Illinois, Urbana, Illinois.

2. ¿Se puede incrementar el nivel de lisina en las poblaciones de opaco-2 o harinoso-2? (Esta pregunta fue importante porque los primeros ensayos sobre alimentación establecieron que, mientras el nivel de triptofano en los híbridos opaco-2 y harinoso-2 era adecuado en la dieta de la mayoría de las raciones, el nivel de lisina, aunque drásticamente aumentado, estaba debajo del óptimo para completar la alimentación de porcinos).

3. ¿Se pueden superar los problemas inherentes a la textura blanda del endosperma de los genotipos opaco-2 y harinoso-2 y aún mantener la calidad mejorada de la proteína?

En un intento para contestar estas interrogantes, nosotros iniciamos investigaciones en tres áreas principales:

1. Desarrollo y prueba de cruzas reversiva derivadas de híbridos opaco-2 y harinoso-2.

2. Desarrollo de un germoplasma de amplia base que reúna homocigotos para ya sea opaco-2 o el harinoso-2 seguido de selección recurrente para rendimiento y contenido de lisina.

3. Aislamiento y análisis genético de los genes modificadores que aumentan la densidad del grano en condiciones genéticas de opaco-2 sin efectos negativos sobre la calidad proteínica.

El propósito de este trabajo es presentar resultados de esta investigación y sus implicaciones en el desarrollo del maíz modificado en proteína.

COMPORTAMIENTO DE LOS HIBRIDOS OPACO-2

Si se leen las publicaciones que abordan el tema del maíz modificado en proteína, a menudo encontramos la perogrullada, "para que haya una adopción amplia primero se debe aumentar los rendimientos". Nosotros creemos que esto es una simplificación excesiva. Por ejemplo, los problemas en EEUU son muy diferentes de los que se tienen en Europa Oriental donde los suplementos de alta calidad proteínica para la alimentación animal son escasos, o de los que afrontan diferentes regiones de Latinoamérica donde el maíz es usado ampliamente como alimento humano. La pérdida aceptable de calorías por hectárea para aumentar la cantidad de proteína de alta calidad, es una función de la demanda por los dos componentes. En EEUU por tradición la harina de frijol soya ha sido relativamente barata, por tanto, no se ha aceptado reducir el rendimiento del maíz con el fin de incrementar su calidad proteínica.

Sin embargo, la economía de la producción proteína-calorías puede estar cambiando. En noviembre de 1972 la harina de frijol soya se vendía a 120 dólares la tonelada, o sea hubo un aumento de 76% en el precio del año anterior. En regiones donde no existe un aporte adecuado de proteína de buena calidad y el maíz es un alimento aceptado, el rendimiento puede tener importancia secundaria.

Nosotros creemos que el rendimiento de los híbridos opaco-2 no necesita ser indefinidamente inferior que el de los dentados comunes. A través de los años, hemos observado un mejoramiento definido en el comportamiento de nuestras pruebas. En 1966, en Urbana se probaron variedades casi isogénicas de los mismos híbridos (4). En promedio las variedades opaco-2 rindieron un 85% de

TABLA 1 Comportamiento de híbridos comerciales opaco-2 y dentados. Urbana, 1972 (experimento 402)

Genealogía	*Rendimiento*		*H_2O en el grano*	*Almacenado*
	Bu/Acre	*Kg/ha*	*(%)*	*(%)*
93160 X 98176[a]	149	9,354	24	0
98176 X 98168[a]	142	8,914	25	2
N28(C123 X Mo17)	139	8,726	26	0
N28(W64A X H49)	138	8,663	28	0
Va43(C123 X Mo17)	136	8,538	25	5
R177(C123 X Va35)	136	8,538	25	1
98153 X 98191[a]	135	8,475	23	0
R177(W64A X H49)	133	8,349	26	13
Comercial 1[b]	161	10,106	24	2
$\bar{x}$, 6 comerciales[c]	140	8,789	25	3

[a] Híbridos Purdue.

[b] Híbrido dentado de mayor rendimiento ("T" estériles).

[c] Híbridos dentados "T" estériles.

los contrapartes normales, aunque sólo cinco de los 17 híbridos rindieron significativamente menos que el tipo normal. En 1967 se probaron cuatro cruzas reversivas recuperadas de los mismos siete linajes. Los opacos rindieron en promedio, un 92% de los contrapartes normales.

Nosotros hemos continuado probando híbridos de linajes cruzados reversivamente derivados de sintéticos opaco-2 con creciente optimismo. En la tabla 1 se muestra el comportamiento de los ocho híbridos opaco-2 con rendimientos más altos y de variedades estériles "T" de híbridos dentados comerciales durante 1972. Los dentados "T" se sembraron al azar entre los híbridos opaco-2 y fueron polinizados por ellos. El daño de la raza de *H. maydis* "T" fue mínimo y el efecto sobre el rendimiento fue poco o nulo.

Los ocho híbridos de mayor rendimiento rindieron en promedio 7 600 kg por hectárea, o sea el 99% del rendimiento que se obtuvo de los seis dentados comerciales. El híbrido opaco-2 de rendimiento más alto sólo estuvo 7% por debajo del dentado de mayor rendimiento. Desde otro punto de vista el híbrido comercial es "el híbrido que hay que mejorar en la parte central de los E.U.A. conocida como el cinturón de maíz".

MEJORAMIENTO DE POBLACIONES

Aunque la cruza reversiva ha tenido éxito en la producción de líneas opaco-2 autofecundadas e híbridos que son comercialmente aceptados, el progreso para este enfoque es limitado. Para incrementar la diversidad del germoplasma de opaco-2 y harinoso-2 y proveer poblaciones apareadas al azar para estudiar el potencial genético de poblaciones con mayor calidad proteínica, se introdujeron independientemente los alelos opaco-2 y harinoso-2 en los maíces sintéticos [Iowa, tallo superduro (SSSS) y sintético desease-oil (DO)]. Ya se describió el procedimiento para desarrollar variedades opaco-2 y harinoso-2 de estos sinté-

ticos (2). Brevemente, se cruzó cada sintético a una fuente de opaco-2 y harinoso-2. El F_1 se cruzó reversivamente dos veces al sintético apropiado. Para el SSSS-o_2 y DO-o_2, la cruza reversiva F_1 se apareó al azar, se seleccionaron los granos homocigotos, y las plantas de estos granos también se aparearon al azar. En el programa de conversión harinoso-2 se autofecundaron las plantas desarrolladas de granos harinosos seleccionados de la generación de cruza reversiva F_1 apareada al azar y se seleccionaron los granos de mazorcas homocigotas fl_2fl_2, para producir las plantas que estaban apareadas al azar.

En cada una de las cuatro poblaciones (SSSS-o_2, SSSS-fl_2, DO-o_2 y DO-fl_2), se inició un esquema de selección mazorca-a-surco modificado (5). En cada sintético, se suministraron mazorca-a-surco 200 mazorcas de la segunda generación de apareamientos al azar, en tres repeticiones en un diseño de bloques en repeticiones. Dentro de cada repetición, se agruparon las entradas en diez bloques de 20 entradas. En un bloque en cada repetición se incluyeron las mismas 20 entradas. Las parcelas eran de un solo surco, 1 m X 5 m en 1969 y 0.76 m X 3.80 m posteriormente. La densidad de población fue aproximadamente de 54,000 plantas/ha.

Una cuarta repetición se plantó aisladamente para proveer semilla para la generación siguiente. Se incluyó un surco de cada una de las 200 familias. Se suministraron dos surcos polinizantes, de un gran volumen de semilla obtenida de la combinación de igual cantidad de semilla de cada una de las 200 mazorcas, cada cuatro surcos. Los 200 surcos procedentes de mazorcas individuales se desbanderaron y se seleccionaron cinco mazorcas de cada surco.

Del ensayo de rendimiento, se determinó el peso del grano más descascarado y el porcentaje de humedad, y se guardó una muestra para los análisis químicos. Las parcelas se cosecharon a mano en 1969 y 1970 y a máquina en 1971 y 1972. Para cada parcela se efectuaron los siguientes análisis químicos:

1. Porcentaje de contenido de proteína (N Kjeldahl X 6.25).
2. Porcentaje de contenido de lisina en el grano entero (en 1969 y 1970 se hizo un análisis microbiológico usando *Leuconostoc mesenteroides* (3); y en 1971 se usó el método del ácido trinitrobenceno sulfónico (TNBS) modificado (7).
3. Porcentaje de contenido de aceite (resonancia magnética nuclear). Además, en 1969 y 1970 la densidad del grano se midió en gramos por 162 cm^3. La generación original se sembró en 1969. El primero, segundo y tercer ciclo de selección se sembraron en 1970, 1971 y 1972, respectivamente.

La selección se basó en los kg de lisina/ha, obtenidos multiplicando el rendimiento en kg/ha por el porcentaje de lisina. Las cuatro familias con valores más altos dentro de cada bloque se seleccionaron con la condición de que el porcentaje de lisina fuese más alto que la media para el bloque. De este modo, en cada sintético, se seleccionaron cinco mazorcas por familia de 40 familias, para proveer las 200 entradas para el ciclo siguiente.

Después de la generación inicial, se incluyó en cada bloque una parcela con un híbrido testigo apropiado y con la población original. De esta manera en cada experimento hubo 30 parcelas del híbrido testigo y 30 del sintético original.

Los análisis de variancia y covariancia se efectuaron dentro de cada bloque usando las entradas combinadas en la media cuadrática de los bloques y el error combinado para entradas repetidas veces en los bloques, es decir para probar las

diferencias significativas entre entradas. Los valores hereditarios se calcularon en base a selección dentro de bloques de una localidad con tres repeticiones en un año. Las correlaciones de feno y genotipos se calcularon usando las medias de las entradas en base a un promedio dentro de bloque para cada sintético.

La respuesta predicha de las selecciones del 20% de las familias superiores se calculó como $R = i\sigma_p h^2$, donde $i = 1.4$; σ_p= desviación fenotípica típica de los caracteres seleccionados, y h^2 = herencia. La respuesta correlacionadas se calculó como $C = i\sigma_p h_y h_x r_{Gxy}$ donde $i = 1.4$; σ_p = desviación fenotípica típica, h_y y h_y = raíces cuadradas de la herencia del carácter seleccionado y del correlacionado; y r_{Gxy} = correlación genética entre los dos caracteres. La respuesta reportó como porcentaje de la media de la población. Se calculó la respuesta para cada sintético en cada ciclo y se promedió sobre los tres ciclos para dar respuestas promedio por ciclo.

Debido a que los experimentos de selección crecieron en un solo ciclo por año, no fue posible hacer estimaciones de la interacción genotipo – medio ambiente. Un segundo experimento incluyó seis híbridos opaco-2 desarrollados en diez localidades en Illinois, en 1969. Se instalaron dos repeticiones en cada localidad. Se autofecundaron aproximadamente diez plantas por cada repetición, y se determinó lisina (análisis de aminoácidos) y proteína (N Kjeldahl X 6.25) en una muestra de grano para cada parcela.

RESULTADOS

Experimentos de selección

El efecto primario de la selección fue el aumento de rendimiento de grano y cantidad de lisina por hectárea (tabla 2). Con la excepción del contenido de lisina en el ciclo dos de DO-o_2 y DO-fl_2 y de proteína en el ciclo uno de SSSS-fl_2, y DO-fl_2, ninguna de las comparaciones entre medias de ciclos con la media del ciclo cero que creció en el mismo año fueron significativas para el porcentaje de lisina gL/100 gP, o del de proteína. En los cuatro casos de las diferencias significativas antes citadas, la magnitud de la diferencia fue tan pequeña que no tienen importancia práctica. El mayor aumento en rendimiento y producción de lisina por hectárea ocurrió en el ciclo 1 de los cuatro sintéticos. Sólo SSSS-o_2 mostró un mayor incremento en el ciclo 2 que en el 1. Aunque DO-o_2 consistentemente sobrepasó al ciclo o en los ciclos 1, 2 y 3 de un 6 a un 7%, ninguna comparación individual de los ciclos seleccionados en la población original fue significativa. El mayor aumento para rendimiento de grano y producción de lisina ocurrió en SSSS-o_2, con un promedio por ciclo de aproximadamente 4.7% para rendimiento (tres ciclos) y 7.4% para producción de lisina por hectárea (dos ciclos) (tabla 7). Al final de los dos ciclos, el aumento en rendimiento para SSSS-o_2 fue 6.6% por ciclo. De este modo, la diferencia en ganancia por ciclo entre el rendimiento de grano y el de lisina en SSSS-o_2 es posible que sea más estrecha cuando se comparen tres ciclos con dos ciclos al considerar los datos de lisina para el ciclo 3.

TABLA 2 Medias para cada ciclo (valor absoluto y como porcentaje del crecimiento en ciclo 0 del mismo año) para varios caracteres en dos sintéticos opaco-2 y dos sintéticos harinoso-2

	Ciclo						
	0	1		2		3	
Población	*Media*	*Media (%)*	*Ciclo 0*[a]	*Media (%)*	*Ciclo 0*	*Media (%)*	*Ciclo 0*
				kg de lisina/ha			
SSSS-o_2	20.8	23.2	109.4[b]	22.5	114.8[b]		
SSSS-fl_2	15.2	16.0	109.6[b]	16.0	108.3[b]		
DO-o_2	22.8	20.0	109.3	20.2	108.0[b]		
DO-fl_2	17.8	18.7	111.3[b]	16.4	106.5		
				% de lisina			
SSSS-o_2	0.400	0.407	100.0	0.424	100.7		
SSSS-fl_2	0.305	0.303	99.0	0.323	100.0		
DO-o_2	0.414	0.385	100.3	0.378	102.4[b]		
DO-fl_2	0.377	0.344	100.0	0.334	97.1[b]		
				Rendimiento (kg/ha)			
SSSS-o_2	5,216	5.725	109.7[b]	5,300	113.1[b]	6,053	114.5[b]
SSSS-fl_2	5,002	5,295	110.7[b]	4,954	110.0[b]	5,287	110.1[b]
DO-o_2	5,508	5,154	107.8	5,358	105.6	5,378	107.2
DO-fl_2	4,786	5,438	111.2[b]	4,909	109.3	5,275	113.7[b]
				gL/100 gP[c]			
SSSS-o_2	3.77	3.91	100.5	4.18	102.2		
SSSS-fl_2	2.72	2.86	97.9	2.97	98.7		
DO-o_2	3.83	3.62	102.0	3.52	101.4		
DO-fl_2	3.25	3.26	101.9	3.02	98.0		
				% de proteína			
SSSS-o_2	10.6	10.3	99.0	10.2	99.0		
SSSS-fl_2	11.2	10.6	101.0[b]	10.8	100.9		
DO-o_2	10.8	10.9	100.9	10.7	100.9		
DO-fl_2	11.6	10.6	99.1[b]	11.1	99.1		

[a] Porcentaje del ciclo 0 testigo que crecía en el mismo año.

[b] Diferencia significativa respecto al ciclo 0 a un nivel de probabilidad de 0.05 que se obtuvo de la prueba F en el análisis de variancia.

[c] De las tablas 2 a la 13, gL = gramos de lisina y gP = gramos de proteína.

El marcado aumento en rendimiento de grano y producción de lisina por hectárea de las selecciones y la falta de progreso en porcentaje de lisina, se originó de (1) la mayor heredabilidad para rendimiento de grano que para porcentaje de lisina y (2) de las mayores correlaciones genéticas de lisina por hectárea con rendimiento de grano que con porcentaje de lisina (tablas 3, 6 y 7). En los cuatro sintéticos, los coeficientes de variación (CV) genéticos fueron consistentemente más elevados para rendimiento que para porcentaje de lisina en todos los ciclos (tabla 4). El mismo curso fue evidente para heredabilidad en los ciclos 1 y 2.

En los sintéticos harinoso-2 los porcentajes de lisina (gL/100 gP), de rendimiento de grano y de producción de lisina por hectárea fueron consistentemente

TABLA 3 Valores de heredabilidad (%) para cinco caracteres medidos en cada ciclo de dos sintéticos opaco-2 y dos sintéticos de harinoso-2

	Ciclo			*Ciclo*			
Población	0	1	2	0	1	2	3
		% de lisina			Rendimiento		
SSSS-o_2	35[a]	37[a]	7	34[a]	65[a]	59[a]	58[a]
SSSS-fl_2	65[a]	35[a]	45[a]	62[a]	59[a]	63[a]	52[a]
DO-o_2	39[a]	30[a]	47[a]	40[a]	60[a]	68[a]	60[a]
DO-fl_2	32[a]	35[a]	46[a]	79[a]	62[a]	61[a]	65[a]
		Kg de lisina/ha			gL/100 gP		
SSSS-o_2	40[a]	51[a]	50[a]	29[a]	14	5	
SSSS-fl_2	64[a]	47[a]	62[a]	35[a]	10	26[a]	
DO-o_2	43[a]	39[a]	64[a]	23[a]	2	23[a]	
DO-fl_2	59[a]	53[a]	56[a]	7	28[a]	16	
		% de proteína					
SSSS-o_2	69[a]	66[a]	63[a]				
SSSS-fl_2	86[a]	47[a]	77[a]				
DO-o_2	73[a]	72[a]	69[a]				
DO-fl_2	91[a]	64[a]	73[a]				

[a] Componente de la variancia genética significativo al nivel de probabilidad de 0.05 que se obtuvo de la prueba F en el análisis de variancia.

TABLA 4 Coeficiente de variación genética (%) para cada ciclo de dos sintéticos opaco-2 y dos sintéticos harinoso-2

	Ciclo			*Ciclo*			
Población	0	1	2	0	1	2	3
		% de lisina			Rendimiento		
SSSS-o_2	3.7	4.4	1.3	4.2	8.8	10.1	9.8
SSSS-fl_2	8.1	4.8	3.1	10.7	8.0	9.0	8.7
DO-o_2	3.6	3.9	3.3	4.8	9.3	11.5	11.3
DO-fl_2	4.8	4.2	3.2	16.4	7.4	9.6	10.9
		Kg de lisina/ha			gL/100 gP		
SSSS-o_2	5.9	8.4	9.6	3.1	2.3	1.1	
SSSS-fl_2	12.7	8.7	9.8	4.1	2.3	2.2	
DO-o_2	6.2	7.4	11.5	2.4	0.8	2.0	
DO-fl_2	13.8	8.4	9.3	1.9	3.5	1.6	
		% de proteína					
SSSS-o_2	3.1	3.2	2.6				
SSSS-fl_2	5.8	2.8	3.6				
DO-o_2	3.2	4.0	3.1				
DO-fl_2	6.2	3.2	3.6				

bajos, pero más altos en porcentaje de proteína que sus contrapartes opaco-2 (tabla 2). Con la excepción de rendimiento de grano, estos resultados son consistentes con datos inéditos de nuestro laboratorio para cruzas reversivas autofecundadas e híbridos derivados de harinoso-2 y opaco-2. Pruebas preliminares de

rendimiento de híbridos harinoso-2 indican que es posible que los rendimientos de los genotipos harinoso-2 no sean muy reducidos comparados con los normales como ocurre con los híbridos opaco-2. Es probable que el mayor rendimiento de los sintéticos opaco-2 reportado aquí, sea una consecuencia del hecho de que se usaron las líneas autofecundadas parcialmente invertidas como fuentes del gene opaco-2 mientras que las fuentes del gene harinoso-2 tenían una existencia genética de cualidades agronómicas pobres.

Aunque no se ha observado un progreso significativo en porcentaje de lisina, se detectó variación genética significativa en cada ciclo de cada maíz sintético, con excepción del ciclo 2 de SSSS-o_2 (tabla 3). Los valores de heredabilidad son lo suficientemente grandes como para sugerir que deberían ser posibles los progresos en la selección para porcentaje de lisina si la selección estuviese basada solamente en el mismo de lisina. El hecho de que por lo general los coeficientes genéticos de variación para porcentaje de lisina sean tan altos como los del porcentaje de proteína, aun cuando las heredabilidades sean más bajas, parece ser que hay suficiente variación genética como para tener éxito en la selección del porcentaje de lisina siempre y cuando se pudiese reducir suficientemente la variancia ambiental.

En parte, los bajos valores de heredabilidad para gL/100 gP son resultado de una gran variancia de error, originada del hecho de que la variancia de error para gL/100 gP incluye el error asociado en la determinación de los porcentajes de proteína y de lisina.

Los coeficientes de variación (CV) fueron muy similares entre los maíces sintéticos y entre las variedades opaco-2 y harinoso-2 de los mismos sintéticos (tabla 5). El cambio de usar el ensayo microbiológico por el método TNBS para

TABLA 5 Coeficientes de variación (%) para cada ciclo de varios caracteres en dos sintéticos opaco-2 y dos sintéticos harinoso-2

	Ciclo			*Ciclo*			
Población	0	1	2	0	1	2	3
		% de lisina			Rendimiento		
SSSS-o_2	8.7	9.0	7.8	10.1	10.4	13.9	13.8
SSSS-fl_2	10.3	10.8	5.8	14.4	10.8	11.3	13.5
DO-o_2	7.8	9.8	5.8	10.3	12.4	13.0	15.0
DO-fl_2	12.2	9.6	5.8	14.8	9.9	12.5	13.2
		kg de lisina/ha			gL/100 gP		
SSSS-o_2	12.5	13.1	15.9	8.6	9.1	7.8	
SSSS-fl_2	16.6	15.2	12.8	9.8	11.6	6.1	
DO-o_2	12.2	15.1	14.3	7.7	9.5	6.1	
DO-fl_2	19.9	13.3	13.5	12.3	9.5	6.1	
		% de proteína					
SSSS-o_2	3.6	3.6	3.3				
SSSS-fl_2	4.0	4.9	3.2				
DO-o_2	3.4	4.0	3.3				
DO-fl_2	3.4	3.8	3.6				

TABLA 6 Correlaciones fenotípicas (sobre la diagonal) y genotípicas (bajo la diagonal) entre varios caracteres en variedades de opaco-2 y harinoso-2 de SSSS

		% de lisina		*gL/100 gP*		*% de proteína*		*Rendimiento*		*Lisina/ha*	
	Ciclo	o_2	fl_2	o_2	fl_2	o_2	fl_2	o_2	fl_2	o_2	fl_2
% de lisina											
	0			0.81[a]	0.79[a]	0.41[a]	0.72[a]	-0.02	-0.15	0.64[a]	0.50[a]
	1			0.84[a]	0.84[a]	0.55[a]	0.42[a]	-0.24[a]	-0.10	0.39[a]	0.56[a]
	2			0.77[a]	0.57[a]	0.33[a]	0.54[a]	-0.12	-0.00	0.24[a]	0.39[a]
gL/100 gP											
	0	0.60	0.74			-0.20[a]	0.15	0.17	-0.07	0.66[a]	0.45[a]
	1	0.72	0.89			0.01	-0.12	-0.07	0.06	0.45[a]	0.60[a]
	2	-1.44	0.11			-0.34[a]	-0.38[a]	0.01	0.15[a]	0.28[a]	0.36[a]
% de proteína											
	0	0.57	0.87	-0.32	0.31			-0.30[a]	-0.16	0.05	0.30[a]
	1	0.90	0.91	0.34	0.61			-0.34[a]	-0.29[a]	0.02	0.03
	2	1.01	0.78	-1.21	-0.53			-0.21[a]	-0.17[a]	-0.08	0.06
Rendimiento											
	0	0.22	-0.16	0.72	-0.10	-0.47	-0.14			0.75[a]	0.77[a]
	1	-0.39	-0.18	-0.17	0.13	-0.43	-0.41			0.80[a]	0.76[a]
	2	-0.57	0.01	-0.05	0.28	-0.27	-0.17			0.93[a]	0.92[a]
Lisina/ha											
	0	0.74	0.51	0.81	0.42	0.04	0.42	0.82	0.77		
	1	0.12	0.39	0.21	0.64	0.02	0.12	0.87	0.83		
	2	-0.47	0.37	-0.30	0.32	-0.13	0.11	0.99	0.94		

[a] Correlación fenotípica significativa a un nivel de probabilidad de 0.05.

TABLA 7 Correlaciones fenotípicas (sobre la diagonal) y genotípicas (bajo la diagonal) entre varios caracteres en variedades de opaco-2 y harinoso-2 de Syn D.O.

	% de lisina		*gL/100 gP*		*% de proteína*		*Rendimiento*		*Lisina/ha*	
Ciclo	o_2	fl_2	o_2	fl_2	o_2	fl_2	o_2	fl_2	o_2	fl_2
% de lisina										
0			0.76[a]	0.67[a]	0.51[a]	0.54[a]	-0.06	-0.33[a]	0.57[a]	0.12
1			0.76[a]	0.83[a]	0.57[a]	0.37[a]	-0.29[a]	-0.07	0.30[a]	0.57[a]
2			0.67[a]	0.54[a]	0.59[a]	0.61[a]	-0.07	-0.19[a]	0.26[a]	0.19[a]
gL/100 gP										
0	0.48	-0.61			-0.17	-0.26[a]	0.14	0.02	0.58[a]	0.33[a]
1	0.04	0.68			-0.09	-0.20[a]	-0.09	0.01	0.36[a]	0.52[a]
2	0.42	-0.03			-0.26[a]	-0.33[a]	0.09	0.15[a]	0.32[a]	0.35[a]
% de proteína										
0	0.77	0.92	-0.20	-0.90			-0.27[a]	-0.46[a]	0.11	-0.22[a]
1	1.00	0.55	-0.08	-0.23			-0.34[a]	-0.14	0.00	0.12
2	0.81	0.90	-0.19	-0.46			-0.20[a]	-0.35[a]	-0.03	-0.12
Rendimiento										
0	0.05	-0.67	0.62	-0.08	-0.37	-0.49			0.78[a]	0.89[a]
1	-0.60	-0.09	-0.51	0.05	-0.49	-0.19			0.82[a]	0.78[a]
2	-0.14	-0.31	0.16	0.50	-0.26	-0.50			0.94[a]	0.92[a]
Lisina/ha										
0	0.62	-0.47	0.74	-0.41	0.19	-0.25	0.81	0.97		
1	-0.23	0.42	-0.64	0.38	-0.10	0.12	0.92	0.86		
2	0.14	0.03	0.29	0.52	-0.04	-0.21	0.96	0.94		

[a] Correlación fenotípica significativa a un nivel de probabilidad de 0.05.

la determinación de lisina en el ciclo 2 resultó en una reducción significativa de los CV para el porcentaje de lisina y gL/100 gP. En el ciclo 2 la recolección mecánica en vez de la manual no tuvo efecto apreciable sobre los CV.

Las correlaciones fenotípicas fueron muy similares en los cuatro sintéticos (tablas 6 y 7). Las correlaciones fenotípicas para porcentaje de lisina con gL/100 gP y rendimiento de grano con producción de lisina por hectárea fueron altas y positivas; de la misma manera sucedió con el porcentaje de lisina con porcentaje de proteína y de porcentaje de lisina con producción de lisina. Las correlaciones de gL/100 gP con producción de lisina fueron negativas y de magnitud intermedia. Las correlaciones genotípicas fueron similares en signo y magnitud a las correlaciones fenotípicas, con la excepción de las correlaciones de los porcentajes de lisina con gL/100 gP y de proteína, y la producción de lisina por hectárea. Las correlaciones genotípicas de porcentaje de lisina con porcentaje de proteína fueron todas algo más altas que las correlaciones fenotípicas. En contraste, las correlaciones genotípicas de porcentaje de lisina con gL/100 gP y producción de lisina no fueron consistentes entre los sintéticos, y por lo general fueron más bajas que las correlaciones fenotípicas.

La respuesta promedio que se observó en la selección por kilogramos de lisina por hectárea fue de alrededor de la mitad de la respuesta predicha en todos los sintéticos excepto SSSS-o_2, en el cual la respuesta observada y predicha fueron iguales (tabla 8). No se observó o predijo cambio significativo en porcentaje de lisina como resultado de la selección. En todos los sintéticos, en la posible excepción de DO-o_2 ocurrieron incrementos significativos de rendimiento, aunque las respuestas observadas siempre fueron menores que las respuestas predichas correspondientes. A pesar de que los datos no lo indican, en ninguno

TABLA 8 Promedio predicho y cambio observado por ciclo, en porcentaje de la media de la población, para cuatro sintéticos modificados en proteína cuando se basó la selección en producción de lisina por hectárea

	Cambio (% de la media)			
	SSSS-o_2	SSSS-fl_1	DO-o_2	DO-fl_1
Kg de lisina/ha				
Observado	7.4	4.2	4.0	3.2
Predicho	7.4	10.8	8.0	10.7
% de lisina				
Observado	0.4	0.0	1.2	-1.4
Predicho	0.8	2.5	0.6	-0.2
Rendimiento[a]				
Observado	4.7	3.0	1.9	3.9
Predicho	6.4	8.0	7.5	10.8
% de proteína				
Observado	-0.05	0.4	0.4	-0.4
Predicho	-0.01	1.1	0.0	-0.7

[a] Los valores observados se basaron en dos ciclos para kg de lisina/ha y % de lisina, y en tres para rendimiento. Los valores predichos son el promedio de tres ciclos.

de los sintéticos se observaron cambios significativos en los porcentajes de aceite y de humedad a la cosecha, o en la densidad.

En un programa de fitomejoramiento, la selección sólo debería basarse en el rendimiento, el porcentaje de lisina o el porcentaje de proteína, dependiendo de las circunstancias. Si la selección sólo se basa en el porcentaje de lisina, los incrementos predichos en porcentaje de lisina varían de 2.3 a 5.2% de la media de la población (tabla 9). Se podrían lograr progresos más rápidos cambiando el sistema de mejoramiento a uno como el de la selección entre familias S_1, donde se aprovecharía más de la variancia aditiva para la selección. Las respuestas predichas correlacionadas sugieren que la selección que se hace sólo para el porcentaje de lisina, resultará en una reducción de rendimiento de 1.0 a 4.0% de la media por ciclo, y en un incremento en porcentaje de proteína de 1.6 a 3.4% de la media por ciclo.

Si las facilidades para determinar el porcentaje de lisina no existen, una alternativa posible sería seleccionar por porcentaje de proteína, debido a que las correlaciones genéticas entre estos porcentajes son altas y la heredabilidad para el porcentaje de proteína es más alta que para el porcentaje de lisina. Si la selección se basa sólo en el porcentaje de proteína la respuesta predicha para porcentaje de lisina es ligeramente más alta en cada sintético que cuando sólo se basa en el porcentaje de lisina (tabla 9). Sin embargo, la reducción para el rendimiento predicho varió de 2.2 a 5.9% de la media por ciclo, cerca del doble de la reducción esperada si la selección estuviese basada en porcentaje de lisina. Los incrementos predichos de porcentaje de proteína variaron de 3.2 a 5.2% de la media por ciclo.

Si los fitomejoradores no cuentan con las facilidades para análisis químicos, la selección basada en rendimiento sólo podría reducir la lisina en menos del 1% de la media de la población por ciclo, excepto en DO-fl_2 (tabla 9). Los incrementos de rendimientos predichos variaron de 7.7 a 12.7% de la media por ciclo,

TABLA 9 Cambio predicho en porcentaje de la media de la población si se basa la selección en el porcentaje de lisina, rendimiento, o % de proteína en cuatro sintéticos modificados en proteína.

	Cambio (% de la media)			
	SSSS-o_2	SSSS-fl_2	DO-o_2	DO-fl_2
Respuesta para:		*Selección basada en % de lisina*		
% de lisina	2.3	5.2	3.0	3.3
Rendimiento	-1.4	-1.0	-1.9	-4.0
% de proteína	1.6	3.4	2.4	2.9
		Selección basada en % de proteína		
% de lisina	2.6	5.3	3.7	4.1
Rendimiento	-3.1	-2.2	-3.5	-5.9
% de proteína	3.2	4.8	3.9	5.2
		Selección basada en rendimiento		
% de lisina	-0.6	-0.3	-0.9	-1.8
Rendimiento	7.7	9.8	8.8	12.7
% de proteína	-1.1	-0.9	-1.3	-2.1

mientras que los incrementos predichos de porcentaje de proteína variaron de 0.9 a 2.1% de la media por ciclo.

Como por lo general las respuestas predichas son mayores que las que se obtienen, particularmente porque las estimaciones de las variancias genéticas en las cuales éstas se basan incluyen cualquier interacción genotipo – medio ambiente, parece posible incrementar el rendimiento en poblaciones de opaco-2 y harinoso-2 con reducciones insignificantes de porcentaje de lisina al seleccionar por rendimiento solamente. De igual manera, la selección por unas pocas generaciones basándose únicamente en el porcentaje de lisina, debería presentar efectos menores sobre el rendimiento. Sin embargo, la selección por porcentaje de proteína, la cual debería dar un incremento en porcentaje de lisina tan grande como el seleccionar solamente por porcentaje de lisina, podría resultar en una apreciable reducción de rendimiento.

Interacción genotipo – medio ambiente

Sólo se dispone de escasos datos sobre la magnitud de la interacción genotipo por medio ambiente para porcentaje de lisina, gL/100 gP y porcentaje de proteína. Seis híbridos opaco-2 que se cultivaron en diez localidades del estado de Illinois en 1969, muestran diferencias significativas entre ellos y entre localidades para estos tres caracteres, pero no para la interacción genotipo – medio ambiente. Las medias para localidades variaron de 0.450 a 0.552, de 4.39 a 4.81 y de 10.2 a 11.9 para porcentaje de lisina, gL/100 gP y porcentaje de proteína respectivamente (tabla 10). Las medias para híbridos, promediadas sobre localidades, variaron de 0.477 a 0.583, de 4.34 a 5.16 y de 10.3 a 11.9 para porcentaje de lisina, gL/100 gP y porcentaje de proteína respectivamente (tabla 11). Para dos híbridos, R801 X R802 y R801 X Oh7N, el porcentaje de lisina fue de 0.5 o mayor en cada localidad en que se cultivaron.

Esta escasa información indica que la interacción genotipo – medio ambiente no es grande, pero que las localidades pueden diferir ampliamente para los tres caracteres. Además, los datos sugieren que sería posible el desarrollo de híbridos que presenten consistentemente porcentajes de lisina superiores a 0.5%.

TABLA 10 Medias para localidades, promedio para seis híbridos opaco-2, crecimiento 1969

Localidad	*gL/100 gP*	*% de lisina*	*% de proteína*
Aurora	4.41	0.450	10.2
Decatur	4.73	0.497	10.5
DeKalb	4.45	0.513	11.5
E. St. Louis	4.39	0.520	11.9
Granville	4.47	0.494	11.0
Jacksonville	4.81	0.552	11.5
Mason City	4.71	0.500	10.6
Momence	4.75	0.518	10.9
Piper City	4.65	0.492	10.6
Urbana	4.77	0.515	10.8

TABLA 11 Medias e intervalo de las medias de diez localidades para seis híbridos opaco-2 cultivadas en 1969

	% de lisina		*gL/100 gP*		*% de proteína*	
	Media	*Intervalo*	*Media*	*Intervalo*	*Media*	*Intervalo*
R802 X Oh7N	0.482	0.467-0.503	4.68	4.35-4.89	10.30	9.68-10.84
R802 X R803	0.477	0.414-0.544	4.34	3.38-4.74	11.06	10.09-12.00
R802 X Oh43	0.478	0.445-0.540	4.91	4.52-5.24	10.44	9.43-11.31
R801 X R802	0.583	0.504-0.640	4.59	4.02-4.88	11.91	11.06-12.37
R801 X Oh7N	0.571	0.503-0.725	5.16	4.51-5.86	11.07	9.93-12.37
Oh43 X W64a	0.440	0.360-0.495	4.02	3.54-4.48	10.97	10.12-11.62

HIBRIDOS OPACO-2 CON ENDOSPERMA VITREO

Los mutantes opaco-2, siempre que cuenten con un fondo genético apropiado, por lo general segregan en un monohíbrido. El opaco-2 es un gene "bueno" en la terminología de los genetistas, debido a que segrega en clases discretas. Sin embargo, en los primeros intentos de mejoramiento se tropezó con problemas de clasificación cuando se presentaba ciertas condiciones genéticas, sobre todo en endocriadas U.S. C103 y tal vez en los linajes relacionadas con T8, aunque sin duda, muchos otros caen en la categoría de "difíciles". Sospechamos que muchos fitomejoradores ignoraron los casos excepcionales y segregantes selectos que se comportaron claramente en la forma esperada.

Los segregantes más duros y vítreos no podrían dejarse por más tiempo de lado, debido a que se ha hecho evidente que las máquinas cosechadoras y los múltiples manipuleos de los granos de opaco-2 los dañan severamente. Si se pudiera mejorar la calidad proteínica de los maíces dentados y cristalinos, la aceptación sería mayor.

Desde 1966, nosotros nos hemos esforzado con la genética del complejo modificador de opaco-2. Se han encontrado varias fuentes independientes de modificadores, especialmente en las endocriadas C103, Mo5 y Va35, y de SynDO-o_2 y SSSS-o_2. Los modificadores, como todos los fitomejoradores de

TABLA 12 Composición de existencias de maíces dentado, opaco-2 corriente y opaco-2 vítreo ($\bar{x}$ de 20 mazorcas)

	Grano entero			*Endosperma*		
	OH43+/+	Oh43o_2/o_2	01716o_2/o_2	Oh43+/+	Oh43o_2/o_2	01716o_2/o_2
Lisina (%)[a]	0.26	0.40	0.49	0.16	0.26	0.31
Proteína (%)	9.74	9.95	13.0	9.32	8.79	10.3
gL/100 gP	2.70	4.04	3.75	1.69	3.02	3.03

[a] Porcentaje basado en materia seca.
Fuente: Nigam (6).

TABLA 13 Composición del endosperma de segregantes F_2 de $Oh43o_2/o_2$ X $01716o_2/o_2$ (vítreo) ($\bar{x}$ de 20 mazorcas)

	Vítreo	*Vítreo parcial*	*Opaco-2 corriente*
Lisina (%)[a]	0.23	0.24	0.25
Proteína (%)	7.91	8.05	7.92
gL/100 gP	2.97	2.99	3.14

[a] Porcentaje basado en materia seca.
Fuente: Nigam (6).

opaco-2 lo saben, producen efectos que varían desde pequeños islotes de almidón duro y vítreos almidón duro de tipo *"saddle"* o "corona" hasta almidones duros, cristalinos y vítreos, virtualmente indistinguibles del maíz convencional. Nosotros hemos desarrollado varios modelos genéticos tentativos, todos ellos insatisfactorios cuando se prueban con mayor cuidado.

Sin embargo, S. K. Nigam, de nuestro laboratorio, ha estado trabajando en un complejo modificador (01716) aislado de DO-o_2, el cual produce granos casi indistinguibles de los dentados regulares, pero cuya calidad de proteína endospermática es similar al opaco-2 corriente (tablas 12, 13). Un modelo aún bajo desarrollo envuelve dos *loci* tentativos, probablemente independientes, en los cuales el genotipo recesivo triple ($o_2o_2o_2$ $vt^1vt^1vt^1vt^2vt^2vt^2$) presenta un endosperma vítreo. Además, se sabe que uno o ambos de los *loci* modificadores presentan dosificación. Dos dosis de alelos recesivos en los supuestos dos *loci* producen endosperma vítreo. Dos dosis de los alelos dominantes, posiblemente de ambos *loci,* originan un clásico endosperma opaco-2 blando, aunque en algunas poblaciones segregantes, se presentan pequeñas islas de almidón vítreo.

Es probable que en el maíz existen otros modificadores, no alélicos a los considerados por Nigam, y que la conversión de variedades, sintéticos o endocriadas hará que se descubran más de ellos. Esto no sería un cambio de eventos particularmente sorprendente para los genetistas de maíz, quienes han modificado otros genes mutantes simples en sus estudios y han encontrado fondos genéticos en los cuales los alelos llegan a ser difíciles de clasificar. Entonces, si el endosperma blando opaco-2 es una "aberración", que sólo aparece si existen modificadores específicos en la célula, la creación de un caudal genético que contenga varias existencias de opaco-2 modificado y un germoplasma deseable, parece ser aconsejable. De este modo, el mejoramiento genético de maíces de alta calidad proteínica se debería basar en esquemas poligenéticos típicos y el resultado serían maíces con características de cristalinos o dentados.

Es una tentación para los mejoradores de maíz asumir que el rendimiento más bajo del maíz opaco-2 clásico está asociado con la menor densidad de su endosperma, y que el tipo cristalino, tal como el linaje 01716 de Nigam, tendrá su rendimiento más alto que los opaco-2 ordinarios. Nosotros tenemos una gran reserva acerca de asumir esta conclusión ahora. En los primeros trabajos, en tres

sintéticos opaco-2 encontramos que el rendimiento por planta y la densidad del grano eran independientes. Se puede admitir que los sintéticos no contenían complejos modificadores en la frecuencia que pudieran afectar apreciablemente las correlaciones, por tanto, la interrogante acerca de la relación entre densidad y rendimiento permanece sin contestar en nuestra investigación.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

1. Para la zona de maíz de EE.UU. se han desarrollado híbridos opaco-2, a partir de linajes derivados de cruzas reversivas. El rendimiento y otros caracteres agronómicos de dichos híbridos son aceptables.
2. Debido a los niveles generalmente menores de lisina, el gene harinoso-2 es inferior al opaco-2 como herramienta para mejorar la calidad proteínica del maíz.
3. Dos ciclos de selección para producción de lisina por hectárea en dos sintéticos opaco-2 y dos sintéticos harinoso-2, aumentaron dicha producción y el rendimiento sin cambiar el porcentaje de lisina (en el grano entero), el porcentaje de proteína o gL/100g de proteína.
4. De las respuestas predichas calculadas de tres ciclos de selección en dos sintéticos opaco-2 y dos sintéticos harinoso-2 se desprende que:

   a) Si sólo se selecciona el rendimiento, se podrían reducir ligeramente los porcentajes de lisina y de proteína.
   b) Si sólo se selecciona el porcentaje de proteína, se podría incrementar el porcentaje de lisina tan rápidamente como si se seleccionara el porcentaje de lisina, y se podría reducir el rendimiento en aproximadamente 3% por ciclo.
   c) Si sólo se selecciona el porcentaje de lisina, se podría incrementar el porcentaje de lisina y reducir el rendimiento a la mitad de cuanto se logra cuando la selección es por porcentaje de proteína, e incrementar el porcentaje de proteína.

5. El complejo genético modificador existe, lo cual permitirá desarrollar homocigotos opaco-2 con alta lisina y granos duros. El desarrollo de tales tipos no es necesario para proveer híbridos opaco-2 útiles para el mercado de los EEUU, aunque ellos serían menos dañados por las máquinas cosechadoras y el subsecuente manipuleo y, por tanto, preferidos.

(En la sección de *Pregunas y Respuestas*, se puede encontrar un análisis de esta ponencia).

BIBLIOGRAFIA

1. Alexander, D. E. 1966. Problems associated with breeding opaque-2 corns, and some proposed solutions. Proc. High Lysine Corn Conf. Corn Refiners Assn., Inc., Washington, D.C.

2. Dudley, J. W., R. J. Lambert y D. E. Alexander. 1971. Variability and relationships among characters in *Zea mays* L. Synthetics with improved protein quality. Crop Sci., 11:512-514.
3. Feist, W. A. y R. J. Lambert. 1970. Changes in six different opaque-2 genotypes of *Zea mays* L. during successive generations of backcrossing. Crop Sci., 10:663-665.
4. Lambert, R. J., D. E. Alexander y J. W. Dudley. 1969. Relative performance of normal and modified protein (opaque-2) maize hybrids. Crop Sci., 9:242-243.
5. Lonquist, J. H. 1964. A modification of the ear-to-row procedures for the improvement of maize populations. Crop. Sci., 4:227-228.
6. Nigam. Inédito.
7. Obi, I. U. 1971. Comparison of lysine determinations in *Zea mays* L. with modified TNBS colorimetric method. M.S. thesis, University of Illinois.

Parte IV

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ: ASUNTOS Y PROBLEMAS ACTUALES

Virgilio R. Carañgal*

Muchas nuevas variedades vegetales desafían a los fitomejoradores de hoy día como resultado de la identificación de un factor de alta calidad proteínica por parte de E. T. Mertz, O. F. Nelson y L. S. Bates en 1963. Estos materiales, si se utilizan apropiadamente, tienen el potencial para resolver la necesidad mundial de una fuente barata de proteína de alta calidad, particularmente en los países tropicales y subtropicales donde el maíz se emplea como alimento humano.

Numerosos programas de mejoramiento de maíz en todo el mundo, han incorporado un mayor contenido de lisina a las variedades o híbridos adaptados. Sin embargo, la simple conversión del maíz normal a tipos de maíz opaco-2 o harinoso-2 no es, ni debe ser, nuestro principal objetivo. Nuestra meta final debe ser la aceptación cabal de este nuevo tipo de maíz por los productores y los consumidores.

Esta meta se puede lograr si superamos algunas de las características indeseables asociadas con el maíz opaco-2 y con el harinoso-2, y si los podemos hacer comparables a mejores que las actuales variedades e híbridos de maíz normal. La información disponible señala que el rendimiento generalmente se reduce con la incorporación del gene opaco-2 o del gene harinoso-2 a los maíces de tipo normal. Varios fitomejoradores han reportado una disminución media de 10% en el peso del grano. La disminución del rendimiento parece estar asociada con la baja densidad del grano y con los gránulos de almidón, poco compactos que producen la opacidad característica de estos maíces de alta calidad proteínica.

* College of Agriculture, University of The Philippines, College, Laguna, Filipinas.

Los fitomejoradores disponen de varias alternativas para aumentar el rendimiento del maíz opaco-2. Hay indicaciones de que la reducción de rendimiento resultante de incorporar el gene opaco-2 al maíz normal varía con las condiciones genéticas. Por tanto, se pueden mejorar los rendimientos del maíz de alta calidad proteínica mediante la incorporación del gene opaco-2 en distintas condiciones genéticas. J. Singh, de la India, informó de varias poblaciones de opaco-2 con rendimiento y peso del grano superiores. De igual manera, J. W. Dudley, de la Universidad de Illinois, reportó algunos híbridos de opaco-2 que rindieron tanto como los híbridos comerciales. En las poblaciones desarrolladas por el CIMMYT y algunos programas nacionales se puede encontrar suficiente variabilidad genética para hacer posible el mejoramiento. Con diferentes enfoques genotécnicos podemos mejorar las poblaciones de opaco-2.

Otro medio de mejorar el rendimiento y aún la textura, es el de aprovechar los genes modificadores que afectan el fenotipo del endosperma del maíz opaco-2. La modificación involucra la aparición de cantidades variables de una fracción cristalina o dura en un endosperma suave y harinoso. Una fracción cristalina mejora el peso y la textura del grano. Los estudios indican que el carácter modificado es hereditario y se puede fijar en la producción mediante técnicas genéticas apropiadas.

Los análisis químicos del grano indican que es posible que una sola línea tenga un buen peso del grano y calidad proteínica superior. Los esfuerzos del CIMMYT y de los programas nacionales de los países tropicales se concentran ahora en el desarrollo de variedades de alta calidad proteínica con endosperma duro. Algunos de estos trabajos se presentaron en el simposio.

La aceptación del maíz opaco-2 y harinoso-2 es uno de los principales problemas, especialmente en los países donde los agricultores están acostumbrados a sembrar variedades o híbridos blancos o amarillos cristalinos. En las Filipinas, por ejemplo, el maíz se usa primordialmente para el consumo humano en forma de sémola gruesa. Con el maíz opaco-2 el rendimiento en el molino es muy bajo. Por ello, nuestros esfuerzos se concentran en el desarrollo de materiales de endosperma duro y de alta calidad proteínica.

No se han estudiado con suficiente detalle otros efectos del gene opaco-2 y del gene harinoso-2 en la planta. Se dice que los granos de opaco-2 son mucho más vulnerables a los insectos y patógenos de los granos almacenados. Esto se basa en que el maíz opaco-2 tiene granos más suaves y harinosos, en comparación con los granos más duros y vítreos del maíz normal. Los problemas de este tipo son mayores en los trópicos húmedos, debido a los gorgojos y a los mohos del maíz (especies *Aspergillus* y *Penicillium*). Sin embargo, algunos materiales opaco-2 modificados muestran resistencia comparable a la de sus contrapartes normales. En la ponencia presentada por Alejandro Ortega, del CIMMYT, se analizará este tema. Se dispone de fuentes de resistencia a varias plagas y enfermedades, y mediante los procedimientos apropiados se les puede incorporar al maíz opaco-2.

Otra desventaja del maíz opaco-2 que se ha mencionado es su lenta tasa de secado. Se dice que las mazorcas de opaco-2 deben permanecer en el campo por más tiempo que las mazorcas normales, y que por ello están más expuestas al ataque de plagas y enfermedades. Las diferencias genéticas podrían producir diferencias en la tasa de secado. Si tales diferencias existen, habrá de ser posible

para nosotros seleccionar las poblaciones de opaco-2 que secan más rápidamente. David Sperling discute este tema en su presentación.

He tratado de enumerar algunas de las características deseables que debe poseer el maíz opaco-2 para ganar la aceptación universal. Es evidente que la mayor calidad proteínica, si bien muy deseable, no garantiza por sí sola la aceptación. Cuando un agricultor escoge un cultivo, la ganancia es todavía su preocupación principal. Por tanto, debemos hacer que el maíz opaco-2 o cualquier otro maíz de calidad proteínica superior satisfaga los criterios del productor y del consumidor.

La principal tarea que confrontamos es incorporar los caracteres deseables que harán al maíz de alta calidad proteínica más aceptable, porque sólo entonces se podrá utilizar cabalmente el beneficio del mutante opaco-2. Después de ver el contenido de las ponencias presentadas en el simposio, pienso que esta meta está a nuestro alcance.

SISTEMAS RAPIDOS DE FITOMEJORAMIENTO PARA CREAR VARIEDADES CON ALTA CALIDAD PROTEINICA

E. C. Johnson*

El propósito del fitomejoramiento es desarrollar variedades de plantas que se adecúen mejor a las necesidades alimentarias y de vestido del hombre. Las necesidades humanas cambian continuamente, de manera que el fitomejoramiento constituye una parte integral del proceso continuo del desarrollo agrícola. Cuando analizamos con ojo crítico los elementos que intervienen en el proceso éstos parecen integrar un patrón en el que son interdependientes.

Enfoque 1. La población mundial, que crece con rapidez, cada día necesita más alimentos y los cambios en la dieta, el proceso, almacenamiento y preparación de los alimentos al ritmo en que se desarrollan la ciencia y la tecnología, significan cambios en las características de calidad de los diferentes cultivos alimenticios.

Enfoque 2. A medida que avanza la mecanización agrícola, las plantas cultivadas deben ser de tamaño y madurez más uniforme, más aptas para el manejo mecánico, etc. La demanda de más alimentos implica la necesidad de aumentar la producción por unidad de superficie y de usar fertilizantes para obtener rendimientos más altos, de sembrar cultivos en secuencia a fin de utilizar la tierra de manera más eficiente y de utilizar variedades que respondan a los fertilizantes y a las prácticas de manejo intensivo.

* CIMMYT, México.

Enfoque 3. A medida que la población crece, mayor número de terrenos se utilizan para construir caminos, edificios y para otros propósitos no agrícolas. Por consiguiente, una mayor población implica menos tierra de cultivo disponible.

Enfoque 4. Surgen consideraciones todavía más complejas debido a la preocupación de la gente por la conservación del medio ambiente del mundo. Surgen presiones contra el uso de los fertilizantes, las insecticidas y otros productos químicos que ayudan a obtener mayor rendimiento en los cultivos. A medida que estas presiones restringen o cambian los productos químicos que pueden usarse, se deben desarrollar variedades de cultivos aptos para producir dentro de las prácticas de "protección vegetal" permitidas.

Enfoque 5. Conforme se desarrollan variedades de plantas que responden a los fertilizantes y dan mayores rendimientos, los microambientes del predio donde se siembran estos cultivos se modifican debido a la mayor densidad de las poblaciones de plantas. Esto a su vez altera la naturaleza de los problemas de insectos y enfermedades de estos nuevos ambientes (4). Por lo general, el crecimiento más denso del cultivo significa más problemas de insectos y enfermedades y, por consiguiente, se necesita mayor control químico, o los cultivos deberán ser más variados a fin de tenerlos controlados.

Enfoque 6. La preocupación por la calidad nutricional de los cultivos comienza a ser ahora una consideración muy importante. El hombre necesita consumir ciertas cantidades mínimas de una amplia gama de aminoácidos complejos, vitaminas y otros compuestos, a fin de crecer y de mantenerse normal y saludable. La mayoría de la población humana tiene dietas inadecuadas debido al alto costo o a la indisponibilidad de los alimentos apropiados. Es posible lograr un mejoramiento substancial de la nutrición de grandes sectores mediante el desarrollo de variedades de cultivos que contengan un mejor balance de atributos nutricionales. El maíz opaco-2 es uno de éstos.

Enfoque 7. Se despertó gran interés y entusiasmo con el descubrimiento, en la Universidad Purdue (13), de la relación que existe entre los mutantes genéticos opaco-2 y harinoso-2 y el contenido relativo de lisina y triptofano en el grano de maíz. Su contribución potencial a la nutrición humana representó un nuevo concepto sobre cómo confrontar el creciente problema alimentario del mundo.

Enfoque actual. Nuestra presencia en este simposio es una evidencia de la continua preocupación por lograr mayor calidad nutricional en nuestros cereales, especialmente en lo que concierne al maíz. Nuestro interés no sólo es evaluar del avance conseguido hasta ahora en la utilización del grano de alta calidad proteínica, sino también revisar con serenidad las dificultades y limitaciones que se encuentran, y tal vez plantear nuevas ideas sobre cómo proceder de ahora en adelante.

VARIABILIDAD: CONCEPTO BASICO

Vemos entonces que el fitomejoramiento es un proceso sin fin cuyo propósito es adecuar las plantas para que sirvan mejor a las necesidades humanas y de aprovechar la variabilidad de nuestras plantas cultivadas. Los seres vivientes se

caracterizan por ser variables. Esto quiere decir que los individuos que forman parte de un grupo de cualquier especie viviente varían entre sí en todo tipo de atributos menores. En algunos casos estas diferencias son obvias como ocurre en el caso de los granos de maíz blancos y amarillos. En otros, las diferencias deben expresarse sobre una escala de medición de algún tipo y pueden ser casi imperceptibles. Ejemplos de este tipo de diferencias las constituyen la altura de la planta, la maduración, la resistencia al acamado y otras muchas características cuyas distribuciones forman curvas continuas de pequeñas diferencias. Las plantas individuales pueden caracterizarse por una amplia gama de atributos tales como altura, maduración, color de la semilla, color de la flor, resistencia a insectos y enfermedades, anchura de las hojas, número de hojas, contenido de proteína, contenido de azúcar, rendimiento y muchos otros más, limitados sólo por la habilidad para ennumerarlos y para medirlos. El concepto de variabilidad genética es un requisito para entender el fitomejoramiento, y éste no será posible si no hay variabilidad genética. Las diferencias genéticas constituyen los ladrillos con que se "construyen" las nuevas variedades. El fitomejoramiento se basa en la habilidad para detectar y medir las diferencias genéticas (6).

¿Diferencias genéticas o ambientales?

Un organismo se desarrolla dentro de los límites de su potencial genético hasta el grado en que el medio ambiente lo permita. Si las diferencias observadas en ciertos atributos son el resultado de factores ambientales, no se podrá esperar que esas diferencias sean transmitidas a la progenie de tales individuos. Por tanto, es esencial que se puedan distinguir las diferencias genéticas de las diferencias causadas por factores ambientales.

Se han planteado muchos esquemas diferentes de mejoramiento para combinar diferencias genéticas en las nuevas variedades de los cultivos, todos los cuales se basan en la habilidad para distinguir y medir esas diferencias genéticas (10). Cualquier procedimiento o método de mejoramiento que permita esto, hará posible producir nuevas y diferentes variedades de plantas.

Nueva dimensión

Nuestra conferencia trata sobre una nueva e intrigante dimensión del fitomejoramiento, puesto que a la multitud de problemas concernientes a las características agronómicas, se ha añadido el problema de la calidad proteínica junto con una apariencia modificada del grano de maíz.

El mecanismo genético de un atributo dado puede consistir de uno, dos, tres o más genes. Se han reportado innumerables estudios sobre plantas cultivadas que se refieren a la estimación de cuántos genes pudieran estar implicados en la determinación de atributos identificables (2, 4, 6, 8, 14, 15, 16, 18). A las características determinadas por un solo gene con frecuencia se les llama genes mayores con diferencias grandes o acentuadas muy fáciles de identificar entre los individuos, lo cual hace posible una clasificación rápida con respecto a las clases

que se presentan para ese carácter. Tal es el caso del mutante opaco-2, que segrega a la razón clásica de tres a uno. Al leer las publicaciones respecto a estos caracteres determinados por un gene o por pocos genes, se detecta una tendencia interesante y reveladora en casi todos los casos.

Casi invariablemente los autores de estos estudios incluyen un comentario en el cual sugieren la presencia de "genes modificadores" los cuales alteran las razones esperadas o bien hacen difícil la clasificación de cuáles han sido directas. Respecto al maíz, se ha compilado una larga e impresionante lista de caracteres genéticos cuya herencia es de razones relativamente simples (1, 5, 14, 18). Sin embargo, al vislumbrar la combinación de la resistencia digamos a *Puccinia sorghi, Helminthosporium turcicum, Ustilago maydis* y tal vez uno o dos caracteres más de herencia simple, el cuadro comienza a complicarse. Conforme se añade cada gene simple, se requiere una población cuatro veces mayor a fin de recuperar las recombinaciones deseadas en las progenies segregantes que resultan de las fuentes de intercruzamiento de estas características.

Aceptabilidad

A menudo, se dedican esfuerzos considerables al aislamiento de un rasgo particular de tolerancia a una cierta enfermedad o insecto, o a la demostración de que un cierto procedimiento permite modificar un carácter seleccionado, pero mientras tanto se ignoran todos los demás atributos. Con frecuencia el único factor considerado en la selección es el de rendimiento, en tanto que se soslayan otras características económicas importantes requeridas para que una variedad sea aceptada por el agricultor. Los agricultores desean variedades con tantas características deseables como sea posible, que ellos puedan sembrar y que les den una mejor producción. A los agricultores no les interesa que una variedad resista cierta enfermedad o insecto si se cae al suelo o no rinde tanto como la variedad que ha sembrado antes. Por ello hay que hacer variedades que sean realmente superiores a las disponibles y que se adapten mejor a las necesidades del agricultor.

Programas de fitomejoramiento

Para lograrlo es necesario decidir la manera con que se deben mejorar las variedades y luego emprender el trabajo correspondiente. El primer paso al iniciar un programa de mejoramiento es definir los objetivos. Esto significa que las características de resistencia a las enfermedades y a las plagas de una región dada se deben ennumerar, a la vez que se incluyen las características de adaptación a las condiciones ecológicas. También significa que las variedades que se van a desarrollar deben ajustarse al período de crecimiento disponible, en caso de que éste quede limitado por factores ecológicos por las prácticas de rotación de cultivos. En el caso de objetivos más específicos, como por ejemplo el desarrollo de maíces opacos con endosperma duro, habrá que añadir esta otra meta.

El segundo paso consiste en seleccionar los materiales con los cuales se va a trabajar. Sea que se proceda a trabajar con el carácter opaco-2, con el mutante harinoso-2 o con alguna otra variable genética, es esencial que se incluya la fuente apropiada de material genético. Hay que utilizar el mejor material genético disponible para una región dada. Cualquier programa de fitomejoramiento que se base en el uso de germoplasma inferior conocido introduce desventajas innecesarias. Probablemente el paso más significativo que se toma para lograr la formación de variedades superiores en la selección de los materiales apropiados para comenzar a trabajar. Se pueden perder años en desarrollar materiales hasta el punto en que se puedan distribuir.

Tanto como sea posible, hay que tratar de combinar en los materiales con que se trabaja todas los características deseables que se han contemplado como típicas de las variedades o híbridos proyectados. Una fase continua de todos los programas de fitomejoramiento debe ser la evaluación de los materiales de posible inclusión en el programa.

En todos los casos hay que asegurar amplia variabilidad genética antes de emprender cualquier esquema de selección. Si en el programa de selección se van a utilizar dos o más variedades con determinadas características, éstas deberán cruzarse y mezclarse por varias generaciones antes de que se imponga cualquier presión de selección. Un concepto básico en cualquier programa de mejoramiento a largo plazo es el de acrecentar el nivel de comportamiento de las poblaciones como tales, independientemente de si se van a desarrollar híbridos o no. De importancia fundamental en el mejoramiento de poblaciones son, (1) el uso de un número de plantas de entre las cuales se pueda seleccionar, y (2) el uso de procedimientos de selección recurrente que puedan requerir de muchos ciclos sucesivos de selección para lograr las combinaciones deseables de caracteres. La importancia de reconocer la existencia de sistemas multigénicos complejos que determinan las características de las plantas no puede pasarse por alto (3, 4, 6, 7, 8, 15, 16, 17). El crecimiento de la planta de maíz y su cosecha de productos aprovechables implica una serie muy compleja de procesos químicos cuyo tipo, intensidad, secuencia y puntos de detención pueden modificarse, dependiendo del complemento genético que contiene la planta.

Criterios importantes

Probablemente, uno de los defectos más serios de las variedades de maíz tropical es el de un crecimiento excesivo de la planta. El defecto puede ampliarse para incluir el de la relación de grano producido con la materia seca total de la planta. Desde el punto de vista del manejo intensivo de una planta cultivada, la altura excesiva es indeseable. Por otra parte, hay que considerar la resistencia a las enfermedades de campo (como las que causan las especies *Helminthosporium* y *Puccinia*), otras enfermedades foliares y pudriciones del tallo y de la mazorca. También hay que considerar los insectos que se alimentan de las hojas y que perforan los tallos así como las interacciones de insectos y enfermedades. La ecología biológica de la producción de maíz en las regiones tropicales es rigurosa y compleja. Los programas de fitomejoramiento deben ser lo suficientemente

amplios como para tratar efectivamente con una gran cantidad de características de la planta. No es suficiente considerar una sola característica por sí misma si se van a desarrollar variedades mejoradas. El propósito de este análisis es considerar un programa de mejoramiento orientado hacia el desarrollo de variedades o poblaciones con mejores características agronómicas y con una adaptación tan amplia como sea posible y práctica. Las características seleccionadas como de alta prioridad, son: 1) menor altura de la planta; 2) resistencia a las especies *Helminthosporium*; 3) resistencia a las especies *Puccinia*; 4) resistencia a pudriciones del tallo y de la mazorca; 5) resistencia o tolerancia a los insectos perforadores del tallo y a los que se alimentan del follaje; 6) resistencia al acamado; 7) tolerancia a una alta densidad de follaje; 8) mayor rendimiento; y, 9) alta calidad proteínica. Las características mencionadas no se enlistan por orden de prioridad, debido a que no se puede seleccionar con respecto a todas y cada una con igual intensidad en una siembra dada. Se trata de criterios importantes para que se consideren simultáneamente cuando las condiciones lo permitan, y para que se tomen individualmente cuando las condiciones sean menos favorables para la selección. Además, conforme se modifica una característica determinada, se acentuará otra que sea indicada o deseable.

Tanto como sea posible, se dará mayor preferencia a la resistencia generalizada que a las resistencias de un solo gene. La historia bien conocida de las razas de roya del trigo y la búsqueda infinita de otro gene que confiera resistencia a una nueva raza de roya, es un ejemplo claro de la razón por la cual se prefiere la resistencia generalizada tanto a las enfermedades como a los insectos. El logro de niveles aceptables de resistencia se concibe como posible sólo mediante la realización de pruebas bajo diferentes condiciones ambientales y después de ciclos repetidos de selección y recombinación. Los materiales que se van a desarrollar se tendrán que escoger principalmente de entre aquéllos que ya son importantes en su uso comercial y que poseen niveles de productividad razonablemente buenos. Habrá que establecer un intercambio continuo de materiales con varias regiones del mundo, a fin de localizar las características deseables.

Se supone que las características ennumeradas para el trabajo prioritario se encuentran bajo control multigénico en la naturaleza, con los genes ampliamente dispersos y una frecuencia relativamente baja (2, 4, 6, 8, 10, 15, 16). También se supone que la acción génica es principalmente aditiva. Quizá se necesiten de varios a muchos ciclos de selección para modificar materialmente la expresión de una característica determinada, puesto que se debe considerar más de un carácter a la vez en el programa de mejoramiento.

La frecuencia relativamente baja de genes que se supone para las características bajo selección implica la necesidad de numerosas plantas en el proceso de selección. Un aspecto importante de esto es asegurar la iniciación de cualquier programa de selección sobre una base genética de amplitud adecuada. Muchas de las colecciones del banco de germoplasma de maíz se formaron originalmente con unas cuantas mazorcas, y esto constituye una limitación en el avance de la selección debido precisamente al tamaño limitado de la muestra. Se deben aplicar esquemas a los compuestos de dos o más muestras de variedades.

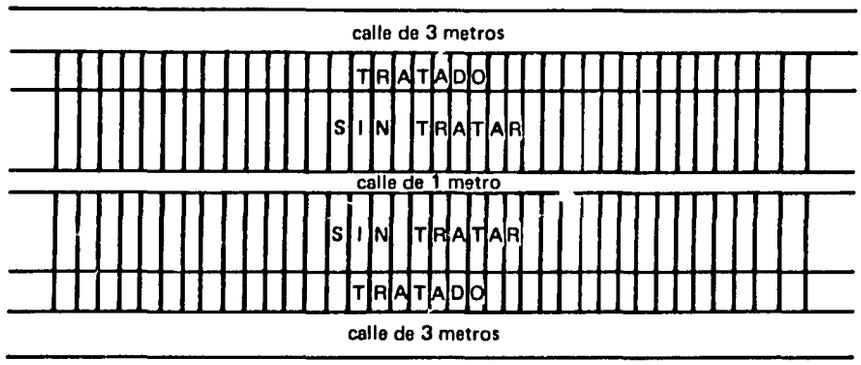
Para cualquier característica, dos individuos pueden presentar igual expresión de la misma y aún así, pueden contener complementos genéticos que

difieran con respecto a una misma característica. En otras palabras, cada uno de ellos pudiera contener el mismo número de factores genéticos aditivos pero tomar muy pocos o ninguno idénticamente en común. En una población heterocigota de maíz, al cruzarse esos dos individuos pueden dar una gama de individuos en la progenie, que difieren en esa característica tanto hacia arriba como abajo del nivel presentado por los dos progenitores en particular.

PROCEDIMIENTO

Es obvia la imposibilidad de revisar en poco tiempo las numerosas metodologías de mejoramiento. Por ello, y para el propósito de este análisis, se describirá brevemente un procedimiento junto con algunas variaciones posibles. Aunque el método que se va a presentar se elaboró principalmente para modificar la altura de la planta, también se puede utilizar para modificar otros caracteres. Inicialmente se acentuará mucho la reducción de la altura de la planta. El método que aquí se escogió para seleccionar con respecto a plantas de menor altura también permite gran flexibilidad en seleccionar por otras características durante cada ciclo. Cada vez que el cultivo madura se completa un ciclo de selección. El procedimiento que se utiliza es básicamente el de la selección de hermanos completos.

Los surcos de familias de hermanos completos se definen como aquéllos que resultan de la cruza de dos plantas individuales de manera que todos los individuos que se siembran en el surco de la progenie tienen progenitores comunes. Para iniciar el proceso se pueden usar mazorcas resultantes de polinización libre, pero también se pueden emplear polinizaciones a mano en la población que se va a modificar. Se usa un gran número de surcos de familias de



Sólo trátase una parte de cada surco con insecticidas (ver diagrama)
Las líneas representan surcos de familias

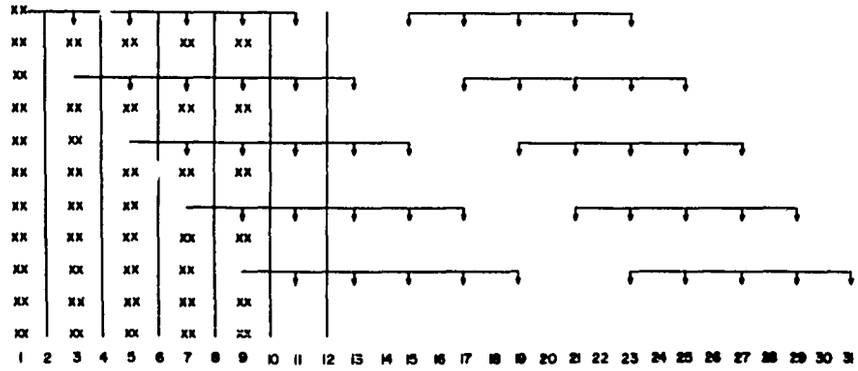
FIGURA 1 Bosquejo del procedimiento para incluir la resistencia a insectos como parte del criterio de selección en el ensayo.

hermanos completos para representar una población, y la selección se lleva a cabo entre las familias y dentro de ellas.

Arbitrariamente se considera un número adecuado entre 400 y 500 surcos. Cada mazorca se siembra en un surco de 5 metros. Los surcos se arreglan en rangos dobles con una calle de 1 metro de ancho que separa los rangos, y con rangos dobles separados por calles de 2 metros o más de ancho. Se aplica insecticida granulado pra proteger los 3 ó 4 montículos que quedan adyacentes, en cada surco, a las calles anchas. La porción central del rango doble no recibe tratamiento con insecticida (figura 1).

Todo el ensayo se inocula artificialmente con los patógenos apropiados con respecto a la localidad y a la época del año. Los tallos son inoculados con pudriciones del tallo, y se asperjan suspensiones de patógenos de pudriciones de la mazorca sobre los estigmas de la mazorca en desarrollo. Conforme se desarrollen nuevas técnicas de infestación con insectos y de infección con enfermedades, éstas se utilizarán.

En cada ciclo se utiliza aproximadamente la mitad de los surcos de cada familia para ser polinizados (figura 2). Inmediatamente, tan pronto como sea posible después de la polinización, se hace una selección visual rápida. Una cierta forma de estimación de "promedio movible" se emplea para marcar los surcos que presentan un comportamiento promedio o superior para el carácter bajo selección. Cada surco que se selecciona de esta manera como una familia, se sujeta entonces a una selección de planta individual dentro de la familia. Luego, alrededor de cinco plantas individuales seleccionadas en cada surco se cruzan con



Las familias se siembran en surcos de números consecutivos (arreglados aleatoriamente al tiempo de la cosecha anterior)

Las líneas y flechas indican que cada familia seleccionada se cruza con otras 5 familias.

Aproximadamente la mitad de las familias se usan en cruzas (indicadas por las cruzas hechas únicamente con surcos alternos)

FIGURA 2 Diagrama esquemático del patrón de cruzamiento entre familias escogidas en la selección continua de hermanos completos.

otras plantas seleccionadas de manera semejante en otros surcos; es decir, cada planta con un surco diferente. Esto da como resultado aproximadamente dos y media veces el número de polinizaciones individuales que el número de surcos existentes. Es obvio que al tiempo de la polinización se pueden evitar las familias, con enfermedades, o las que se acaman, o son muy altas o muy tardías, o que poseen tipos indeseables. Tanto como sea posible, se debe hacer la polinización utilizando plantas que se encuentran en la porción del surco que no fue tratada con insecticidas.

Un número de dos y media veces más polinizaciones que surcos existentes ofrece un margen razonable con respecto a pérdidas debidas a polinizaciones inadecuadas y a otras fallas de diverso tipo en el campo, además que ofrece la oportunidad de seleccionar el tiempo de la cosecha. Todos los surcos de las familias se cosechan completamente, y las mazorcas polinizadas se colocan sobre las bolsas de polinización en la cabecera de cada surco. De esta manera es visible la producción total de todos los surcos, junto con las plantas que la originaron. De nuevo, mediante el concepto de "promedio movible" se juzga a las familias sobre la base de producción, pudriciones de la mazorca, pudriciones del tallo y daños de insectos. Las familias de comportamiento pobre y sus cruzamientos se descartan en la medida en que de nuevo se mantengan aproximadamente el mismo número de mazorcas que se usó en el ciclo previo. Si al tiempo de la cosecha ciertas familias no incluidas en las polinizaciones muestran ser particularmente deseables, se pone semilla de reserva de ellas como surcos en el ciclo siguiente. De esta manera, se practican dos selecciones separadas cada vez que se siembra el material: en la época de floración y al tiempo de la cosecha. En ambas ocasiones, la familia es la base de la selección, seguida por la selección de plantas individuales dentro de la familia. Las mazorcas cosechadas que se seleccionan se colocan aleatoriamente y se numeran de manera consecutiva, de modo que sea improbable que en la siembra subsecuente ocurran juntas o cerca cruzas relacionadas. Los sobres que se tienen en el almacén de semilla se marcan debidamente con la cruza de la familia en el ciclo previo, aunque para simplificar las notas, este detalle no se apunta en el libro de campo. Así será posible recurrir a la semilla de reserva y rehacer cualquier cruza de familia con familia que pudiera ser deseable.

Los números que se asignan a las mazorcas cosechadas se utilizan para designar surcos de familias en la siembra subsecuente, de manera que las notas del libro y la lista de la genealogía se mantienen a un mínimo. En cada ciclo se hace la selección y no hay generaciones intermedias "mezcladas". El proceso es continuo. En la tabla 1 se muestran los datos preliminares de este procedimiento utilizado para reducir la altura de la planta después de varios ciclos de selección.

Las tendencias de reducción de la altura de la planta y la respuesta en términos de acamado y de maduración se ilustran en la figura 3. Es obvio que se registró un cambio considerable en la altura de la planta. Igualmente significativa es la tendencia del rendimiento que se registraron, puesto que las pruebas se llevaron a cabo utilizando las densidades estándares de 45 000 plantas por hectárea. La menor altura de la planta permitirá un manejo más intensivo de un cultivo con mayor densidad y aplicaciones mayores de fertilizantes, lo cual dará un mayor rendimiento.

TABLA 1 Rendimiento en kg/ha y mediciones de características agronómicas después de ciclos de la selección en tres poblaciones de maíz. (Datos combinados de dos ciclos de cultivo. Poza Rica, Veracruz, 1971)

Número de tratamiento	*Genealogía*	*Ciclo*	*Días de floración*	*Altura*		*Acamado*[a]		*Número de mazorcas*[b]	*Rendimiento kg/ha*	*% sobre el testigo*
				Planta (cm)	*Mazorca* (cm)	*Raíz*	*Tallo*			
1	Tuxpeño Crema I Pl. Baja	C_0	73	291	161	3.8	2.0	30	3,691.5	88.6
2	Tuxpeño Crema I Pl. Baja	C_3	71	273	143	3.0	1.8	33	3,717.6	88.4
3	Tuxpeño Crema I Pl. Baja	C_5	69	248	127	1.8	1.5	35	3,915.9	92.5
4	Tuxpeño Crema I Pl. Baja	C_7	66	229	114	1.8	1.3	37	4.286.6	101.4
		$\bar{x}$	70	260	136	2.6	1.7	34	3,902.9	92.2
5	Eto Blanco Pl. Baja	C_0	70	243	123	2.8	1.6	28	3,818.2	82.6
6	Eto Blanco Pl. Baja	C_1	67	238	114	2.2	1.5	31	3,218.5	72.3
7	Eto Blanco Pl. Baja	C_3	66	228	114	1.9	1.2	35	3.122.2	71.7
8	Eto Blanco Pl. Baja	C_6	65	210	110	1.8	1.4	37	3,415.7	78.7
		$\bar{x}$	67	230	114	2.2	1.4	33	3,343.7	76.3
9	(Mix 1 X Col. Gpo. 1) Eto. Bl.	C_0	69	259	144	2.6	1.8	34	3,748.7	88.1
10	(Mix 1 X Col. Gpo. 1) Eto. Bl.	C_1	68	246	127	2.2	1.6	34	4,088.0	95.7
11	(Mix 1 X Col. Gpo. 1) Eto. Bl.	C_2	66	235	117	1.8	1.8	37	4,497.1	104.3
12	(Mix 1 X Col. Gpo. 1) Eto Bl.	C_4	65	212	104	1.2	1.4	37	4,000.1	92.5
		$\bar{x}$	67	238	123	2.0	1.5	36	4,082.2	95.2
13	Tuxpeño Cr. 1 SM Inv.	C_5	72	296	161	3.4	2.0	32	3,778.6	88.9
14	Eto Blanco SM	C_5	67	259	129	2.7	1.9	33	3,400.4	79.8
15	(Mix 1 X Col. Gpo. 1) Eto Bl.	C_8	60	274	145	3.3	1.9	35	4,042.3	96.5
16	H. 507 (Comprobar)		72	262	147	2.4	1.7	33	4,270.0	100.0
		x	70	273	146	3.0	1.9	33	3,872.8	91.3

[a] El acamado se mide con la escala visual de 1 a 5, siendo 1 equivalente a desacamado.

[b] El número de mazorcas, se refiere al total de mazorcas cosechadas de una población perfecta de 40 plantas.

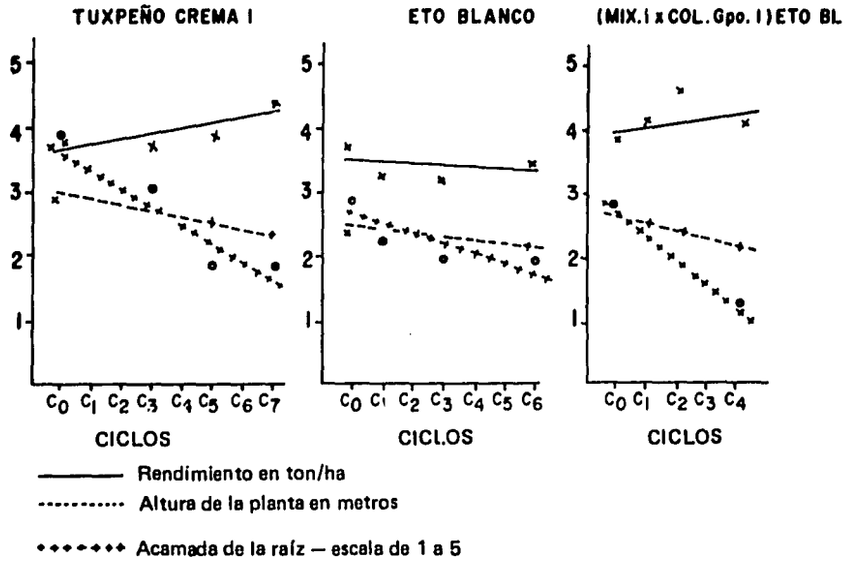


FIGURA 3 Respuesta a la selección por altura de planta y los efectos sobre el rendimiento de grano y acame a partir de la raíz en 3 poblaciones de maíz.

ANALISIS

Al considerar una variedad de maíz, se la puede concebir como una población de plantas individuales, cada una de las cuales es el resultado de un cruzamiento entre dos gametos que muy probablemente fueron producidas por dos plantas diferentes. Por consiguiente, se puede pensar que cada planta es un híbrido y que la variedad es una población de plantas híbridas. En la medida en que la presión de selección sea efectiva para favorecer o discriminar contra ciertos genotipos, la frecuencia de los genes será modificada. Esto es precisamente lo que se trata de lograr en el fitomejoramiento, de modo que son deseables procedimientos que permitan hacer esto de la manera más rápida, sencilla y fácil que sea posible.

Cuando se desgranan juntas varias mazorcas, la siembra que se hace con esa mezcla contiene una distribución aleatoria de la progenie. Cuando los granos de mazorcas individuales se siembran juntos en un surco, las plantas quedan arregladas en un surco de progenie de individuos relacionados que tienden a parecerse entre ellos debido a esa relación. Por consiguiente los rasgos familiares son reconocibles, y visualmente se pueden distinguir las diferencias sobre la base de la familia, lo cual no puede hacerse en el campo sobre la base de plantas individuales. Las similitudes de los hermanos completos (con padres comunes) son todavía más obvias que las de los medios hermanos (un progenitor común).

El arreglo sistemático en el campo de una variedad sobre la base de surcos con familias de hermanos completos brinda la máxima oportunidad de (1) reconocer

las semejanzas y diferencias, y (2) de hacer cruzas entre las familias que más se aproximan a lograr las metas que se han establecido para que caractericen a la variedad que se está formando. El mantener gran número de familias es una precaución razonable para evitar que la base germoplásmica se estreche rápidamente y para evitar los posibles efectos adversos de la endocriación.

Genéticamente, las familias de hermanos completos son equivalentes a los híbridos convencionales de cruza doble. Entonces, se supone que cada familia tiene casi la misma oportunidad de comportarse de manera semejante, sujeta a la variabilidad del medio ambiente. Utilizando un concepto de promedio movible para altura de la planta y el rendimiento, por ejemplo, junto con la selección de aproximadamente 50% de las familias sembradas, permite que se considere la prueba como un ensayo de rendimiento sin repetición y seleccionar con respecto a altura de la planta en la época de la floración y seleccionar por rendimiento al tiempo de la cosecha. Desde luego, esto puede considerarse como una selección ligera, pero en un período de varios ciclos puede tornarse muy significativa.

La presión de selección por rendimiento se puede aumentar mediante la siembra de ensayos de rendimiento de las mismas familias que entran en la prueba. Estas se pueden sembrar al mismo tiempo que la prueba, o aún antes que ésta, y pueden sembrarse en varias localidades, incluso en otros países. Aquí se tiene gran flexibilidad cuando las siembras no se limitan a un solo ciclo por año. El procedimiento de polinización y selección se puede modificar para hacer 4 ó 5 polinizaciones con cada uno de casi todos los de los ensayos de rendimiento. Si los resultados de los ensayos de rendimiento llegan tarde y no se les puede utilizar como referencia para el ciclo de selección, se puede utilizar la semilla de reserva de manera que se repongan las familias que quizá no se haya incluido en ciclos previos, pero que conviene añadir.

Luego, la selección de cuáles familias se van a incluir en el siguiente ciclo de polinización se puede basar en los resultados obtenidos bajo diferentes condiciones ambientales, y la prueba de variedades se torna en una parte integral del desarrollo varietal. Las mazorcas solas dan suficiente semilla para tener dos repeticiones de parcelas de un surco en 5 localidades. Si se necesita semilla adicional, las polinizaciones pueden hacerse recíprocamente.

Como parte del procedimiento, se sugiere que como mínimo se trabaje simultáneamente con dos o más poblaciones. Nunca debe usarse una sola población. Estas dos o más poblaciones pueden ser variedades originales o compuestos diferentes que se combinen bien como variedades en una cruza varietal, o pueden ser simplemente dos mitades más o menos iguales de la misma población base, que se han seleccionado simultánea pero independientemente y que se han mantenido separadas.

Flexibilidad y usos

El procedimiento bosquejado ofrece gran flexibilidad en el vivero de mejoramiento y un rápido aumento de semilla cuando esto se desea. Sin embargo, no se tienen insectos y enfermedades con la suficiente intensidad y uniformidad como para permitir una buena selección con respecto a resistencia en cada ciclo. Hay que estar preparado para hacer la selección que sea posible en

cada ciclo con respecto a la resistencia para lo cual se tienen buenas infestaciones o infecciones, de manera que permitan la diferenciación de las reacciones de campo. Es importante la intensificación de la selección general mediante la inclusión simultánea de varias características. La capacidad de considerar características visibles al tiempo de la floración y de intercruzar los componentes de la población seleccionados es un medio poderoso para modificar con rapidez tales características identificables visualmente.

No se quiere decir aquí que el procedimiento presentado es el único que se debe usar, ni tampoco se quiere decir que bajo ciertas circunstancias otros procedimientos alternativos no pudiesen ser más deseables.

La selección de mazorca-por-surco modificada con respecto a rendimiento (9) entre familias de medios hermanos es especialmente útil en aquellos lugares donde las bolsas de polinización, implementos y mano de obra limitan el número de polinizaciones a mano que pudieran hacerse. En estos programas hay que desespigar las plantas indeseables de los surcos machos. Un programa de selección de medios hermanos de este tipo puede iniciarse en cualquier ciclo dentro del procedimiento anotado para la selección de medios hermanos.

El procedimiento descrito, la selección de medios hermanos (9) y la selección masal (7) constituyen procedimientos muy convenientes desde el punto de vista del suministro rápido de cantidades relativamente grandes de semilla cuando esto se requiere. Habrá un aumento automático de gran cantidad de semilla en cada ciclo mediante la siembra de lotes aislados de multiplicación.

Para añadir desarrollo de híbridos al procedimiento, se podrían usar dos enfoques. El primero consistiría en formar híbridos crípticos (12) en cada ciclo entre familias seleccionadas de diferentes poblaciones dentro del ensayo regular de mejoramiento de poblaciones. El otro enfoque sería seleccionar algunas de las mejores familias al tiempo de la cosecha en dos o más poblaciones, y sembrarlas separadamente en el siguiente ciclo a fin de formar híbridos entre tales familias. Se necesitaría seleccionar relativamente pocas familias en cada ciclo para producir un buen número de híbridos potenciales en poco tiempo.

Un muestreo continuo de combinación de híbridos de este tipo se puede llevar a cabo junto con el mejoramiento de poblaciones, con poco esfuerzo extra. Dentro de una población, las combinaciones destacadas de familias se pueden identificar y repetirse aproximadamente yendo de nuevo a la semilla de reserva de las familias que se utilizaron para hacer el cruzamiento en el ciclo previo.

Se puede decir que allí realmente existe una gama de híbridos arreglados sistemáticamente en el campo en cada ciclo. La identificación de unas cuantas familias superiores en cada ciclo debe dar como resultado buenos híbridos con un mínimo de esfuerzo. Mediante el intercruzamiento de algunas de las familias sobresalientes procedentes de cada una de dos o más poblaciones en desarrollo no relacionadas, se pueden elaborar esquemas de comportamiento de ciertos materiales y concentrar los esfuerzos en aquellos que consistentemente ofrecen los mejores resultados.

El número de caracteres que se puede manejar bajo presión de selección en cualquier época, es un asunto de juicio. Obviamente, a mayor número de características bajo selección simultánea, el avance para cada uno será más difícil (2, 4, 6, 10, 17). El hincapié pudiera cambiarse de un carácter a otro conforme se logran avances, de manera que la modificación de los caracteres se torna en un

proceso progresivo. Se debe reconocer que ciertos caracteres, tales como precocidad y altura de la planta, tienden a estar correlacionados y a cambiar juntos (3, 5, 17). Sea esto deseable o no dependerá de las metas establecidas, pero en cualquier caso un proceso de reciclaje a medida que avanzan las generaciones, será un valioso instrumento para modificar tales relaciones.

Cualquier gene simple mutante, tal como el opaco-2 o el harinoso-2, se puede incorporar a las poblaciones bajo selección a través de la siembra de unos cuantos surcos a manera de subparcela adyacente a dicha población. En un ciclo, la fuente de opaco se cruzará con la población que contiene la F_2 obtenida mediante la polinización en el ciclo de siembra siguiente. Los granos mutantes recuperados se siembran de nuevo como una subparcela para hacer la cruza reversiva. Así se puede llevar a cabo una conversión simultánea hacia el tipo mutante, junto con el trabajo regular de selección. En el caso de los granos opacos de endosperma duro modificado, no se ha aclarado si sería posible llevarlo como una subpoblación debido a la necesidad de concentrar los genes modificadores de endosperma duro. Sin embargo, la selección por granos duros modificados sería idealmente adecuada para el proceso descrito de hermanos completos. Entonces el análisis de laboratorio sería una parte necesaria de los criterios de selección.

Gran parte de la atención del trabajo actual sobre calidad proteínica se enfoca en el mutante opaco-2. Al parecer, los resultados de los trabajos con el gene harinoso-2 han sido menos consistentes y menos satisfactorios. Todavía habrá que ver si se descubren otros mutantes de efectos semejantes. Si acaso existen, habrá que tener en mente las dificultades biológicas intrínsecas en la uniformidad genética de un cultivo que seguiría el uso generalizado de cualquiera de ambos. La casi catástrofe que se registró con el uso de citoplasma masculino estéril de Texas para producir híbridos, constituye un ejemplo de lo que potencialmente puede pasar. No hay garantía de que algo semejante no suceda con cualquiera o con todos esos genes mutantes. Tal vez no ocurra nunca un problema así, pero ciertamente conviene estar alerta.

Aún cuando estos genes simples parecen hoy en día ofrecer la mejor promesa para lograr maíz de alta calidad proteínica, las posibilidades de modificar tanto los niveles de proteína como los perfiles de aminoácidos mediante la selección recurrente utilizando sistemas multigénicos, deben investigarse todavía más que lo que se ha hecho. Cualquier avance que se logre debe ser útil por sí mismo y en combinación con los genes mutantes simples. También representa una alternativa a la completa dependencia de mutantes de genes simples.

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia)

BIBLIOGRAFIA

1. Briggs, Robert W. 1966. Recognition and classification of some genetic traits in maize. J. Heredity, 57:35-42.
2. Eberhard, S.A. and C.O. Gardner, 1966. A general model for genetic effects. Biometrics, 22:864-881.

3. Emerson, R.A., G.W. Beadle y A.C. Fraser. 1935. A summary of linkage studies in maize. Cornell University, Agr. Exp. Sta. Mem. 180.
4. Falconer, D.S. 1964. Quantitative Genetics. Ronald Press Company, Nueva York.
5. Gamble, E.E. 1962. Gene effects in corn (*Zea mays*) II. Relative importance of gene effects for plant height and certain component attributes of yield. Con. J. of Plant Sci. 42:349-358.
6. Gardner, C.C. 1963. Estimates of genetic parameters in crossbreeding plants and their implications in plant breeding. Statistical genetics and plant breeding. Natl. Acat. Sci.-Natl. Res. Council Publ. 982, págs. 225-252.
7. Gardner, C.C. 1969. Genetic variation in irradiated and control populations of corn after ten cycles of mass selection for high grain yield. *En* Induced Mutations in Plants. Intern. At. Energy Agency, Viena. págs. 469-477.
8. Lindsay, M.F., J.H. Lonnquist y C.O. Gardner. 1962. Estimates of genetic variances in open pollinated varieties of corn belt corn. Crop Sci. 2:105-108.
9. Lonnquist, J.H. 1964. A modification of the ear-to-rows procedures for the improvement of maize populations. Crop Sci. 4:227-228.
10. Lonnquist, J.H. 1967a. Genetic variability in maize and indicated procedures for its maximum utilization. Ciencia Cult. (Sao Paulo), 19 (1).
11. Lonnquist, J.H. 1967. Intra population improvement – combination S, and HS selection. Maize 5.
12. Lonnquist, J.H., y N.E. Williams. 1967. Development of maize hybrids through selection among full sib families. Crop Sci. 7:369-370.
13. Mertz, E.T., L.S. Bates y O.E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperms. Science 145:279-280.
14. Neuffer, M.G., L. Jones y M.B. Zuber. 1968. The mutants of maize. Crop Sci. Pub.
15. Robinson, H.F., R.E. Comstock y P.H. Harvey. 1949. Estimates of heritability and degree of dominance in corn. Agron. J., 41:353-359.
16. Robinson, H.F. R.E. Comstock y P.H. Harvey. 1955. Genetic variances in open-pollinated varieties of corn. Genetics, 40:45-60.
17. Smith, L.H. 1909. The effects of selection upon certain physical characters of the corn plant, Illinois Univ. Agr. Exp. Sta. Bull. 132.
18. Weijer, J. 1952. A catalogue of genetic maize types together with a maize bibliography. Bibliog. Genet., 14:189-425.

ASPECTOS AGRONOMICOS DE LA PRODUCCION DE MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA

David Sperling*

Las discusiones que hubo entre personal científico del CIMMYT revelaron que varias interrogantes con respecto al maíz opaco no podrían contestarse debido a la falta de información. Hubo diferencias de opinión en varios aspectos: 1) si el maíz opaco era más susceptible que el maíz normal a las pudriciones de la mazorca; 2) si el grano de opaco tarda más en secarse en el campo; 3) si la reducción de rendimiento causada por el endosperma suave del opaco era significativa en las variedades tropicales; y 4) si así era el endosperma duro modificado compensaría tal reducción.

Las discusiones mencionadas dieron origen al experimento que describiré enseguida, el cual se diseñó con el propósito de obtener información para contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Hay diferencias en susceptibilidad a las pudriciones de la mazorca, particularmente a las especiales *Diplodia* y *Giberella* entre las variedades normales, opacas y modificadas?
2. ¿Hay diferencias entre estos tres fenotipos en cuanto al secado del grano en el campo, particularmente después de la madurez fisiológica?
3. ¿Tienen relación las diferencias —si acaso existen— anotadas en las preguntas 1 y 2?

También se buscaron respuestas para varias preguntas secundarias, que fueron:

1. ¿Difiere el peso de los olotes de los fenotipos normal y opaco, según se ha reportado?
2. ¿Existen diferencias en las tasas de acumulación de materia seca entre los tipos de grano normal y opaco?

*Postdoctoral Student, CIMMYT, México

3. ¿Se asocian las diferencias en las tasas de secado —si acaso existen— con las diferencias morfológicas de las mazorcas o el grano?

4. ¿Se asocian las diferencias en rendimiento con las diferencias de la morfología de la mazorca?

Los estudios previos sobre acumulación de materia seca, usando híbridos de cruzas simples, demostraron que era posible lograr tasas de acumulación de materia seca en el grano de 175 Kg/ha/día. No se reportaron tasas para maíz opaco. Se han estudiado intensivamente las tasas de pérdidas de humedad en mazorcas con brácteas bajo condiciones controladas, pero el único estudio de campo indicó que la cobertura de las brácteas era más importante que las características del grano. Todo el trabajo se ha hecho empleando materiales de regiones templadas y es posible que no tenga aplicación en las variedades tropicales.

MATERIALES Y METODOS

Para su estudio las variedades utilizadas se dividieron en dos grupos. El grupo A tuvo versiones normales y sus contrapartes opacas de cinco variedades obtenidas del programa de conversión a opaco-2. Como tales, dichas variedades no habían sido muy seleccionadas con respecto a rendimiento. El grupo B contuvo versiones normales y sus contrapartes opacas modificadas seleccionadas de elotes comunes de semilla de cuatro variedades procedentes del programa de mejoramiento de rendimiento. Las variedades se enlistan en el tabla 1.

TABLA 1 Rendimiento de grano (kg/ha) de materiales normal, opaco y opaco modificado de los grupos A y B

Grupo A	*Normal*[1]	*Opaco*[1]	*Diferencia (N-O)*
Nicarillo	5,440[b,c]	4,587[c]	853[2]
Tuxpeño X Ant. Gpo. 2	6,987[a]	5,173[a,b]	1,814[3]
La Posta	6,027[b]	5,280[a]	747
Francés Largo	4,640[d]	4,747[c]	-107
Población Cristalina	5,653[b,c]	4,907[b,c]	746[2]
Media	5,707	4,960	
Grupo B	*Opaco*	*Opaco modificado*	*Diferencia (O-OM)*
Thai Opaco	5,222[a]	4,427[a]	906[3]
Compuesto K	4,853[b]	4,320[a]	533[2]
Compuesto CIMMYT	5,387[a]	4,747[a]	640[2]
Ver.181 X Ant. Gpo. 2	5,067[a,b]	4,427[a]	640[2]
Media	5,173	4,480	

[1] Las comparaciones sólo son válidas dentro de las columnas para cada clase de entradas. Las medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de .05.

[2] Diferencia significativa al nivel de .05.

[3] Diferencia significativa al nivel de .01.

Los dos grupos de variedades se arreglaron en una serie de tratamiento de 18 entradas: 5 de fenotipo normal, 9 de fenotipo opaco, y 4 de fenotipo opaco, opaco modificado. Se sometió la serie de 18 entradas a un tratamiento adicional: inoculación con patógenos de pudriciones de la mazorca en relación con la protección con fungicidas, que dio como resultado una serie de tratamientos de 18 X 2 con cuatro repeticiones. El inóculo, una suspensión de esporas de las especies *Diplodia* y *Giberella* se asperjó en los estigmas 10 días después de que se registró el 75% de emergencia de estigmas. La técnica de inoculación no fue eficiente, y por tanto el experimento se continuó a manera de 8 réplicas de las 18 entradas originales. Por consiguiente, este informe sólo describe los cambios de peso seco y de humedad en el grano y en el olote de los materiales anotados. En experimentos subsecuentes se buscó la respuesta a las diferencias en la susceptibilidad de los materiales a las pudriciones. El Dr. Ortega expondrá los resultados de estos experimentos en la siguiente ponencia de esta sesión.

Cada parcela consistió de 10 surcos de 5 metros, separados 50 cm entre sí. La distancia entre las matas fue de 25 cm. Las parcelas se sembraron el 22 de diciembre de 1971, a razón de 2 semillas por mata. Después de la emergencia, el cultivo se redujo a una planta por mata.

Debido a la gran cantidad de material empleado, la polinización controlada se consideró impráctica. Por consiguiente, los fenotipos se agruparon en bloques: normal, opaco y opaco modificado. Estos dos últimos se aislaron de las entradas de maíz normal mediante una calle de un mínimo de 10 surcos de opaco u opaco modificado.

Puesto que las comparaciones se confundieron con los bloques en el campo, se utilizó una forma modificada de análisis en la cual las comparaciones sólo se hicieron entre las variedades dentro del fenotipo de un grupo.

Cada semana se tomaron muestras de mazorcas, comenzando a mediados de la etapa de emergencia de estigmas y continuando hasta tres semanas después de la madurez fisiológica. La muestra fueron las mazorcas, con las brácteas intactas, de cada una de ocho plantas. Las mazorcas se llevaron al laboratorio donde se les quitaron las brácteas y luego se pesaron. Enseguida se secaron en un horno muestras de las mazorcas y de los granos para determinar el peso seco de las mazorcas y de los granos. El tamaño de las mazorcas secas se midió basándose en el número de hileras de granos, el largo y el ancho de la mazorca, el ancho del olote (después de haber quitado el grano) y la profundidad del grano.

Se determinó el tiempo en que se desarrolló completamente la capa negra y el período de llenado se definió como el número de días transcurridos entre el 50% de producción de estigmas y el 50% de formación de la capa negra.

RESULTADOS

Cambios de materia seca en el grano

En la tabla 1 se presentan los rendimientos de grano (Kg/ha) obtenidos en este experimento los cuales son el promedio de la cosecha 7 a la 10. De acuerdo

con el informe del CIMMYT 1970-1971 se clasificaron los rendimientos de las mismas variedades donde se indicó que si acaso hubo efectos confusos, éstos fueron de pequeña magnitud. Por tanto, las diferencias entre variedades de distintos fenotipos de grano se deberían a diferencias inherentes, no a su localización. Hubo diferencias significativas en todas las clases, excepto en el opaco modificado. Las entradas normales sobrepasaron significativamente el rendimiento de sus contrapartes opacas, con excepción de La Posta y Francés Largo. La reducción media del rendimiento para la clase opaca fue de 747 kg/ha, o sea el 13% del normal. Todas las entradas opacas del grupo B superaron significativamente el rendimiento de sus contrapartes de opaco modificado. La reducción media de rendimiento fue de 693 kg/ha, o sea el 14.3% de las opacas.

Los rendimientos de grano son el resultado de la acumulación de materia seca y del tiempo en que la proporción está en efecto. Por consiguiente, las diferencias en rendimiento de grano se pueden examinar basándose en estos dos parámetros. Las curvas del peso del grano para las cuatro clases de entradas presentadas en la figura 1 facilitan la descripción de tal análisis. En general, durante el período de acumulación rápida de materia seca, las tasas de esta acumulación en el grano fueron semejantes. Se verificó esta observación analizando la regresión, lo cual indicó que no hubo diferencias entre las tasas de incremento de materia seca dentro de las clases o entre las variedades que eran contrapartes. Hubo un incremento de materia seca en todas las clases hasta la cosecha 7,

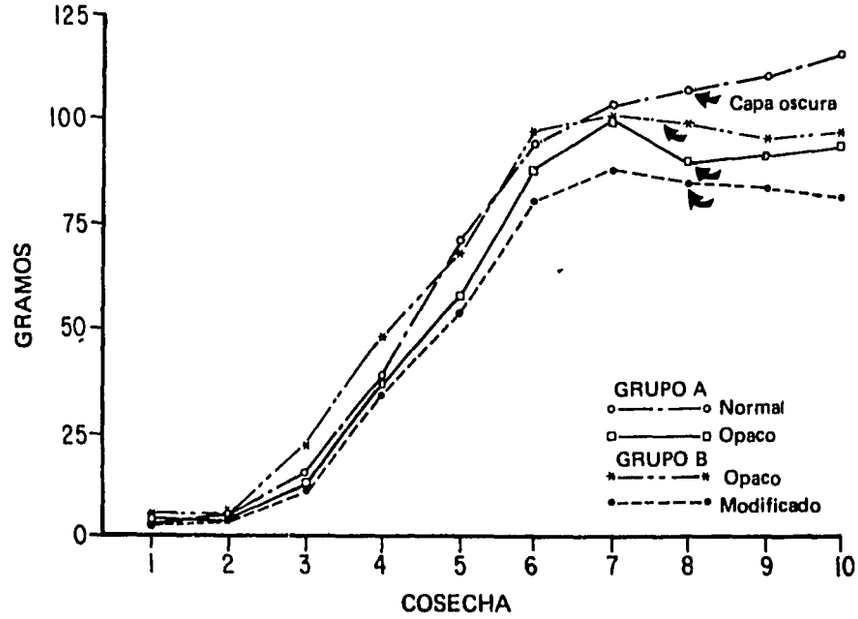


FIGURA 1 Cambios en el peso del grano (g/planta).

excepto en las normales, las cuales mostraron un aumento lento después de la cosecha 7. El peso disminuyó después de esta cosecha en las tres clases opacas, pero el decremento se debió a las muestras para la cosecha 7, que procedieron de cerca de la orilla de la parcela (efecto de bordo), por lo que no fue una reducción real del rendimiento.

Por tanto, la diferencia en rendimiento entre las clases normales y opacas del grupo A parece ser el resultado de una duración más larga del aumento de materia seca. Por otra parte, se obtuvo una respuesta semejante en las curvas de materia seca, pero hubo una diferencia del 13% en el rendimiento final. Durante las primeras cosechas, el opaco modificado tuvo una acumulación de materia seca más lenta que sus contrapartes opacas; no obstante, después de la cosecha 3 el incremento en materia seca fue paralelo al del opaco. Por tanto, la reducción del rendimiento de la clase opaco modificado del grupo B fue el resultado de una tasa menor de acumulación de materia seca previa a la tercera cosecha.

Sólo se notaron pequeñas diferencias en la longitud del período de llenado del grano (aparición de estigmas a la formación de la capa obscura), según lo indican las flechas de la figura 1. Las dos clases del grupo A y la clase opaco modificado del grupo B tuvieron un período promedio de llenado de 59 días, que coincidió con la cosecha 8. La clase opaca del grupo B tuvo un período de llenado de 56 días, que terminó tres días antes de la cosecha 8. El análisis estadístico indicó que esas diferencias no fueron significativas. La formación de la capa obscura ocurrió alrededor de dos semanas después de haberse terminado las tasas rápidas de acumulación de materia seca en el grano, en tanto que las curvas de peso seco se estabilizaron alrededor de siete días después de terminarse el incremento rápido de peso seco.

Cambios de materia seca en el olote

Recientemente se informó de una reducción en el peso del olote de opaco en comparación con las variedades contrapartes normales, pero la importancia de este hallazgo no es totalmente aceptada. El peso del olote aumentó rápidamente hasta la cosecha 3 y con mayor lentitud hasta la cosecha 6 (fig. 2). La tabla 2 presenta los pesos medios del olote por planta. Hubo diferencias en el peso del olote en todas las clases, excepto en el opaco modificado. Las entradas normales de Nicarillo, La Posta y Población Cristalina tuvieron un peso del olote significativamente mayor que sus contrapartes opacas. El peso del olote de las contrapartes de Tuxpeño X Ant. Gpo. 2 fueron iguales, y el olote de la entrada opaca de Francés Largo fue significativamente mayor que el de la entrada normal. La diferencia entre ambas clases fue de 0.6 gramos en favor del normal. Se notó una marcada reversión de los pesos del olote para la variedad Francés Largo, que en la versión opaca había perdido un olote característicamente diminuto. Si se excluye esta variedad, las medias serían de 25.5 gramos para el normal y 22.7 gramos para el opaco, lo cual es una reducción promedio de 2.8 gramos, o el 11% del normal. En el grupo B se notó una reducción significativa del peso del olote de la versión opaco modificado de Thai Opaco y Ver. 181 X Ant. Gpo. 2. La reducción promedio del peso del olote para el opaco modificado

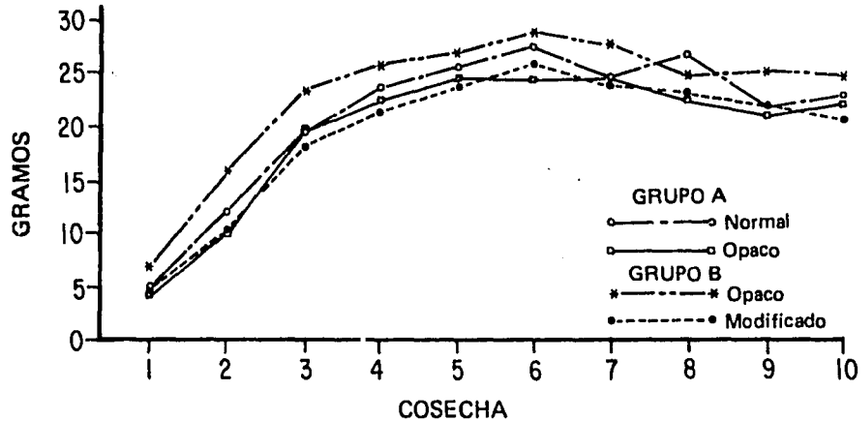


FIGURA 2 Cambios en el peso del olote (g/planta).

fue de 0.9 gramos, o sea una reducción de 3.5%. La reducción observada para el opaco modificado no es grande, pero la que se observó para el opaco del grupo A es de la misma magnitud que la reducción en rendimiento de grano.

Si la reducción en el peso del olote fuera proporcional a la reducción en el peso del grano, no debiera haber diferencia entre variedades contrapartes en la

TABLA 2 Peso del olote planta para materiales normal, opaco y opaco modificado.

Grupo A	*Normal*[1]	*Opaco*[1]	*Diferencia (N-O)*
Nicarillo	26.1[a,b]	22.3[a,b]	3.8[2]
Tuxpeño X Ant. Gpo. 2	24.3[c]	24.5[a]	-0.2
La Posta	25.1[b]	21.5[b,c]	3.6[3]
Francés Largo	11.8[d]	19.8[c]	-8.0[2]
Población Cristalina	26.5[a]	22.7[a,b]	3.8[2]
Media (-Francés Largo)	(25.5)	(22.7)	
Grupo B	*Opaco*	*Opaco modificado*	*Diferencia (O-OM)*
Thai Opaco	27.1[a]	23.1[a]	4.0[2]
Compuesto K	24.1[a,b]	21.7[a]	2.4
Compuesto CIMMYT	23.1[b]	22.8[a]	0.3[3]
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2	26.9[a]	21.5[a]	5.4
Media	25.3	24.2	

[1] Las comparaciones son válidas dentro de las columnas para cada clase de entradas. Las medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de .05.

[2] Diferencia significativa al nivel de .05.

[3] Diferencia significativa al nivel de .01.

razón peso del grano: peso del olote. Las razones se presentan en la tabla 3. Sólo se encontraron diferencias significativas entre los contrapartes para dos variedades del grupo A.

La diferencia significativa en Francés Largo podría atribuirse a las marcadas diferencias en el tamaño del olote, en tanto que la diferencia en las razones para Tuxpeño X Ant. Gpo. 2 se debió a las marcadas diferencias en el rendimiento de grano.

La falta general de significación entre las variedades contrapartes con respecto a la razón peso del grano: peso del olote indica que la reducción en el peso del olote es proporcional a la reducción en rendimiento del grano. Luego, se reduce el peso de toda la mazorca de las variedades opacas.

TABLA 3 Razones peso del grano: peso del olote para materiales normales, opaco y opaco modificado.

Grupo A	*Normal*[1]	*Opaco*[1]	*Diferencia (N-O)*
Nicarillo	3.9[c]	3.8[b]	0.1
Tuxpeño X Ant. Gpo. 2	5.4[b]	3.9[b]	1.5[2]
La Posta	4.4[c]	4.5[a]	-0.1
Francés Largo	7.4[a]	4.5[a]	2.9[2]
Población Cristalina	3.9[c]	4.0[b]	-0.1
Media	5.0	4.1	
Grupo B	*Opaco*	*Opaco modificado*	*Diferencia (O-OM)*
Thai Opaco	3.7[b]	3.5[b]	0.2
Compuesto K	3.7[b]	3.7[a,b]	0.0
Compuesto CIMMYT	4.4[a]	3.9[a]	0.5
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2	3.5[b]	3.9[a]	-0.4
Media	3.8	3.7	

[1] Las comparaciones son válidas dentro de las columnas para cada clase de entradas. Las medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes al nivel de .05.

[2] Signiticativamente diferentes al nivel de .01.

Cambios en el contenido de humedad del olote, del grano y la mazorca

La figura 3 presenta los porcentajes de humedad del grano para cada una de las cuatro clases de entrada. La disminución del porcentaje de humedad es casi linear para todo el período. Se supuso que los fenotipos escogidos para este estudio variaban en sus tasas de pérdida de humedad, pese a lo cual el punto más relevante de la gráfica es que todas las clases perdían humedad a tasas similares. El análisis de regresión confirma la ausencia de diferencias en esta tasa.

La cantidad de agua en la mazorca depende del peso del olote y del grano, así como del porcentaje de humedad de cada uno. Se calculó los pesos del agua en

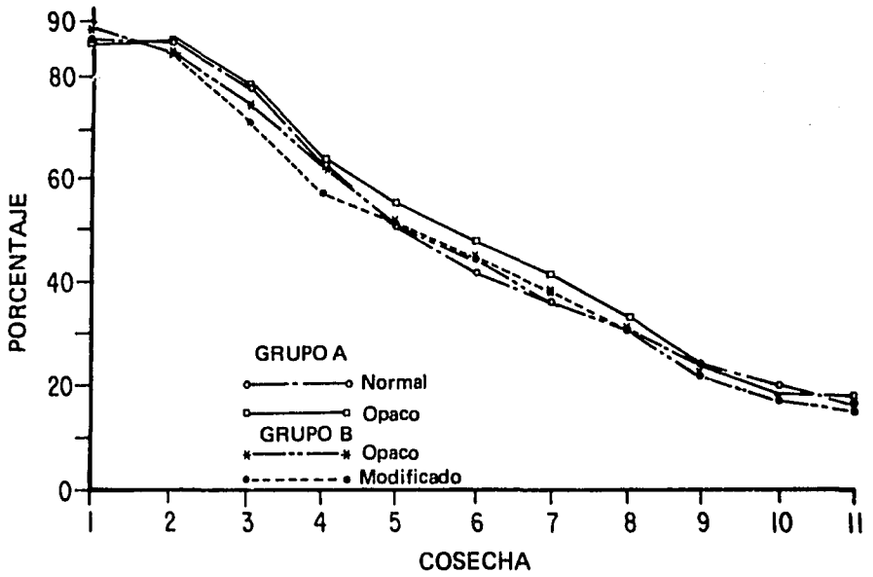


FIGURA 3 Cambios en el contenido de humedad del grano.

el olote, en el grano y en la mazorca, los cuales se presentan en las figuras 4, 5 y 6, respectivamente. El peso del agua en el olote (fig. 4) aumentó rápidamente conforme aumentó el peso del olote de la primera a la tercera cosecha, y llegó a un máximo de 60 a 80 gramos. Después, el peso del agua disminuyó hasta la última cosecha.

En la figura 5 se presentan los gramos de agua en el grano para cada clase. Estos aumentaron hasta un máximo de 62 a 75 gramos en la sexta cosecha, dependiendo de la clase. Después de la cosecha 6, el peso del agua en el grano disminuyó en todas las clases, y hubo un rápido decremento después de la cosecha 7. No se encontraron diferencias en las tasas de pérdida de humedad después de la humedad fisiológica, que ocurrió al tiempo o poco después de la cosecha 8. Las gráficas desmostraron claramente que la pérdida de humedad del grano no ocurrió sino después de la cosecha 6, ó 45 días después de la aparición de estigmas. Por tanto, el proceso de secado, en el sentido de pérdida de humedad, no empieza sino hasta después de que el rápido incremento de materia seca en el grano ha terminado (véase la fig. 1). La disminución en el porcentaje de humedad en el grano observada durante este período es el resultado de un aumento más rápido de materia seca que de agua en el grano.

Los cambios en el contenido de agua de la mazorca (fig. 6) son el resultado de los cambios combinados en el contenido de agua en el olote. Sin embargo, de la cosecha 3 a la 6 inclusive, el máximo peso relativamente uniforme de agua en la mazorca fue el resultado de una disminución de agua en el olote y de un incremento del peso del agua en el grano. Después de la cosecha 6, el agua en la mazorca disminuyó conforme se secaron el grano y el olote.

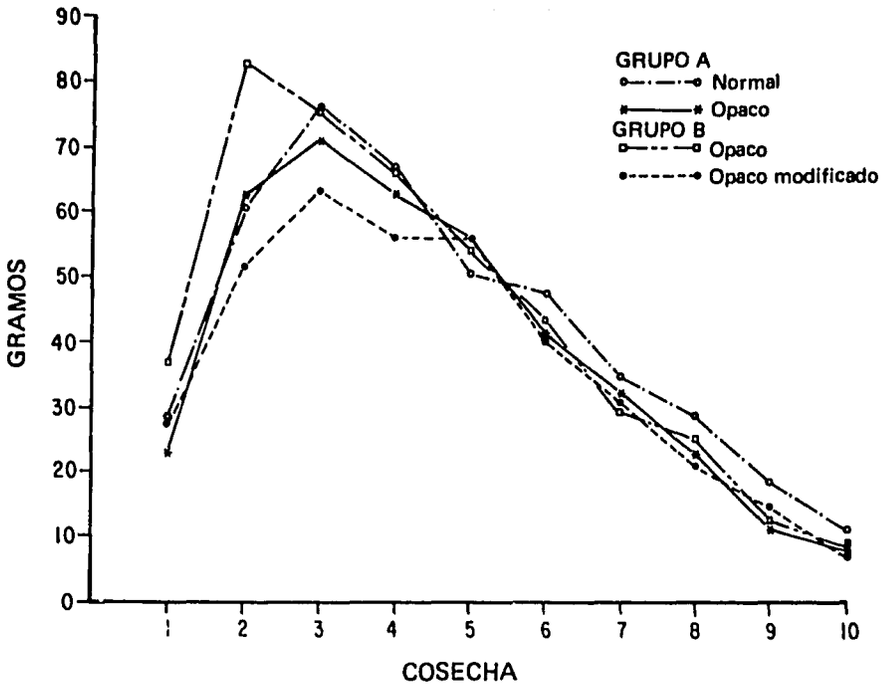


FIGURA 4 Gramos de agua por planta en el olote para cuatro clases de entradas de la cosecha 1 a la 10.

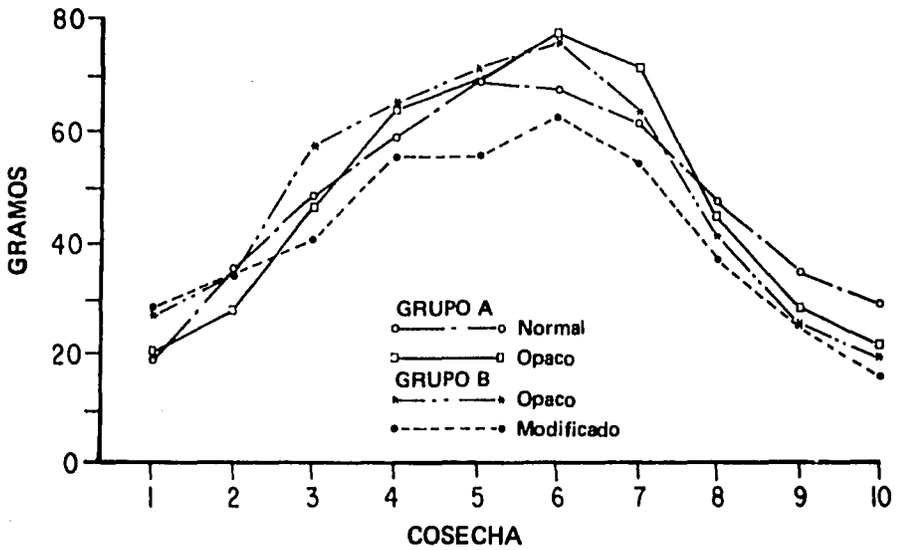


FIGURA 5 Gramos de agua por planta en grano.

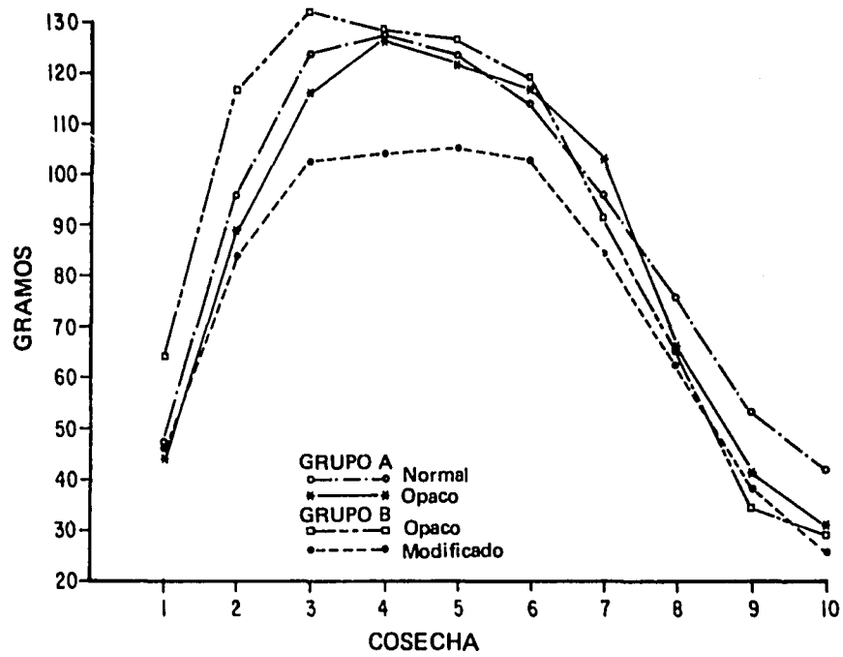


FIGURA 6 Gramos de agua en la mazorca por planta para las cuatro clases de entradas de la cosecha 1 a la 10.

Se tuvo curiosidad por saber la cantidad de agua perdida cada semana y el número de calorías necesarias para evaporar esa cantidad de agua, de manera que éstas se calcularon (tabla 4). También se calculó el número de calorías disponibles a partir de la radiación solar. Se presumió que ocho horas de radiación solar a 1 cal/cm^2/min estaban pegando sobre el 40% de la superficie de

TABLA 4 Pérdida de agua del grano y calorías requeridas para evaporar esta pérdida de agua.

	Grupo A		*Grupo B*	
Período de cosecha	*Normal*	*Opaco*	*Opaco*	*Opaco modificado*
	Gramos de agua perdida por el grano			
7-8	14.5	26.5	22.2	16.4
8-9	12.1	5.8	16.0	11.2
9-10	6.0	7.4	5.0	9.4
	Calorías requeridas para evaporar el agua perdida por el grano[1]			
7-8	8,410	15,370	12,876	9,512
8-9	7.018	3,364	9,280	6,496
9-10	3,480	4,292	2,900	5,452

[1] 580 calorías/gramo de agua a 30°C.

una mazorca de 6 cm de diámetro y 15 cm de longitud. La mazorca tenía 1 cm de brácteas cubriendo con una conductividad termal de 0.0005. Se presumió que el área de la superficie era la media de la superficie calculada como un cono y como un cilindro. Bajo estas condiciones, se disponía de 146 calorías por semana para evaporar la humedad en la mazorca. La radiación solar suministró del 1 al 5% de las calorías necesarias y hay que indicar que la mayor parte del agua se perdió por advección, un proceso en el que la humedad relativa y el movimiento del viento desempeñan un papel importante. La advección explicaría la variación observada en la longitud del secado en áreas de clima soleado.

Relación de los parámetros de la mazorca con el rendimiento

La relación entre el rendimiento y los parámetros de la mazorca de número de hileras de granos, longitud de mazorca, ancho del olote y profundidad del grano, fueron estudiados mediante análisis de correlación. Se obtuvieron correlaciones significativas entre el diámetro del olote y número de hileras de granos (.51), y entre rendimiento y diámetro del olote (.478) y longitud de la mazorca (.489). Estas correlaciones sugieren que una expansión del número de granos aumentaría el rendimiento. Sin embargo, se obtuvo una correlación altamente significativa entre rendimiento y profundidad del grano (.735), lo cual indica que el 54% de la variación en el rendimiento se debió a diferencias en la profundidad del grano. La profundidad del grano de los materiales del experimento se presentan en la tabla 5, donde se demuestran diferencias de 20% y 15% en las clases normales y opacos del grupo A y de 7% en ambas clases del grupo B. El hecho de que los granos que varían de tamaño de un 15 a un 20% se llenaran en el mismo lapso es otra evidencia de las diferencias entre las variedades en sus tasas de acumulación de materia seca en el grano.

ANALISIS

Los rendimientos reportados en este estudio variaron de 6 987 a 4 640 kg/ha para los maíces normales; de 5 333 a 4 587 kg/ha para maíces opacos, y de 4 747 a 4 320 kg/ha para opacos modificados. Claramente los tres fenotipos se traslapan en su capacidad de rendimiento, pero el rendimiento medio para cada fenotipo indica que los tipos de grano normal rinden 13% más que los opacos y que los tipos de grano opaco rinden 13% más que los tipos de grano opaco modificado. Estos datos son consistentes con los datos reportados para materiales de regiones templadas. El traslape de los diferentes fenotipos y la gran variación dentro de cada fenotipo sugieren que bajo selección debiera ser posible un mayor rendimiento en todos esos fenotipos. Ciertamente, las variedades tropicales con tipo de grano normal han mostrado mejoramiento del rendimiento merced a selección recurrente (Informe Anual del CIMMYT 1970-71, pág. 75). En la actualidad, no hay razón para dudar, se pueden obtener rendimientos

semejantes en las poblaciones de opacos y opacos modificados. En efecto, las curvas de peso seco de la figura 1 indican que las entradas mejoradas de opaco del grupo B tuvieron una tasa de aumento de materia seca tan grande como las entradas normales del grupo A.

En las variedades opacas, la capacidad de transferir carbohidratos del tallo parece ser limitada o no existe. No se conoce ninguna explicación clara para este fenómeno. En efecto, si la respuesta es real, y así parece serlo, la selección contra tal respuesta incrementaría la capacidad de rendimiento del maíz opaco. Tal selección podría lograrse cosechando la mitad de la repetición de un ensayo de rendimiento una semana después de que toda el área foliar hubiera envejecido, y cosechando las repeticiones restantes después de que se hubiera formado la capa obscura. Las entradas que dieran un incremento en rendimiento entre la primera y la segunda cosecha, se mantendrían para más selecciones.

La reducción en el paso del olote fue mayor en la comparación opaco-normal que en la de opaco-opaco modificado. La reducción en el peso del grano fue de la misma proporción que en la de grano. Esto sugiere que una reducción generalizada en la acumulación de materia seca está asociada con el genotipo opaco.

El incremento de humedad en el grano hasta la pérdida del área foliar en la cosecha 6 significa que la pérdida de humedad no es una realidad sino hasta después de la pérdida del área foliar. La disminución del porcentaje de humedad hasta esta época fue el resultado de un incremento más rápido en materia seca que en el agua del grano. Por tanto, las investigaciones sobre pérdida de humedad antes de la pérdida del follaje funcional estudian la recíproca de la acumulación de materia seca, no la pérdida de la humedad.

La relativamente mayor cantidad de agua en el grano opaco requerirá de más tiempo para secarse que el normal si el ambiente es limitativo. Al parecer, este es el caso en las regiones templadas. Sin embargo, en un ambiente favorable para el secado, la tasa de pérdida de humedad pesado por unidad de tiempo, sería mayor para el opaco que para granos de tipo normal. Tal respuesta se ilustra en la figura 4. En un ambiente que limita la pérdida de humedad, el período más largo en el que el grano opaco contiene niveles de humedad relativamente altos y el substrato más nutritivo, pudieran favorecer el desarrollo de hongos en el grano.

Las clases opaco y opaco modificado del grupo B fueron intermedios en porcentaje de humedad de grano entre las clases normal y opaco del grupo A. Las diferencias de genotipo entre los grupos no permiten conclusiones definitivas; sin embargo, el mejoramiento de las variedades de opaco con respecto al rendimiento o a textura del endosperma, parecerían reducir los niveles de humedad del grano relativamente mayores observados para opacos en el grupo A.

CONCLUSIONES

En conclusión, entre los tres tipos de fenotipos de grano estudiados, los normales rindieron más que los opacos, que a su vez rindieron más que los opacos modificados. Sin embargo, las diferencias en rendimiento entre los

diferentes fenotipos no fueron grandes. Por tanto, la selección recurrente con respecto a mejor rendimiento debiera producir variedades de opaco y de opaco modificado que se aproximen o igualen los rendimientos del maíz normal.

El promedio de humedad del grano fue semejante para todas las clases de fenotipos en cada cosecha. Por consiguiente, el peso de la humedad en el grano dependió más del peso seco del grano que del porcentaje de humedad del grano. El ambiente de Tlaltizapán fue muy favorable para el secado. Sin embargo, podrían aparecer diferenciales en las tasas de secado con ambiente menos favorable.

Puesto que en este estudio no hubo infecciones serias de pudriciones de raíz, se llevaron a cabo estudios subsiguientes para determinar diferencias en susceptibilidad a las enfermedades. Si en estos estudios no se encontraron diferencias en las pudriciones de la raíz, se diría que éstas están asociadas a otros factores ajenos a la tasa de secado del grano.

(En la sección de *Preguntas y respuestas* hay un análisis de esta ponencia.)

ALGUNAS CARACTERISTICAS DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL MAIZ TROPICAL

P. R. Goldsworthy*

La dieta de mucha gente que habita en las zonas tropicales del mundo es deficiente en proteína. En muchas de estas zonas, el maíz es un alimento básico, y es aquí donde el maíz opaco-2 puede constituirse en una fuente de proteína de alta calidad, tan urgentemente necesitada. Para lograrlo, el geno opaco-2 que reúne las características de calidad proteínica que se necesitan, tiene que ser introducido a las variedades de maíz, ya sea nuevas o tradicionales, que la gente puede cultivar en esas áreas. La cantidad que se puede producir dependerá entonces del propio rendimiento de las variedades a las cuales se introduzca el gene opaco-2.

El programa de mejoramiento de maíz del CIMMYT está orientado hacia el desarrollo de variedades de alto rendimiento que puedan ser útiles bajo una amplia gama de condiciones ecológicas en todo el mundo. El gene opaco-2 se ha introducido en estas variedades, y se han comenzado a efectuar estudios sobre (1) cómo el medio ambiente afecta el crecimiento y el desarrollo de las variedades tropicales de maíz, y (2) los factores que limitan su rendimiento. Esto ayudará a los fitomejoradores a seleccionar materiales con los que incrementarán dicho rendimiento.

En este documento se describen algunas de las características de las variedades de maíz tropical, y proporciona ejemplos a fin de indicar el panorama para lograr mayores avances en el fitomejoramiento.

* CIMMYT, México.

ADAPTACION AL MEDIO AMBIENTE

Una variedad adaptada es aquella que es eficiente en el ambiente en el cual se cultiva. Bajo condiciones de temporal (secano), una parte importante de esta adaptación es la habilidad para crecer y producir grano en el período en que dispone de agua. La evidencia indica que, dentro de las latitudes tropicales, las variaciones en la temperatura, con la estación y la altitud, son probablemente más importantes que la variación en el fotoperíodo, con respecto a la determinación de la longitud del período de crecimiento de una variedad.

A fin de formar variedades de amplia adaptación, el programa de mejoramiento del CIMMYT aprovecha la amplia gama de condiciones ambientales que se encuentran en México. Se efectúan trabajos de mejoramiento y selección genéticos en varios sitios en que existen diversas condiciones de altitudes y latitudes, y las progenies se mueven de un sitio a otro. Las variedades desarrolladas se adaptan entonces a una gama de condiciones ambientales más amplia que las poblaciones componentes de donde se derivan.

Las figuras 1 y 2 muestran la temperatura estacional y la distribución de la precipitación pluvial de tres de los sitios principales donde se lleva a cabo este tipo de trabajo.

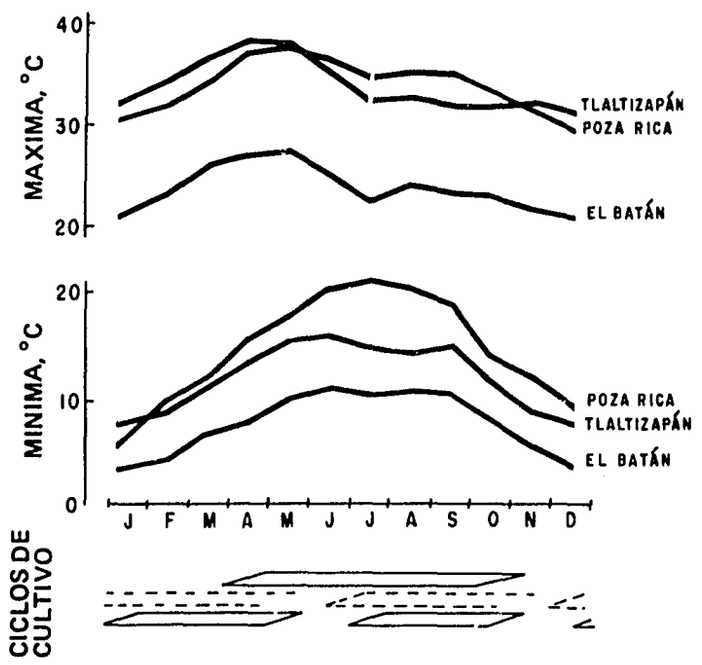


FIGURA 1 Variaciones de temperatura. Tres sitios experimentales en México.

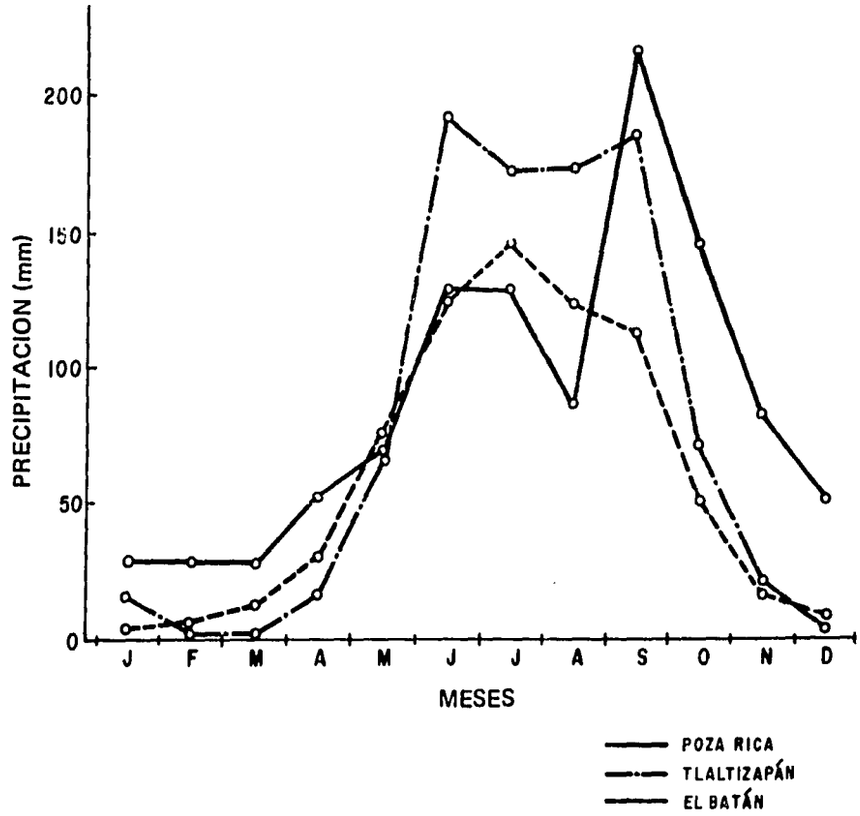


FIGURA 2 Lluvia. Tres sitios experimentales en México.

CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO

Al examinar un cultivo como un sistema de producción de grano, conviene pensar en él en términos de una *fuente* de asimilados y en una serie de receptáculos donde se utiliza el asimilado para el crecimiento. La *fuente* es la superficie fotosintética y, para el tipo de estudios considerados aquí, se le puede describir en términos de su tamaño (el índice del área foliar), y de su eficiencia (producción de peso seco por unidad de área foliar).

Para nosotros, el receptáculo de mayor interés es el grano. El tamaño del receptáculo determina nuestro rendimiento potencial de grano y, para nuestros propósitos, se le puede medir convenientemente como el número de florecillas fértiles por unidad de superficie del terreno.

En un cultivo de granos ideal, el período de crecimiento vegetativo debe ser tan corto como sea posible, en tanto que permita el desarrollo del área foliar necesaria para mantener una alta tasa de producción de peso seco después de la antesis, y de un número suficientemente alto de florecillas fértiles para

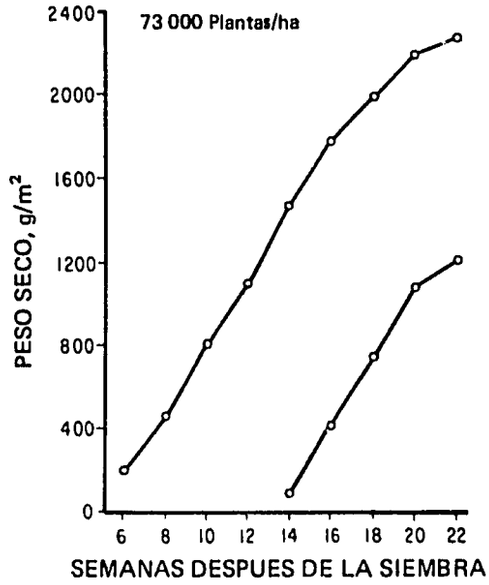


FIGURA 3 Cambio en peso seco y rendimiento de grano de maíz híbrido Salisbury (1).

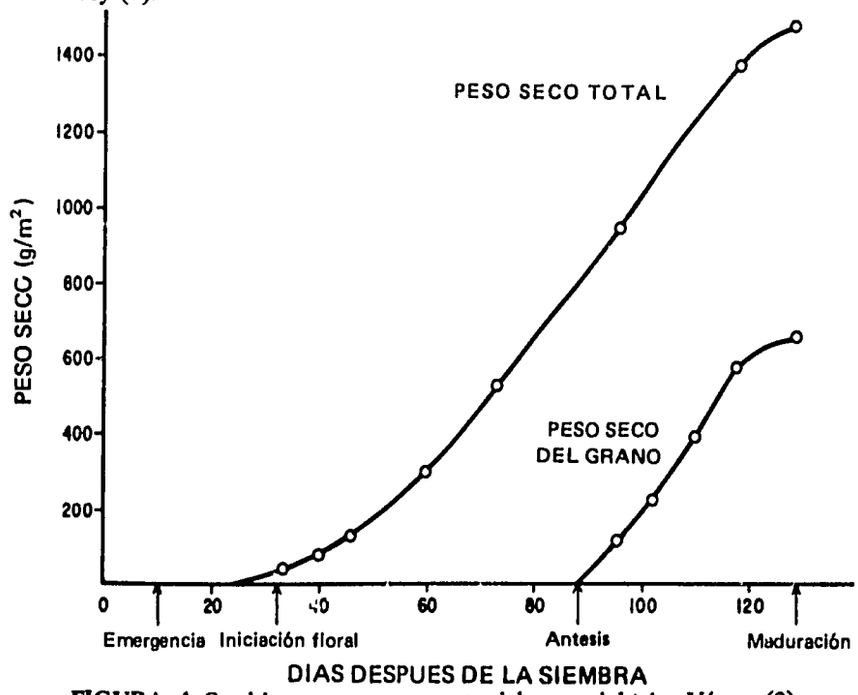


FIGURA 4 Cambio en peso seco y peso del grano del trigo Yécora (2).

acomodar el asimilado que se transfiere hacia el grano. Idealmente, todo el aumento de peso seco después de la floración debe entonces producir grano. Las figuras 3 y 4 ilustran dos de esos cultivos casi ideales.

Los ejemplos siguientes de cultivos de maíz tropical se escogieron con el fin de ilustrar cómo el crecimiento y el rendimiento son afectados por el medio ambiente, y para mostrar el tipo de estudios que se están efectuando para determinar los factores que limitan el rendimiento y hasta qué grado los materiales que tenemos distan de ser los ideales.

CULTIVOS DE ZONAS ALTAS Y DE ZONAS BAJAS

El primer ejemplo es un análisis del crecimiento del maíz tropical, tomado del trabajo acerca del cual J. Yamaguchi informará más ampliamente en otra publicación. El ejemplo ilustra los contrastes en el patrón de crecimiento y de rendimiento que ocurren dentro de la gama de ambientes que nos interesa. Es una comparación de un híbrido de tierras altas (H.125), sembrado en El Batán, a 2 250 metros sobre el nivel del mar y un híbrido para tierras bajas (H.507), sembrado en Poza Rica, a 60 metros sobre el nivel del mar.

Rendimiento de grano

El rendimiento de H.125 en El Batán fue mucho más alto que el rendimiento del H.507 en Poza Rica (tabla 1). La diferencia en rendimiento entre ambos maíces se atribuyó del todo a una diferencia en el tamaño del grano. El número de granos por m^2 fue el mismo en ambos maíces. El tamaño más pequeño de los granos de H.125 fue compensado por el número mayor de granos por mazorca.

Formación del peso seco

El híbrido de tierras altas produjo mucho más peso seco que el H.507 (figura 5). La tasa de crecimiento fue menor que en Poza Rica, pero el período de

TABLA 1 Rendimiento de grano, maíz de zonas altas y de zonas bajas

Localidad	*Variedad*	*Grano (tons/ha)*	*1000 granos (g)*	*No. de granos M-2*	*No. de mazorcas M-2*	*No. de granos/ mazorca*
El Batán	H. 125	9.6	372	2,590	6.0	431
Poza Rica	H. 507	5.9	228	2,590	5.3	486

crecimiento fue más largo en El Batán, donde las temperaturas son más bajas (193 días para el H.125 contra 112 días para el H.507). Durante la primera parte del período de llenado del grano, el incremento en el peso del grano de la variedad para tierras altas y la variedad para tierras bajas fue menor que el incremento en el peso seco total. Es decir, sólo una fracción del peso seco producido llegó al grano. Posteriormente, hubo una pérdida del peso seco en tanto que el peso del grano continuaba aumentando. El patrón de crecimiento no sigue la curva de crecimiento de los cultivos ideales descritos antes.

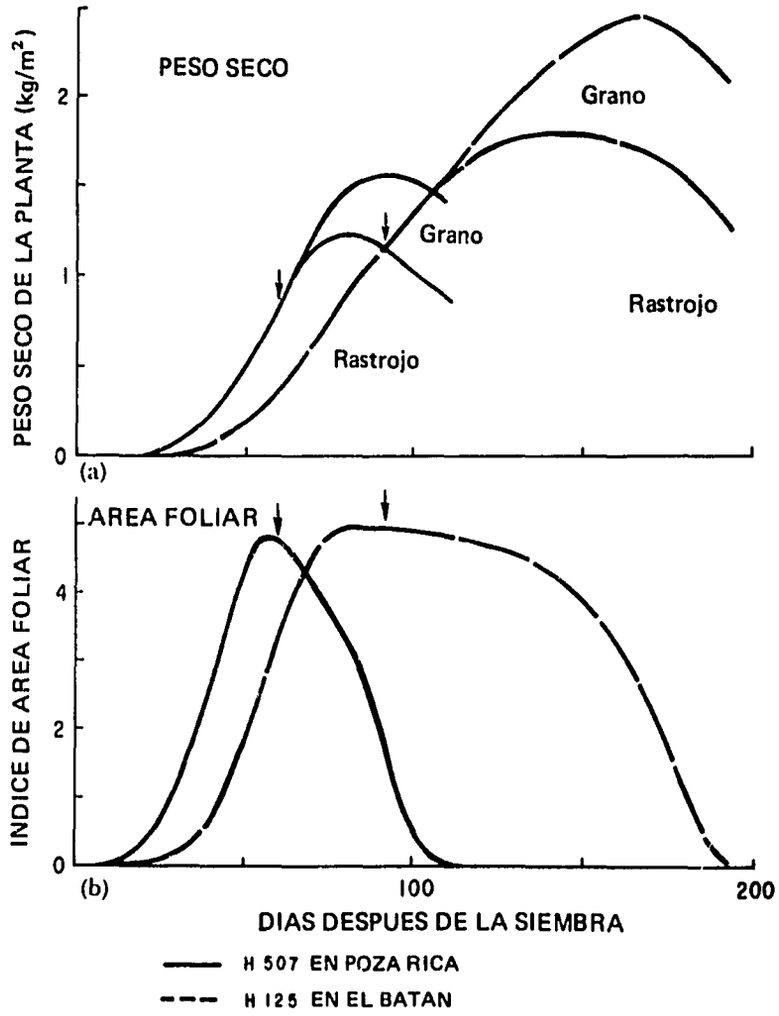


FIGURA 5 Crecimiento de maíz de zonas altas y zonas bajas.

Area foliar

Los índices máximos de área foliar se alcanzaron 60 y 91 días después de la siembra (figura 5b). La diferencia más significativa en el desarrollo del área foliar de ambas variedades de maíz fue la diferencia en la duración del área foliar después de la floración. En Poza Rica el índice de área foliar declinó rápidamente después de la floración, mientras que en El Batán se mantuvo casi en su máximo valor por otros 45 días, y después comenzó a declinar rápidamente.

En Poza Rica, la duración del área foliar (DAF) después de la floración fue de 134 días, mientras que en El Batán fue de 385 días. Esta diferencia en la duración tiene gran relación con la diferencia en el peso seco y el rendimiento de ambas variedades de maíz.

Puesto que en el maíz, como en otros cereales, la asimilación para la producción proviene principalmente de la fotosíntesis que se efectúa después de la floración, el peso del grano producido por unidad de duración del área foliar después de la floración (gramos de grano por día), es un índice de la eficiencia de las hojas para producir grano. Es interesante anotar que el peso del grano formado por unidad DAF fue mayor en el sitio ubicado en tierras bajas (4.40 g/día) que en El Batán (2.49 g/día). Además, en términos del grano producido por hectárea al día, el cultivo de tierras bajas tropicales (5.9 ton/ha en 112 días = 52.8 kg/ha/día) fue por lo menos tan eficiente como el cultivo sembrado en tierras altas (9.6 ton/ha. en 193 días = 50 kg/ha/día). Sin embargo, dado que el período de llenado de grano fue más largo en El Batán, la producción de materia seca después de la floración y el rendimiento de grano fueron mucho mayores que en Poza Rica.

Puesto que en ambos sitios el peso seco total (PST) del cultivo disminuyó durante las etapas finales, la razón del peso del grano al peso seco total en la cosecha (es decir, el índice de cosecha), es sólo una indicación parcial de la eficiencia biológica, aunque los valores para ambos cultivos fueron menores (tabla 2) que los reportados para el maíz de zonas templadas (0.5).

COMPARACION DE DOS VARIEDADES PARA LOS TROPICOS BAJOS

Un segundo ejemplo es una comparación del crecimiento y el rendimiento de dos variedades para tierras bajas tropicales, Tuxpeño planta baja y Tuxpeño X Eto planta baja.

Rendimiento de grano

El rendimiento de grano de ambas variedades fue mayor en Tlaltizapán que en Poza Rica. En ambos sitios el Tuxpeño planta baja rindió más que el cruzamiento de ambas variedades.

TABLA 2 Rendimiento del grano y rendimiento de los componentes de 4 Tuxpeños

		Variedad			
	Plantas/m²	CR.1	PB	BR	BRPB
Rendimiento del grano (tons./ha.)	2.5	3.81	–	–	–
	5	5.81	4.82	3.57	3.67
	10	–	5.61	4.02	3.97
Peso (g) de 1000 granos	2.5	296	–	–	–
	5	282	237	242	229
	10	–	229	242	220
Granos/m²	2.5	1285	–	–	–
	5	2057	2039	1480	1601
	10	–	2451	1651	1802
Granos/mazorca	2.5	514	–	–	–
	5	457	429	333	327
	10	–	331	296	265
Mazorcas/m²	2.5	2.5	–	–	–
	5	4.5	4.8	4.5	4.9
	10	–	7.4	5.6	6.8

Notas: CRI, Tuxpeño crema 1; PB, selección de Tuxpeño de planta corta; BR, Tuxpeño braquítico; BRPB, selección de Tuxpeño braquítico de planta corta.
Fuente: J. Yamaguchi (3).

El rendimiento de grano aumentó, con la población de plantas, hasta 150 000 plantas por hectárea, o sea el triple del nivel de población al cual los fitomejoradores normalmente llevan a cabo la selección. El mayor rendimiento (8.3 ton/ha de grano secado al horno) provino del Tuxpeño planta baja en Tlaltizapán, al mayor nivel de población de plantas.

El rendimiento de grano es el producto del número de granos por m² y del tamaño de los granos. En las gráficas se puede apreciar que el rendimiento de granos fue proporcional al número de granos por m² (de 2 500 a 4 000/m²). En otras palabras, la población de plantas tuvo poco efecto sobre el tamaño del grano.

En ambas variedades, a grandes poblaciones de plantas, hubo un número ligeramente menor de mazorcas que de plantas, es decir, algunas plantas no contribuyeron al rendimiento. Hubo menos plantas estériles en Tlaltizapán que en Poza Rica y, en el más alto nivel de población en Tlaltizapán, el Tuxpeño planta baja produjo más mazorcas que el cruzamiento de ambas variedades.

Conforme aumentó el número de mazorcas por metro cuadrado con la población de plantas, decreció el número de granos por mazorca, aunque en cada nivel de población el número de granos por mazorca fue mayor con el Tuxpeño planta baja que con el Tuxpeño X Eto. Fueron estas diferencias las que determinaron un mayor número de granos por metro cuadrado y, consecuentemente, un mayor rendimiento del Tuxpeño planta baja.

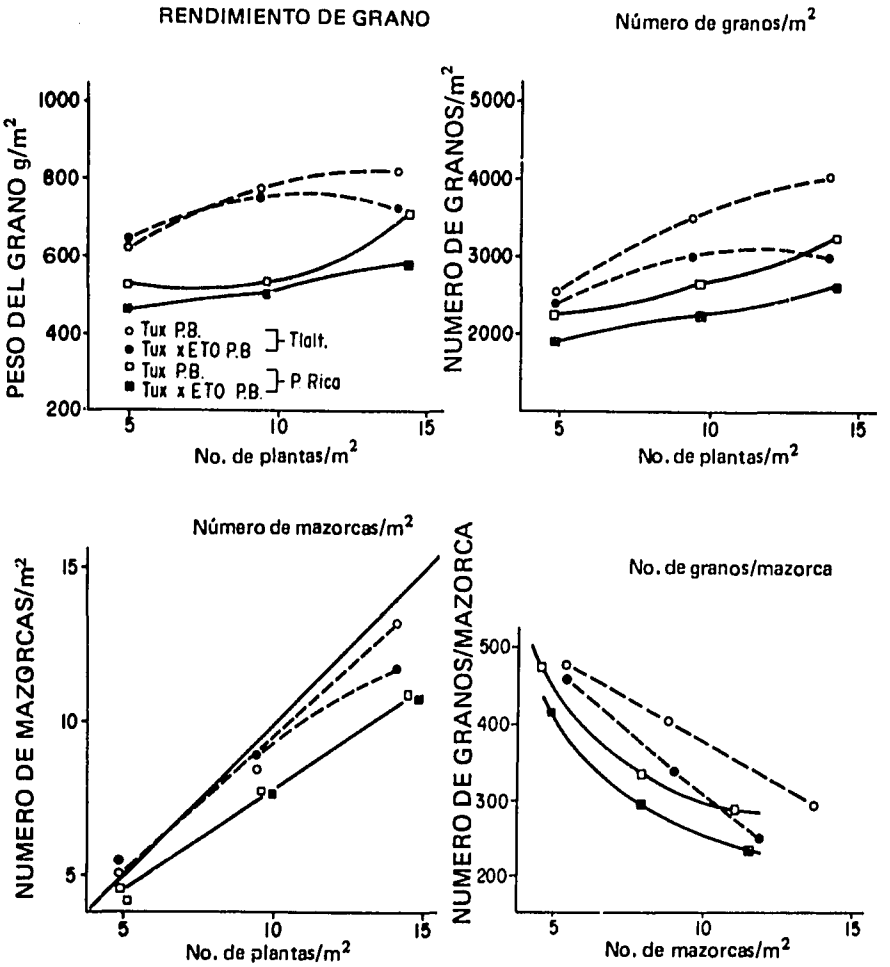


FIGURA 6 Análisis de factores del rendimiento de grano.

Formación del peso seco

La producción de peso seco de estos cultivos se muestra en la figura 7. Los puntos de interés en estas gráficas son:

1. El peso seco total producido aumentó conforme se incrementó la población de plantas. La duración del crecimiento no fue afectada por la población, y el aumento del peso seco fue el resultado de un incremento en la tasa de producción de materia seca (la tasa de crecimiento del cultivo, *C*). Los pesos secos en Poza Rica fueron menores que los de Tlaltizapán, debido a que el período de crecimiento fue más corto.

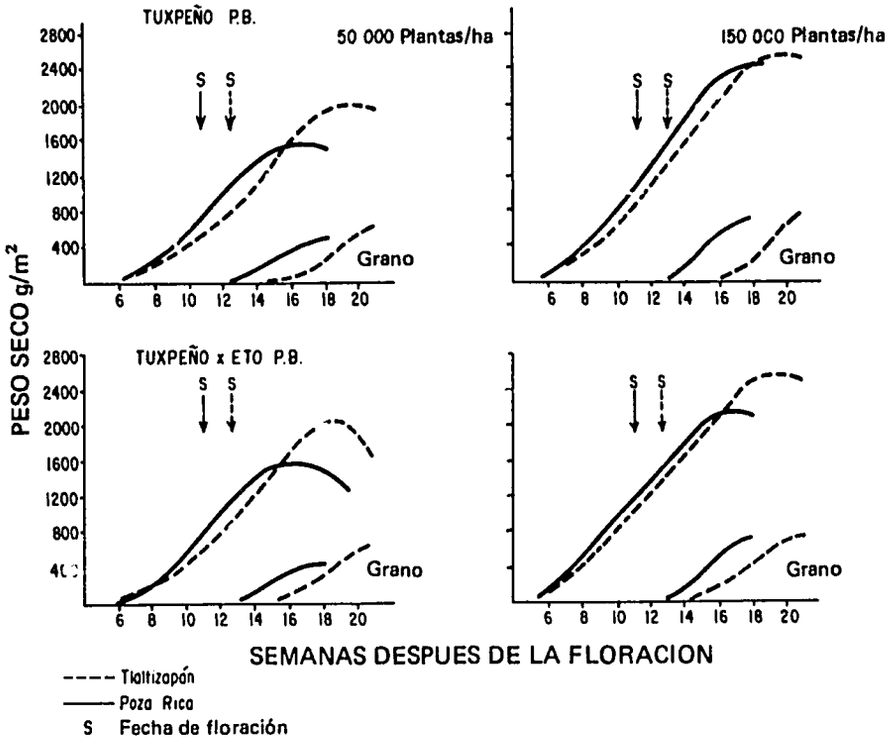


FIGURA 7 Peso seco y rendimiento de grano de maíz.

2. La tasa de crecimiento en Poza Rica fue tan alta o más alta que en Tlaltizapán. Por consiguiente, hay poca evidencia, de entre estos experimentos, que confirme la suposición de que los rendimientos de grano en las tierras bajas tropicales son menores debido a que las tasas de crecimiento del cultivo son limitadas por las altas pérdidas que ocurren por la respiración nocturna.

3. Después de la floración, en ambas variedades y poblaciones la tasa de incremento del peso seco del grano es menor que la tasa de incremento del peso seco total. En otras palabras, como ocurrió en el ejemplo anterior, sólo una fracción del peso seco producido después de la floración se transfiere al grano.

4. Una gran porción del peso seco del cultivo es crecimiento vegetativo, que sólo está indirectamente relacionado con el rendimiento de grano. Por ejemplo, 15 días después de la siembra, cuando comenzó la acumulación de peso seco en el grano, el Tuxpeño planta baja sembrado en Tlaltizapán, a un nivel de 150 000 plantas/ha, había producido entre 16 y 20 toneladas de materia seca por hectárea.

5. La diferencia comparativamente pequeña en las temperaturas registradas en uno y otro sitio tuvo un gran efecto sobre la tasa de desarrollo y, por lo tanto, en la curva de crecimiento. En Tlaltizapán el intervalo entre la siembra y la floración fue aproximadamente dos semanas más largo que en Poza Rica debido, principalmente a que en Tlaltizapán las temperaturas nocturnas son más bajas.

Area foliar

Como se anotó antes, estas diferencias en el peso seco del cultivo están relacionadas con las diferencias en el índice del área foliar. Por tanto, el aumento en la tasa de crecimiento del cultivo con el aumento en el nivel de población de plantas, está relacionado con un desarrollo más rápido de la superficie foliar y un mayor índice de área foliar. De manera semejante, el período de crecimiento más largo en Tlaltizapán, está relacionado con una mayor duración del área foliar que en Poza Rica. Esta diferencia en la duración del área foliar fue, por una parte, un efecto de la temperatura, y por otra, resultado de enfermedades de la hoja.

COMPARACION DE TUXPEÑO ALTO Y TUXPEÑO BAJO

Un tercero y último ejemplo es la diferencia en el rendimiento y en los componentes del rendimiento entre plantas altas y bajas de Tuxpeño y de Tuxpeño braquítico (tabla 2). Como en el primer ejemplo, estos datos serán reportados con más detalle por J. Yamaguchi en alguna otra publicación.

El Tuxpeño Crema 1 es alto y debido a su susceptibilidad al acamado, se sembró a densidades más bajas de población (25 000 a 50 000 plantas por hectárea) que las selecciones de planta baja o que las formas braquíticas (50 000 y 100 000 plantas/ha).

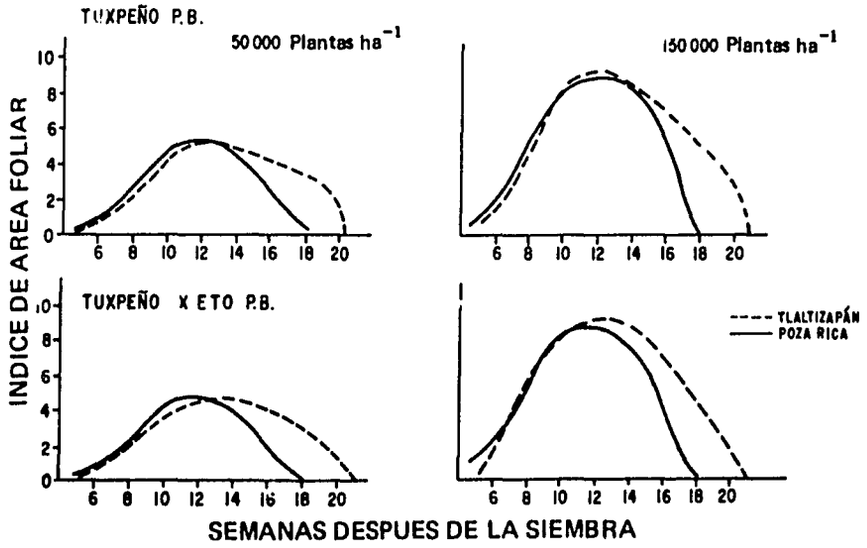


FIGURA 8 Indice de área foliar.

Rendimiento de grano y sus componentes

Tuxpeño Crema 1, a un nivel de 50 000 plantas por hectárea, dio el rendimiento más alto (5.81 ton/ha). El rendimiento de la selección Tuxpeño de planta corta, a 100 000 plantas/ha, fue ligeramente menor (5.61 ton/ha). Los granos de Crema 1 fueron más grandes que los de las otras variedades. Las diferencias en el rendimiento del Crema 1 y de las selecciones de planta baja, a 50 000 plantas/ha, se atribuyen principalmente a las diferencias en el tamaño del grano; los otros factores del rendimiento fueron semejantes en las dos variedades. El rendimiento de las selecciones de planta baja fue mayor que el de las dos variedades braquíticas, a los dos niveles de población.

En todas las variedades, el rendimiento de grano aumentó con un incremento en la población de plantas, pero la diferencia fue mayor en las plantas bajas que en los braquíticos. La población de plantas tuvo poco efecto sobre el tamaño del grano, y puesto que dicho tamaño fue semejante en las selecciones de planta baja y en los braquíticos, las diferencias en el rendimiento fueron determinadas principalmente por las diferencias en el número de granos por metro cuadrado. A 50 000 plantas por hectárea, el número de mazorcas por metro cuadrado en las selecciones de planta baja y en los braquíticos fue semejante, y las diferencias en el número de granos por metro cuadrado se debieron principalmente al mayor número de granos por mazorca en las plantas bajas. Sin embargo, a poblaciones más altas (100 plantas/ha), las diferencias entre las variedades con respecto al número de granos por mazorca fueron pequeñas, pero el Tuxpeño planta baja produjo más mazorcas por metro cuadrado que cualquiera de los braquíticos. Aún así, el 26% de las plantas del Tuxpeño planta baja no contribuyó al rendimiento a este nivel de población; en los braquíticos el número fue todavía más alto: 44% y 32%.

En un informe más detallado de los experimentos se examinarán estas diferencias en el rendimiento en términos de la producción y distribución del peso seco de estos cultivos, en la forma en que se ilustraron en los ejemplos anteriores.

RESUMEN

Mediante la manipulación de las poblaciones de plantas y del índice del área foliar, se pueden obtener tasas de crecimiento comparativamente altas (35 gramos/m^2/día) en las tierras tropicales bajas, y por las evidencias existentes parece improbable que la tasa de crecimiento del cultivo *per se* limite el rendimiento del maíz tropical. El problema radica más en la distribución del peso seco y, en las tierras tropicales bajas, en el período relativamente corto de acumulación de peso seco en el grano.

En los materiales de que se puede disponer hoy en día, una considerable porción del peso seco producido es crecimiento vegetativo que sólo se relaciona indirectamente con el rendimiento. De allí que, después de la floración, sólo una fracción del aumento del peso seco llegue al grano. Por tanto, hay probablemente un campo amplio para formar plantas en las cuales el patrón de

crecimiento y desarrollo sea tal que una porción mucho mayor de los recursos disponibles sean utilizados para producir grano.

La capacidad del cultivo para acumular carbohidratos en el grano está determinada principalmente por el número de granos por metro cuadrado. Las variedades descritas, a poblaciones de alrededor de 50 000 plantas/ha, producen ordinariamente unos 2 500 granos por m^2. Como se mostró, esto se puede aumentar mediante el incremento de la población de plantas, pero con los materiales disponibles y a los niveles de población que se necesitan para producir 4 000 granos por m^2, hay una gran proporción de plantas estériles. Por ello, es necesario que los fitogenetistas y los agrónomos conjunten sus esfuerzos a fin de que encuentren los métodos más adecuados para reducir la mayor parte o el total de esta pérdida, y también las pérdidas relacionadas con la disminución del número de granos por mazorca conforme se aumenta el número de plantas por metro cuadrado.

También es obvio que solamente será útil aumentar la capacidad del receptáculo si se mantiene una fuente (área foliar) lo suficientemente grande como para llenarlo. El envejecimiento de las hojas ocurre más rápidamente a altas temperaturas, y esto es, casi seguramente, un factor determinante en la duración del área foliar, que es relativamente corta en las variedades de las tierras tropicales bajas. Sin embargo, es interesante notar que, en el maíz Tuxpeño, un aumento en la duración del área foliar después de la floración ha sido un efecto indirecto en la selección de plantas bajas. Los patrones de desarrollo del área foliar y de envejecimiento son similares, pero debido a que las plantas florecen unos cinco días antes que los materiales de donde fueron seleccionadas, una mayor fracción del peso total se produce después de la floración. Estas y otras diferencias indican que hay un amplio campo para mejorar el rendimiento del maíz tropical. Aparte de la sequía y las enfermedades, hay pocas razones para creer que por lo general el ambiente físico limita el rendimiento de grano en las zonas tropicales.

De lo que conocemos acerca de las variedades tales como el Tuxpeño, que ya ha sido descrito, parece razonable suponer que, sin más cambios, podría lograrse un rendimiento de 10 ton/ha mediante la modificación del patrón de distribución del peso seco, y que con el esfuerzo conjunto de los fitogenetistas y los agrónomos esto se puede lograr.

INTERACCIONES ENFERMEDAD-INSECTO EN MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA

A. Ortega*
C. De León*
G. Granados*
S. K. Vasal*

La reacción de materiales de maíz opaco-2 a plagas de insectos y a patógenos ha recibido un estudio documentado bastante limitado. Sin embargo, la información actual sugiere que el endosperma suave del maíz opaco-2 pudiera estar asociado con la susceptibilidad a pudriciones de raíz por *Fusarium* y con la vulnerabilidad de los granos almacenados a las plagas de insectos.

Para hacer pruebas de comparación válidas de tales asociaciones, el gene opaco-2 debe estar presente en condiciones genéticas similares. Recientemente se han distribuido tales poblaciones, adecuadas para valles altos y para ambientes subtropicales y tropicales. Las variedades de maíz que se estudian en este informe se han sometido, en promedio, a tres cruzas reversivas, y los tipos modificados se han seleccionado por lo menos por tres ciclos.

PLAGAS Y ENFERMEDADES DE CAMPO

Una serie de 15 variedades de maíz (versión normal y versión opaco-2 en cada caso) se probaron en ambientes tropical húmedo, tropical semiárido y subtropical, Poza Rica, Obregón y Tlaltizapán, respectivamente). También se observaron un grupo de variedades convertidas a opaco-2 y sus contrapartes normales en dos ambientes de altura, El Batán y Toluca.

* CIMMYT, México.

Además, otro grupo de variedades, inclusive los tipos normal, opaco-2 y opaco modificado en cada caso, se usaron para determinar la tasa de secado de la mazorca y la reacción de cada tipo a diferentes hongos e insectos que se alimentan de la mazorca en un ambiente tropical húmedo (Poza Rica) y en un ambiente subtropical (Tlaltizapán). Se establecieron ensayos de campo usando parcelas de 5 metros, replicadas cuatro veces, en un diseño de parcelas divididas, con la variedad de maíz como parcela principal y con la versión según tipo de endosperma como subparcelas: normal, opaco y opaco modificado.

Se observaron los siguientes hongos e insectos:

Pudrición de mazorca:	*Fusarium moniliforme*
	Fusarium roseum
	Diplodia maidis
	Diplodia macrospora
Gusano de la mazorca:	*Diatraea saccharalis*
	Heliothis zea
Royas y tizones del follaje:	*Puccinia sorghi*
	Puccinia polysora
	Helminthosporium turcicum
	Herminthosporium maidis
Insectos en el follaje:	*Spodoptera frugiperda*
	Diatraea saccharalis
Pudriciones del tallo:	*Fusarium moniliforme*
Barrenador del tallo:	*Diatraea saccharalis*
Hongos en los granos almacenados:	Especies *Penicillum y Aspergillus*
Insectos en los granos almacenados:	*Sitophilus zeamais*
	Sitotroga cerealella

La reacción de la variedad en el campo fue determinada bajo incidencia natural de plagas de insectos y patógenos, con excepción de la roya en El Batán, la pudrición de mazorca causada por *Diplodia,* las pudriciones del tallo, y los insectos y hongos de los granos almacenados, los cuales se colocaron artificialmente en las partes apropiadas de la planta.

Por lo general, el análisis de las plagas y los patógenos sigue el orden de la lista precedente.

Pudriciones de la mazorca

Las tablas 1, 2 y 3 resumen la reacción de las variedades a *Fusarium* en cinco ambientes diferentes. La incidencia de *Fusarium* en un grupo de 15 materiales fue más alta en el medio ambiente tropical húmedo de Poza Rica. La reacción promedio de las variedades indicó que cerca del 50% de las variedades opacas fue afectada por *Fusarium*, mientras que la infección de las variedades normales fue inferior al 30%. Se presentó un grado extremo de susceptibilidad bajo ciertas condiciones genéticas, mientras que en otros, las diferencias entre las variedades

TABLA 1 Infección natural de pudrición de la mazorca por *Fusarium* en variedades normales y opaco-2 de 15 poblaciones de maíz: Poza Rica, Obregón y Tlaltizapán (1972)

Población de maíz	*Variedades de endosperma*		*Medias de poblaciones de maíz*
	Normal	*Opaco*	
	Poza Rica, Veracruz		
Francés Largo	8	46	27.0
Compuesto Blanco Caribe	19	48	33.5
La Posta	13	55	34.0
Antigua Gpo. 2	17	53	35.0
Compuesto K	38	35	36.5
Población Cristalina	18	56	37.0
PD(MS)6 X Granos Amarillos	38	41	39.5
(Mix 1 X Col. Gpo) Eto Bl.	27	53	40.0
Compuesto Grano Duro	27	54	40.5
Puerto Rico Gpo. 1	36	51	43.5
Nicarillo	40	48	44.0
Tuxpeño X PD(MS)6	42	47	44.5
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2	33	48	44.5
Compuesto L (ME)C_2	35	54	44.5
Tuxpeño X Antigua Gpo. 2	40	61	50.5
Medias de variedades de endosperma	28.7	50.0	
	Obregón, Sonora		
Nicarillo	7	28	17.5
Tuxpeño X PD(MS)6	7	32	19.5
(Mix 1 X Col. Gpo. 1) Eto	7	37	22.0
Compuesto Blanco Caribe	7	38	22.5
Compuesto Grano Duro	9	37	23.0
Población Cristalina	9	37	23.0
PD(MS)6 X Gr: nos Amarillos	13	34	23.5
La Posta	7	41	24.0
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2	6	43	24.5
Tuxpeño X Antigua Gpo. 2	8	51	29.5
Compuesto K	28	36	32.0
Antigua Gpo. 2	9	56	32.5
Compuesto L (ME)C_2	10	63	36.5
Puerto Rico Gpo. 1	24	70	47.0
Medias de variedades de endosperma	10.7	43.0	
	Tlaltizapán, Morelos		
Compuesto Blanco Caribe	4	13	8.5
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2	5	15	10.0
Francés Largo	11	16	13.5
Tuxpeño X PD(MS)6	8	20	14.0
PD(MS)6 X Granos Amarillos	6	23	14.5
Compuesto Grano Duro	6	22	15.0
La Posta	10	20	15.0
Nicarillo	12	18	15.0
(Mix 1 X Col. Gpo. 1) Eto	12	19	15.5
Puerto Rico Gpo. 1	10	21	15.5
Compuesto L (ME)C_2	16	19	15.5

TABLA 1 (continuación)

Población de maíz	Variedades de endosperma: Normal	Variedades de endosperma: Opaco	Medias de poblaciones de maíz
Compuesto K	16	20	18.0
Antigua Gpo. 2	7	30	18.5
Población Cristalina	12	25	18.5
Tuxpeño X Antigua Gpo. 2	15	26	20.5
Medias de variedades endospermas	10.1	20.4	

Nota: Las diferencias entre medias se establecieron sobre los valores transformados (arco seno $\sqrt{\text{porcentaje}}$) al nivel de 5%. Los datos presentados son los porcentajes reales. Las medias cubiertas por la misma línea no son significativamente diferentes. En Obregón, el Francés Largo se eliminó debido a su mal plantel.

normal y opaca no fueron tan grandes. Este comportamiento también fue similar en los otros ambientes y para varias poblaciones.

En el medio ambiente semiárido tropical de Obregón (tabla 1), bajo irrigación, la pudrición de mazorca por *Fusarium* fue la más alta en frecuencia. De nuevo, la infección en las variedades opacas fue significativamente más alta que en los tipos normales. En promedio, cerca del 40% de las mazorcas opacas

TABLA 2 Infección natural (porcentaje de mazorcas dañadas) por pudrición de mazorca por *Fusarium* en versiones normales y opaco-2 de varias poblaciones de maíz: El Batán y Toluca (1972)

Poblaciones de maíz	Variedades de endosperma: Normal	Variedades de endosperma: Opaco	Medias de población de maíz
El Batán, México			
Compuesto J	10	24	17.0
Mexico Gpo. 10	15	25	20.0
Hidalgo 8	8	38	23.0
Puebla Gpo. 1	12	42	27.0
CIPA	15	40	27.5
Compuesto I	20	37	28.5
Compuesto Celaya	18	41	29.5
Mexico Gpo. 10 X Hidalgo 8	18	53	35.5
Medias de variedades de endosperma	14.5	37.5	
Toluca, México			
Compuesto I	14	14	14.0
Mexico Gpo. 10	10	19	14.5
Hidalgo 8	9	22	15.5
Mexico Gpo. 10 X Hidalgo 8	16	22	19.0
Medias de variedades de endosperma	12.2	19.2	

Nota: Las diferencias entre medias fueron establecidas sobre los valores transformados (arco seno $\sqrt{\text{porcentaje}}$) al nivel del 5%. Los datos presentados aquí son los porcentajes reales. Las medias cubiertas por la misma línea no son significativamente diferentes.

TABLA 3 Infección natural (porcentaje de mazorcas dañadas) por pudrición de mazorca por *Fusarium* en versiones normales, opaco-2 y modificadas de cuatro poblaciones de maíz: Tlaltizapán y Poza Rica (1922)

Poblaciones de maíz	*Variedades de endosperma*			*Media de poblaciones de maíz*
	Normal	*Opaco*	*Modificado*	
	Tlaltizapán, Morelos			
Compuesto Blanco Caribe	16	16	12	14.6
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2 X Ven.	11	18	19	16.0
Compuesto K	15	20	20	13.3
Compuesto CIMMYT	15	19	23	15.0
Medias de variedades de endosp.	14.2	18.2	18.5	
	Poza Rica, Veracruz			
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2 X Ven.	32	53	60	48.3
Compuesto K	23	62	64	49.6
Compuesto Blanco Caribe	50	44	63	52.3
Compuesto CIMMYT	34	68	56	52.6
Medias de variedades de endosp.	34.7	56.7	60.7	

Nota: Las diferencias entre las medias se establecieron sobre los valores transformados (arco seno $\sqrt{\text{porcentaje}}$) al nivel del 5%. Los datos presentados son porcentajes reales. Las medias cubiertas por la misma línea no son significativamente diferentes.

tuvieron *Fusarium* en comparación con menos del 10% de las mazorcas normales.

En el medio ambiente subtropical de Tlaltizapán (tabla 2), afectó *Fusarium*, cerca del 20% de las mazorcas de opacos, en comparación con algo menos del 10% de las mazorcas de los tipos normales.

En El Batán (tabla 1), localizado en el Valle de México, también fue evidente la susceptibilidad de las poblaciones probadas. Más del 30% de las mazorcas de opacos fue dañado por *Fusarium* en comparación con apenas cerca del 15% en el caso de los tipos normales. La incidencia más baja de todas las localidades ocurrió en Toluca, el otro medio ambiente de tierras altas. Sin embargo, las variedades opacas también mostraron una tasa significativamente más alta de pudriciones de mazorcas causadas por *Fusarium*.

En tres de los cinco medio ambientes entre los que el contraste es mayor (Obregón, Tlaltizapán y El Batán), se determinaron diferencias significativas entre las poblaciones. Las variedades normales de Compuesto Blanco Caribe, La Posta y Ver. 181 X Ant. Gpo. 2 y las variedades opaco-2 de Nicarillo, Compuesto K, Compuesto Blanco Caribe y Tuxpeño X Pd (MS) 6 fueron, en promedio, los materiales que mostraron la tasa más baja de pudriciones de mazorcas por *Fusarium*. Entre las poblaciones de maíz para tierras altas, el Compuesto J y México Gpo. 10 fueron las menos susceptibles.

Cuando se compararon las variedades normal, opaco y modificada (tabla 3), los materiales convertidos a opaco-2 presentaron de nuevo una infección significativamente más alta de *Fusarium*, en Poza Rica. En Tlaltizapán no hubo diferencias importantes, pero en las variedades opacas la tasa de pudrición de mazorca fue mayor.

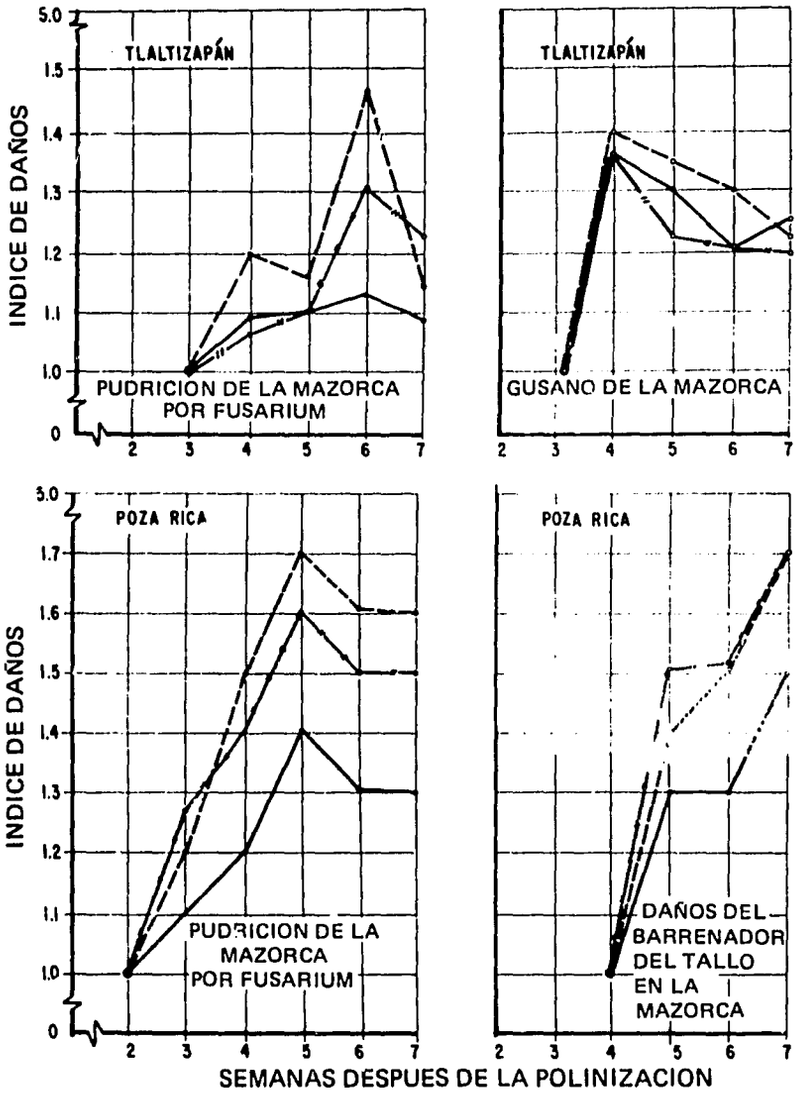


FIGURA 1 Reacción promedio de cinco poblaciones de maíz y sus versiones opaco-2 y opaco-2 modificado bajo incidencia natural de los agentes indicados (1972). Véase la clave en la figura 2.

Prácticamente no hubo diferencias entre las variedades normal, opaco y modificada respecto a la infección, por *Diplodia*, que causó la pudrición de la mazorca.

Esta información parece confirmar reportes anteriores. Independientemente de las condiciones genéticas o del medio ambiente, las variedades opaco-2 y

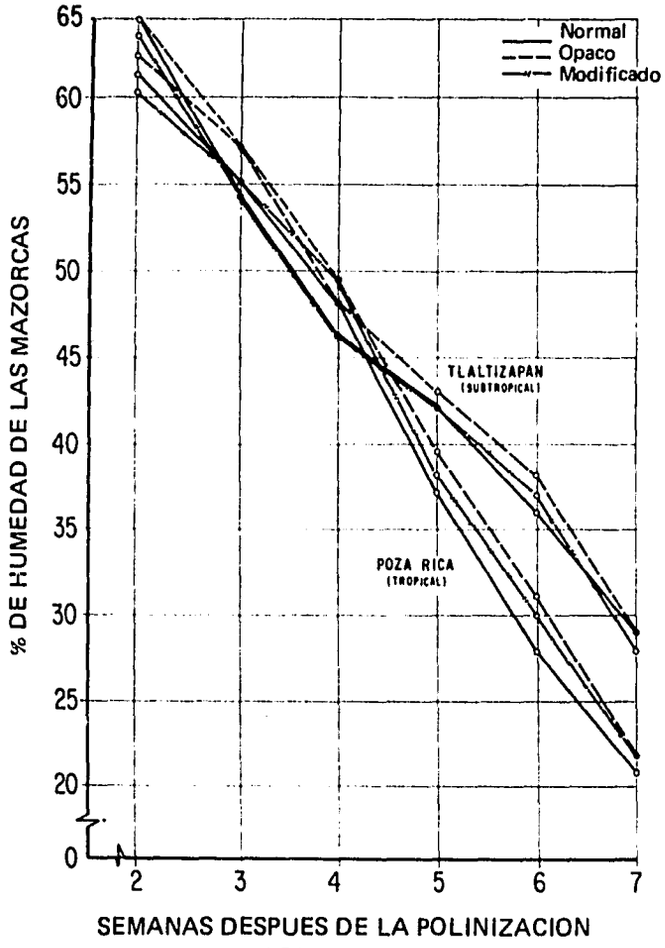


FIGURA 2

modificada presentaron infecciones de pudrición de mazorca por *Fusarium* aún mayores que las de sus contrapartes normales. Sin embargo, también se han reportado variaciones en sus reacciones al medio y al paso del tiempo. Por tanto, las condiciones agronómicas bajo las cuales crece el cultivo y la prevalencia de una raza determinada del hongo pueden acentuar las diferencias entre los materiales opacos y normales.

Con anterioridad se indicó que parece haber una asociación clara entre el endosperma opaco-2 y la incidencia de pudrición por *Fusarium*. Se hicieron intentos para determinar hasta qué punto el mayor contenido de humedad de los materiales opaco-2 puede influir en que se tenga mayor susceptibilidad. Las pruebas se hicieron en regiones húmedo tropical y subtropical (Poza Rica y Tlaltizapán). Se iniciaron muestreos semanales dos semanas después del espigamiento. Las parcelas consistieron de cuatro surcos de 10 m de largo, con cuatro repeticiones. La infección por *Fusarium* y el daño por gusanos de la

mazorca se estimaron mediante un índice que reflejaba una media ponderada de las mazorcas, con valores de 1 (sin daño) a 5 (daño severo).

Aunque hubo una baja incidencia de *Fusarium* (figura 1), hubo diferencias claras en susceptibilidad. Los tipos opaco-2 fueron más dañados que los normales.

El patrón de secamiento de la mazorca de la mayoría de las variedades fue similar en ambos medio ambientes. La humedad de las variedades normales fue de 2 a 3% menor que la de los opacos y las variedades modificadas fueron intermedias entre las dos primeras (figura 2).

Queda por determinarse si diferencias de uno a tres por ciento en el contenido de humedad de la mazorca, son biológicamente significativas en lo que respecta a favorecer una mayor tasa de pudrición de mazorca por *Fusarium* en los tipos opacos. Sin embargo, la información disponible sugiere que es posible que haya una asociación. La infección por *Fusarium* parece estar asociada con el ataque de gusano de la mazorca, lo cual fue evidente en los experimentos hechos en Poza Rica.

También se ha reportado una mayor susceptibilidad de las variedades de opaco-2 a la pudrición de la mazorca por *Diplodia*. Los hallazgos provenientes del ambiente tropical húmedo de Poza Rica no parecen apoyar este punto de vista. Nuestros informes se basan en mazorcas que fueron inoculadas artificialmente en la época en que emergían los estigmas (2.5×10^6 esporas/ml). Los datos muestran que el hongo estaba creciendo en las mazorcas cuatro semanas después de la polinización. La infección media y el crecimiento medio del hongo fueron mayores en los tipos normales, intermedios en las variedades opacas y más bajas en las modificadas. Este hallazgo parece sugerir una asociación negativa con el contenido de humedad de la mazorca.

Gusanos eloteros o de la mazorca

En general, la información indica una tendencia de los opacos a ser más dañados por los gusanos de la mazorca (*Heliothis zea* y *Diatraea saccharalis*) que los normales en los cuatro medio ambientes bajo estudio. El rango de la reacción entre los materiales probados sugieren que el grado de susceptibilidad varía con respecto a las diferentes condiciones genéticas. Los datos de la tabla 5 ilustran este punto. De los 15 materiales de maíz, cuatro entradas mostraron daño significativamente menor, siete entradas mostraron daño intermedio y cuatro entradas el daño más severo. Se observó una estrecha asociación entre el daño causado por el gusano de la mazorca y *Fusarium* en la mayoría de los medio ambientes. Los materiales con la más baja incidencia de *Fusarium*, tales como Compuesto Blanco Caribe, Nicarillo, La Posta y Veracruz 181 X Ant. Gpo. 2, también mostraron la menor proporción de daño causado por gusanos de la mazorca. La misma tendencia fue evidente en el grupo de variedades en que se observaron los tipos normales, opacos y modificados.

El daño del barrenador del tallo a la mazorca (tabla 4) fue 15% mayor en Poza Rica que en Tlaltizapán, y afectó (tabla 5) a las variedades modificadas en un 6% más que a las normales. El daño ocasionado a las variedades opacas fue intermedio entre los otros dos tipos (figura 2). En las regiones altas, El Batán y Toluca, no hubo ninguna diferencia significativa.

TABLA 4 Ataque natural por el barrenador del tallo *Diatraea saccharalis* sobre (porcentaje dañado) mazorcas de versiones normales, opaco-2 y opaco-2 modificadas de varias poblaciones de maíz: Poza Rica (1972)

Poblaciones de maíz	*Variedades de endosperma*		*Medias de poblaciones de maíz*
	Normal	*Opaco*	
Nicarillo	22	20	21.0
Población Cristalina	20	27	23.5
Antigua Gpo. 2	12	37	24.5
La Posta	20	32	26.0
PD(MS)6 X Granos Amarillos	27	32	29.5
Compuesto Grano Duro	23	39	31.0
Francés Largo	26	36	31.0
Compuesto Blanco Caribe	24	42	33.0
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2	33	33	33.0
Puerto Rico Gpo. 1	29	40	34.5
Tuxpeño X Ant. Gpo. 2	33	38	35.5
Compuesto $L(ME)C_2$	27	44	35.5
Compuesto K	39	37	38.0
Tuxpeño X PD(MS)6	50	36	43.0
(Mix. 1 X Col. Gpo. 1) Eto	29	64	46.5
Medias de variedades de endosperma	27.6	37.1	

Poblaciones de maíz	*Variedades de endosperma*			*Medias de poblaciones de maíz*
	Normal	*Opaco*	*Modificado*	
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2	25	42	32	33.0
Compuesto Blanco Caribe	43	45	54	47.3
Compuesto K	33	51	61	48.3
Compuesto CIMMYT	44	47	55	48.6
Medias de variedades de endosp.	36.2	46.2	50.5	

Nota: Las diferencias entre medias se establecieron sobre los valores transformados (arco seno $\sqrt{\text{porcentaje}}$) al nivel del 5%. Los datos presentados son porcentajes reales. Las medias cubiertas por la misma línea no son significativamente diferentes.

El daño que causan al follaje los gusanos cogollero y barrenador del tallo fueron similares para los tipos normal, opaco y modificado. No se encontraron diferencias significativas entre las variedades normal y opaco con respecto a la susceptibilidad a la pudrición ocasionada por *Fusarium* y el gusano barrenador del tallo. Es posible que las diferencias observadas entre los materiales de maíz estén relacionadas con una reacción conocida hacia las pestes y no con el gene opaco-2.

Aún no se determina la posible asociación del carácter endospérmico con la reacción a los agentes que atacan el follaje o el tallo. Es obvio que se puede esperar una susceptibilidad aumentada de los materiales convertidos a opaco-2 si en las primeras generaciones el progenitor no recurrente ha sido un donador opaco-2 no adoptado.

TABLA 5 Ataque natural por el gusano de la mazorca *Heliothis zea* sobre versiones normales, opaco-2 y opaco-2 modificadas de varias poblaciones de maíz: Tlaltizapán (1972).

Poblaciones de maíz	*Variedades de endosperma*		*Medias de poblaciones de maíz*
	Normal	*Opaco*	
PD(MS)6 X Granos Amarillos	7	9	8.0
Nicarillo	11	8	9.5
Compuesto Blanco Caribe	8	13	10.5
Tuxpeño X PD(MS)6	10	11	10.5
Francés Largo	12	10	11.0
La Posta	11	12	11.5
Población Cristalina	14	10	12.0
Compuesto Grano Duro	12	14	13.0
(Mix. 1 X Col. Gpo. 1) Eto	12	14	13.0
Compuesto L(ME)C_2	17	9	13.0
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2	8	19	13.5
Tuxpeño X Ant. Gpo. 2	18	13	15.5
Antigua Gpo. 2	13	20	16.5
Puerto Rico Gpo. 1	19	15	17.0
Compuesto K	15	23	19.0
Medias de variedades de endosperma	12.4	13.3	

Poblaciones de maíz	*Variedades de endosperma*			*Medias de poblaciones de maíz*
	Normal	*Opaco*	*Modificado*	
Compuesto Blanco Caribe	15	12	13	13.3
Compuesto CIMMYT	14	12	18	14.6
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2 X Ven.	8	19	18	15.0
Compuesto K	14	19	24	19.0
Medias de variedades de endosp.	12.7	15.5	18.2	

Nota: Las diferencias entre medias se establecieron sobre los valores transformados (arco seno $\sqrt{\text{porcentaje}}$) al nivel del 5%. Los datos presentados aquí son porcentajes reales. Las medias cubiertas por la misma línea no son significativamente diferentes.

Royas y tizones

Las royas y tizones están entre los más importantes patógenos foliares. Los registros con respecto a su tasa de infección no revelaron diferencia alguna entre los tipos normal, modificado u opaco en ninguno de los medio ambientes muestreados. En las poblaciones de maíz se observaron diferencias en susceptibilidad o resistencia.

Hongos de granos almacenados

Las variedades de maíz con sus tipos normal, opaco-2 y opaco-2 modificado que se utilizaron en el campo se probaron también en el laboratorio para evaluar

su reacción a los hongos de los granos almacenados. Estas variedades fueron: Compuesto K, Ver. 181 X Ant. Gpo. 2, Compuesto CIMMYT, el Compuesto amarillo de endosperma duro y el Compuesto Blanco Caribe.

La humedad de las muestras se aumentó deliberadamente a 16% al añadirles una cantidad predeterminada de agua que contenía esporas de las especies *Aspergillus* y *Penicillium*. Luego las muestras se colocaron en ambientes cerrados donde la humedad relativa (HR) se había ajustado a 75 u 85% mediante soluciones sobresaturadas de NaCl o KCl, respectivamente. Todos los tratamientos siguieron diseños de parcelas divididas y se repitieron tres veces. En el diseño, los tratamientos principales incluyeron a las poblaciones de maíz y los subtratamientos incluyeron dos o tres versiones dentro de cada población de maíz.

Se tomaron muestras de todos los tratamientos a intervalos de 20 días y se utilizaron procedimientos estándar para analizar con respecto a humedad, viabilidad de la semilla y número de colonias de *Aspergillus* y *Penicillium*.

En la tabla 6 se presentan las variaciones en la humedad de la semilla. No se hizo análisis estadístico, puesto que se consideró una sola repetición. Sin embargo, en la tabla 6 se indica que cuando la HR (cuando todas las muestras de granos alcanzan estabilidad en contenido de humedad) es de 75% en las variedades opaco y opaco modificado, hubo una ligera tendencia a mantener un nivel de humedad un poco mayor que los tipos normales. Sin embargo, las diferencias en contenido de humedad fueron insignificantes entre las diferentes poblaciones bajo estudio. Se observaron tendencias semejantes al nivel de 85% de HR, con un incremento rápido de humedad en las etapas iniciales del experimento. Los datos muestran que todos los tratamientos fueron similares en su tendencia a alcanzar cierta estabilidad de humedad a niveles uniformes.

Se investigaron los efectos de las dos diferentes condiciones de humedad sobre la viabilidad de semilla de las variedades de maíz normal, opaco y modificado de las mismas poblaciones. A 75% de HR no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las 6 muestras. A 85% se encontraron algunas diferencias tanto en las muestras iniciales como en las posteriores. Sin embargo, no se encontraron diferencias consistentes en la

TABLA 6 Variación en porcentaje de humedad del grano en versiones normales, opacas y modificadas de cinco poblaciones de maíz mantenidas a 75% y 85% de humedad relativa: El Batán (1972)[a]

	75% HR		*85% HR*	
	Muestra No.		*Muestra No.*	
Versión	*1*	*6*	*1*	*6*
Normal	15.8	15.0	16.9	17.0
Opaco	16.6	14.9	17.5	17.2
Modificado	16.4	15.5	17.5	17.3

[a] Valores de una repetición.

TABLA 7 Variación en viabilidad de la semilla de versiones normales, opacas y modificadas de cinco poblaciones de maíz, mantenidas a 75% y 85% de humedad relativa: El Batán (1972)[a]

	85% HR	
	Muestra No.	
Versión	*1*	*6*
Normal	95	38
Opaco	91	45
Modificado	93	40
LSD 5%	3	N.S.

[a] No hubo diferencias entre tratamientos a 75% HR.

TABLA 8 Variación en viabilidad de la semilla en versiones normales y opacas de diez poblaciones de maíz, mantenidas a 75% y 85% de humedad relativa: El Batán 1972)

	75% HR		*85% HR*	
	Muestra No.		*Muestra No.*	
Versión	*1*	*6*	*1*	*6*
Normal	94	83	94	59
Opaco	93	75	92	45
LSD 5%	N.S.	4	N.S.	4

germinación entre las variedades opaco, normal y modificado de las 5 poblaciones en estudio (tabla 7).

En otra serie de materiales, todas las variedades reaccionaron casi igual durante todo el experimento en relación con la germinación de las variedades de maíz normal y opaco. Sin embargo, en las etapas finales fue evidente que las variedades normal y opaco de Población Cristalina, Tuxpeño X Ant. Gpo. 2 y La Posta presentaron los valores germinativos más bajos. En el último muestreo las diferencias en la germinación entre las versiones fueron significativas y consistentes al nivel de 5% (tabla 8).

El aumento de las colonias de *Aspergillus* (entre las variedades normal, opaco y modificado) se evaluó al cultivar *Aspergillus* en un medio preparado de malta, sal y agar y al registrar los logaritmos del número real de colonias. En la tabla 9 se indica que en los primeros muestreos a 75% de HR, las versiones opacas presentaron un sustrato significativamente menor para *Aspergillus*, permitiendo la tasa de crecimiento de hongos más alta en la variedad normal que en la modificada. Sin embargo, en el último muestreo, todas las variedades de las cinco poblaciones reaccionaron de manera similar, indicando que las tres variedades en todas las poblaciones fueron igualmente susceptibles de infección después de 6 meses bajo condiciones desfavorables de almacenamiento.

TABLA 9 Variación[a] de colonias de especies *Aspergillus* en versiones normales, opacas y modificadas de cinco poblaciones de maíz mantenidas a 75% y 85% de humedad relativa: El Batán (1972)

	75% HR		*85% HR*	
	Muestra No.		*Muestra No.*	
Versión	*2*	*6*	*2*	*6*
Normal	4.91	4.66	6.44	6.38
Opaco	5.27	4.56	6.45	6.12
Modificado	4.97	4.76	6.29	6.16
LSD 5%	0.18	N.S.	N.S.	0.21

[a] Valores expresados en logaritmos del número de colonias.

TABLA 10 Variación[a] en el número de colonias de especies *Aspergillus* en versiones normales, opacas de 10 poblaciones de maíz, mantenidas a 75% y 85% de humedad relativa: El Batán (1972)

	75% HR		*85% HR*	
	Muestra No.		*Muestra No.*	
Versión	*1*	*6*	*1*	*6*
Normal	4.37	4.96	4.22	7.29
Opaco	4.22	5.05	4.22	7.27
LSD 5%	0.11	N.S.	N.S.	N.S.

[a] Valores expresados en logaritmos del número de colonias.

Los primeros muestreos de los mismos tratamientos a 85% de HR no indicaron diferencias bien definidas y, al parecer, todas eran susceptibles de la misma manera. Empero, en el sexto y último muestreo, las variedades normales tuvieron un mayor aumento de hongos que las variedades opaco y modificado.

La variación en la tasa de desarrollo de *Aspergillus* en las variedades normales y opacas de las mismas poblaciones se aprecia en la tabla 10. A 75% de HR, las variedades opacas mostraron un crecimiento fungoso significativamente menor durante los primeros muestreos. Posteriormente no se detectaron diferencias estadísticas entre las variedades. A 85% de HR no se pudieron detectar diferencias entre las variedades normales y opacas de todas las poblaciones.

La tasa de crecimiento de *Penicillium* en las variedades normales, opacas y modificadas se midió mediante el método descrito para *Aspergillus*. A 75% de HR no se apreciaron diferencias significativas entre las variedades normales, opacas y modificadas a través de los experimentos (tabla 11).

TABLA 11 Variación[a] de colonias de especies *Penicillium* en variedades normales, opacas y modificadas de cinco poblaciones de maíz mantenidas a 75% y 85% de humedad relativa: El Batán (1972)

	75% HR		*85% HR*	
	Muestra No.		*Muestra No.*	
Variedad	*2*	*6*	*2*	*6*
Normal	4.17	4.76	6.45	7.49
Opaco	4.19	4.66	6.60	7.52
Modificado	4.22	4.61	6.30	7.56
LSD 5%	N.S.	N.S.	0.19	N.S.

[a] Valores expresados en logaritmos del número de colonias.

A 85% de HR se observaron diferencias significativas entre variedades normales, opacas y modificadas, en los muestreos iniciales (segundo, tercero y cuarto); las variedades opacas fueron consistentemente las más dañadas. Los muestreos quinto y sexto no mostraron diferencias entre las variedades, como se observó para *Aspergillus*.

En las evaluaciones del crecimiento de *Penicillium* para solamente las variedades normales y opacas, a 75% y 85% de HR no se encontraron diferencias significativas entre unas y otras.

En resumen, al considerar el comportamiento promedio de las poblaciones de maíz, al nivel de 85% de HR todas las variedades de maíz mostraron un incremento gradual del contenido de humedad antes de alcanzar el punto de estabilización. Este incremento fue mayor en las variedades modificadas, intermedio en los tipos opacos y menor en los tipos normales.

Al nivel de 75% de HR los tipos modificados retuvieron una cantidad ligeramente mayor de humedad que los normales y los opacos.

En promedio, el desarrollo de *Penicillium* fue esencialmente el mismo en las tres variedades de endosperma a los dos niveles de humedad.

El incremento de *Aspergillus* fue ligeramente mayor en los tipos opacos en ambos niveles de humedad; la reacción de las variedades normales y modificadas fue semejante.

Sólo una ligera disminución de la germinación se registró en los tres tipos de endosperma al nivel de 75% de HR. Al nivel de 85% de humedad, la germinación disminuyó en alrededor de 45% en las tres variedades.

Las relaciones entre la humedad del grano, el desarrollo de los hongos y la reducción de la germinación no fueron claras cuando se consideraron separadamente los datos de cada población. Sin embargo, las observaciones sugieren que el desarrollo fungoso en algunas poblaciones de maíz pudiera estar estrechamente asociado con el nivel de humedad más que con el tipo de endosperma.

TABLA 12 Porcentaje de emergencia de gorgojos del maíz y de palomilla del grano de maíz de versiones normales, opacas y modificadas de cuatro poblaciones de maíz: El Batán (1972).

Población de maíz	*Variedades de endosperma*			*Medias de población de maíz*
	Normal	*Modificado*	*Opaco*	
Gorgojo, *Sitophilus zeamais*				
Compuesto K	5	13	15	11.0
Compuesto amarillo de endosperma duro	17	18	29	21.3
Compuesto CIMMYT	8	19	56	27.6
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2 X Ven.	16	20	55	30.3
Medias de variedades de endosperma	11.5	17.5	38.7	
Palomilla, *Sitotroga cerealella*				
Compuesto K	65	72	74	70.3
Compuesto CIMMYT	70	66	79	71.7
Compuesto amarillo de endosperma duro	83	60	74	72.4
Ver. 181 X Ant. Gpo. 2 X Ven.	69	87	93	83.0
Medias de variedades de endosperma	71.7	71.2	80.0	

Nota: Promedio de cuatro repeticiones.

Insectos en los granos almacenados

Hay una considerable evidencia de que el endosperma suave asociado con el gene opaco-2 hace a los granos más vulnerables a las plagas de insectos en los granos almacenados.

En la prueba mostrada en la tabla 12, el grado de vulnerabilidad se estimó mediante el registro del número de insectos que emergía de muestras de 100 granos. La susceptibilidad al gorgojo *Sitophilus zeamais* varió entre los tipos dentro de las variedades. El Compuesto K fue la población menos dañada, independientemente del tipo, mientras que Ver. 181 X Ant. Gpo. 2 Ven. 1 mostró la más alta emergencia de gorgojos y el daño mayor.

El patrón de susceptibilidad a los gorgojos parece claro. En todos los casos, los normales fueron los tipos menos dañados. En el Compuesto K y el Compuesto CIMMYT, las tasas de emergencia de insectos fueron dos veces más altas en la versión modificada que en la normal, mientras que en Ver. 181 X Ant. Gpo. 2 y Compuesto Amarillo de Endosperma duro prácticamente no hubo diferencia alguna entre los tipos normales y modificado. En promedio, las tasas de emergencia para las variedades opacas fueron de 3 a 4 veces más altas que las normales. Es posible que las diferencias en el daño causado por los gorgojos y la emergencia entre los tipos normal y modificados sean significativas.

Con excepción de Compuesto Amarillo de Endosperma Duro, la emergencia de la palomilla (*Sitotroga cerealella*) fue ligeramente más alta en las variedades opacas que en los tipos modificados o normal. En promedio, no hubo diferencias en emergencia de palomilla entre los tipos normal y modificado.

CONCLUSION

Estamos conscientes de la necesidad de mejorar genéticamente con respecto a resistencia contra pudrición de mazorca por *Fusarium* y contra gusanos de la mazorca en los tipos opacos que parecen vulnerables a estos organismos.

La vulnerabilidad a algunos de los insectos de granos almacenados más importantes pudiera disminuir a medida que se registren avances en la reducción de la porción de endosperma suave de los tipos opaco-2.

No parece haber una asociación entre los materiales convertidos a opaco-2 y sus reacciones a enfermedades o plagas de insectos en las hojas y el tallo.

En la sección de *Preguntas y Respuestas* hay un análisis de esta ponencia.

MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ: ASUNTOS Y PROBLEMAS ACTUALES

O. E. Nelson*

Considerando la posibilidad de utilizar maíz de alta calidad proteínica, es apropiado señalar que hay tres etapas de investigación diferentes y que nosotros estamos ahora en la primera. Estas se pueden explicar brevemente como: 1) utilización del material y la tecnología disponibles, para hacer aprovechable el maíz de alta calidad proteínica tan rápidamente como sea posible; 2) consideración de todos los medios aprovechables para incrementar el nivel de lisina (considerado como porcentaje del peso seco) sobre los que se han encontrado hasta ahora en maíz opaco-2; y 3) las posibilidades que se están considerando ahora, como otros medios de incrementar el contenido de aminoácidos esenciales limitantes en las plantas.

Esta conferencia se concentra específicamente en el primero de estos objetivos. Esto es, considerar qué pasos deberán darse ahora para hacer del maíz de alta calidad proteínica, una realidad práctica y para inducir a la gente a utilizar tales poblaciones mejoradas.

Basta recordar la primera conferencia sobre maíces con alto contenido de lisina, celebrada seis años atrás, para comprender cuánto han logrado los fitomejoradores e investigadores en campos afines. Lo más importante, es que varios investigadores están reportando que ellos han desarrollado híbridos opaco-2 con rendimientos que están dentro del rango de los mejores tipos no opacos. También ha habido un enfoque más agudo en los problemas que pueden encontrarse en la producción de maíz opaco-2. Comprendemos que hay muchos otros cuyas dificultades son triviales, pero que deben ser considerados importantes en la producción de maíz opaco-2, como, por ejemplo, la aparentemente mayor susceptibilidad a *Fusarium* y al gorgojo sobre la que informó A. Ortega.

* Laboratory of Genetics, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.

En reconocimiento a este progreso que ha ocurrido en la productividad de maíz de alta calidad proteínica es conveniente recordar que el curso del mejoramiento de rendimientos durante estos años, ha seguido muy de cerca las predicciones de D. E. Alexander, quien, en ese tiempo expresó su confianza en que las dificultades serían superadas. Esto fue en un momento en que muchos fitomejoradores creían que las dificultades serían insuperables.

Como en este simposio se abordará el tema de la más rápida utilización de maíz de alta calidad proteínica, quisiera discutir las otras dos etapas: esto es, la posibilidad de elevar el nivel de los aminoácidos esenciales limitantes dentro de los genotipos mayores ya identificados así como la posibilidad de tener la capacidad máxima para incrementar el contenido de un sólo aminoácido simple. Se desea continuar elevando los niveles de lisina, ya que aún no son completamente adecuados para los requerimientos de humanos no lactantes o de animales domésticos no rumiantes.

Se han sugerido varias estrategias. La primera de éstas es la selección para un contenido proteínico más alto, y pienso que las posibilidades en este aspecto no han sido completamente exploradas.

La segunda estrategia ha sido la posible utilización de la mutación harinoso-2. Esto ha sido de un interés considerable por varias razones. Primero, la lisina como un porcentaje de la proteína en las poblaciones harinoso-2, depende de las condiciones genéticas en las cuales se encuentra el gene. Sin embargo, es posible encontrar una cantidad adecuada de lisina (considerada como porcentaje de la proteína) en las poblaciones harinoso-2. También hay un incremento muy significativo en contenido proteínico en algunas condiciones genéticas. Hemos visto contenidos proteínicos sobre 16% en algunos cruzamientos de harinoso-2. Además la sustitución del alelo harinoso-2 por su contrap normal, siempre causa mayores niveles de metionina. Esto es significativo y en todas las dietas basadas en una mezcla de un cereal y una leguminosa, la metionina tiende a ser el aminoácido esencial limitante para el crecimiento. En apariencia y basándose en observaciones anteriores, es posible obtener linajes o híbridos harinoso-2 con contenidos de lisina (considerados como porcentaje en peso seco), que sean más altos que en cualquiera de los híbridos opaco-2 que se han sintetizado. En verdad, hace algunos años tuve éxito en lograr algunos híbridos harinoso-2 que tenían contenidos de lisina (como porcentaje en peso seco) que eran 50% más altos que aquellos de los híbridos opaco-2 que se estaban examinando.

E. T. Mertz probó estos híbridos y encontró que híbridos harinoso-2 con mayor contenido proteínico no podrían mantener una tasa constante de crecimiento para ratas destetadas que fuera más alta que la lograda con un híbrido opaco-2 con sólo 6.7% de lisina y triptófano como máximo. Aún es un misterio la razón, o razones, por las cuales el valor biológico de los híbridos harinoso-2 es diferente al valor predicho por el análisis químico de los aminoácidos esenciales limitantes. B. O. Eggum en Copenhague ha encontrado que el híbrido harinoso-2 utilizado en estos ensayos de alimentación, tiene igual aprovechamiento de aminoácidos e igual energía metabolizable en comparación con el híbrido opaco-2. En este momento, estas observaciones hacen confusa la idea de que la utilización del gene harinoso-2 sea la respuesta para incrementar el nivel total de lisina en maíz de alta calidad proteínica.

Otro enfoque es la incorporación de factores genéticos que cambian la proporción de tejidos dentro del grano, donde estos tejidos tienen composiciones proteínicas completamente diferentes. Por ejemplo, en existencias en las cuales la proporción del grano que es embrión aumenta, habrá un incremento en el contenido de lisina y triptófano. También se están investigando las condiciones genéticas que condicionan el desarrollo de *flósculos* alternados, con la consecuente mayor área por unidad de peso, dando una mayor cantidad de tejido de aleurona rico en proteína. Aún una tercera posibilidad de cambiar las proporciones de varios tejidos, es el factor dominante que condiciona capas múltiples de aleurona en maíz, lo cual fue reportado hace algunos años por M. J. Wolf y M. S. Zuber. En un trabajo reciente se encontró que este factor refuerza el efecto del gene opaco-2, pero no en la medida que se esperaba.

La tercera etapa de investigación en mejoramiento de calidad proteínica, incluye la factibilidad de seleccionar para un mayor contenido de un solo aminoácido. Permítanme ampliar brevemente este punto en particular. Cuando el nivel de un aminoácido particular es alterado por un gene mayor (opaco-2 o harinoso-2) o por la selección por poligenes con efectos menos pronunciados, podemos estar seleccionando como indicador un aminoácido, pero hay variación en el contenido de otros ácidos. Casi todos los aminoácidos están unidos a una proteína, y la secuencia de aminoácidos para una proteína está especificada por el gene estructural para esa proteína en particular. Una mutación puede alterar el aminoácido que esté en una posición específica dentro de una cadena polipeptídica, pero esto no es capaz de tener efecto significativo sobre la composición de aminoácidos de la población.

Desde hace varios años se sabe que el efecto real de los genes harinoso-2 u opaco-2, es el disminuir la síntesis de la fracción de zeína pobre en lisina y triptófano. Como una consecuencia secundaria de esta disminución en la síntesis de zeína, hay una mejoría concomitante de otras fracciones que tienen mayores cantidades de lisina y triptófano. Al mismo tiempo, debido al cambio en proporción de varias proteínas, también hay un incremento en estos mutantes de la cantidad de aspartato, arginina y glicina presentes y un decremento en la cantidad de leucina, alanina, tirosina y fenilalanina. Así, aunque nuestra atención haya estado enfocada hacia los aminoácidos esenciales limitantes, lisina y triptófano, ha habido en estos mutantes un cambio en el contenido de muchos otros.

El hecho de que el contenido de aminoácidos en el grano es bajo, indica que la síntesis de estos aminoácidos está regulada por los requerimientos para sus participaciones en la síntesis proteínica y en las demás reacciones en las cuales pueden participar. Los mecanismos reguladores que controlan el contenido de estos aminoácidos son aquellos de inhibición retroalimentada y/o de represión de la síntesis de enzimas. Sin embargo, ¿qué sucedería si se interrumpieran los mecanismos reguladores de medio biosintético por el cual se lograría un aminoácido particular? Suponga que esa interrupción fuera de tal forma que la síntesis del aminoácido no fuera cortada cuando hubiera disponible una cantidad suficiente para la incorporación dentro de las proteínas que está siendo sintetizada. Las plantas serían en efecto, sobreproductoras de ese aminoácido particular. Se han encontrado tales variantes en bacterias y recientemente han sido reportadas en las plantas superiores.

Hay un gran interés en investigar la posibilidad de que tales mutaciones puedan tener consecuencias nutricionales significativas en las plantas superiores. Brock, Friederich y Langridge han iniciado en Australia una investigación acerca de la posibilidad de superproducción de lisina en plantas y han enfocado el problema en una forma muy interesante. Las plantas superiores sintetizan lisina en la misma forma que lo hace la bacteria *Escherichia coli.* Por consiguiente, usando *E. coli* como un sistema modelo y empleando una lisina inhibitoria del crecimiento como un dispositivo selectivo, ellos han preguntado cuántas mutaciones se necesitan para desarrollar poblaciones que sean superproductoras de lisina. Su conclusión tentativa es que se necesitan dos mutaciones para afectar este tipo de cambio. Estas son mutaciones en el código genético para la alozina aspartato quinasa, que es específica para la lisina, y la sintetasa del ácido dihidrodipicolínico. Esta necesidad de tener dos eventos mutacionales es una consecuencia del camino ramificado que conduce a la síntesis de la lisina. Con estas condiciones genéticas logradas en los estudios del sistema del *E. coli,* Brock y sus colaboradores procederán a una investigación sobre posibles superproductores de lisina en cebada usando el mismo procedimiento de selección.

Recientemente, en el Duodécimo Simposio Internacional de Biología Básico en Cali, Colombia, Peter Carlson reportó el aislamiento de tres superproductores de metionina en cultivos de células de *Nicotiana tabacum.* Estos superproductores de metionina se seleccionaron también por su resistencia a una metionina análoga. Carlson reporta la reconstitución de plantas a partir de estas células, las cuales son viables y aparentemente sanas. Esta es una demostración muy importante, ya que no parecía factible que tales rupturas en el mecanismo biosintético de una planta pudieran ser viables, o si lo fueran, que pudieran ser plantas prósperas.

Estos son esfuerzos bien recibidos a fin de utilizar las técnicas más modernas para mejorar la calidad proteínica en plantas, pero se deben considerar aún como parte del futuro. Por ahora, tenemos los medios para efectuar notables mejoramientos en la calidad proteínica del maíz y el desafío inmediato es hacer aprovechables estos mejoramientos para la gente que se beneficiaría con tales cambios.

EL USO DE MODIFICADORES GENETICOS PARA OBTENER GRANOS DE TIPO NORMAL CON EL GENE OPACO-2

S. K. Vasal*

El hecho de que la calidad proteínica del endosperma del maíz normal puede aumentarse genéticamente al incrementarse los niveles de dos aminoácidos limitantes, la lisina y el triptófano, mediante el uso del gene opaco-2, ha despertado un interés mundial. En años recientes, en diferentes partes del mundo, se ha convertido a opaco-2 gran cantidad de materiales genéticos, pero la producción comercial de opaco-2 ha avanzado a un paso más bien lento en virtud de ciertos problemas asociados con este tipo de maíz. Dos de los problemas más significativos que han impedido el avance son: 1) rendimientos reducidos de grano de los materiales convertidos, y 2) inaceptabilidad del endosperma harinoso de los granos de opaco-2.

Al parecer, el problema del bajo rendimiento de grano de las conversiones de opaco-2 se puede superar con rapidez y eficiencia mediante diversos enfoques de mejoramiento, tales como: 1) una prueba extensiva de mejores materiales genéticos en los cuales los granos de opaco y sus contrapartes normales pesen más o menos lo mismo; 2) la selección con respecto a grano de mejor peso hectolítrico durante el cruce reversivo y en generaciones segregantes; 3) la selección por modificadores que afectan el peso hectolítrico del grano; y 4) el fenotipo de los granos de opaco-2. Utilizando cualquiera de los enfoques anotados individualmente o en combinación, parece haber justificación para creer que es posible superar esta barrera del rendimiento y que se pueden desarrollar variedades e híbridos de opaco-2 que pueden competir económicamente con cualquier variedad comercial.

* Fitogenetista, CIMMYT, México.

El segundo problema relacionado con el fenotipo harinoso de los granos de opaco-2 varía de acuerdo con las diferentes regiones del mundo, dependiendo de la preferencia de la gente por una textura particular del grano. En la zona andina, donde los agricultores cultivan variedades de textura harinosa, las conversiones a opaco-2 de estos materiales harinosos no deberán ser un problema en lo que concierne a su aceptación. Sin embargo, en otras regiones donde los agricultores tienen preferencia especial por las variedades de maíz blanco o amarillo cristalino y duro, la apariencia opaca y carente de lustre de los granos de opaco-2, en verdad es un obstáculo en la aceptación de este tipo de maíz. Hay muchas razones para creer que este problema se puede resolver mediante el aprovechamiento de genes modificadores del locus opaco-2, los cuales pueden cambiar el fenotipo de los granos de opaco-2, que se tornan más vítreos y translúcidos.

El primer estudio sobre el fenotipo modificado del opaco-2 fue publicado por Páez y sus colaboradores en 1969 (6). Estos investigadores reportaron que el contenido de lisina de los granos modificados no difirió del de los granos completamente opacos. Asimismo, las fracciones vítreas y opacas de los granos de opaco-2 de fenotipo modificado no difirieron en su contenido de lisina. Fenotipos modificados semejantes han sido reportados por Pollacsak y sus colaboradores (9), aunque ellos encontraron alrededor del 20% de superioridad en lisina en los linajes de opaco-2 al compararlas con sus contrapartes normales vítreas. Otros investigadores —Vasal (10), Poey y Villegas (7, 8) y Annapurna y Reddy (2)— también han informado de fenotipos modificados.

Desde 1969 los fitogenetistas del CIMMYT han observado granos de opaco-2 de fenotipo modificado, y tratan de explotar esta variabilidad a fin de evitar el problema relacionado con la apariencia, que parece fundamental desde el punto de vista de la aceptación. De igual manera tratan de obtener alguna información básica que pueda utilizarse en el programa de fitomejoramiento. En los siguientes párrafos se mencionará brevemente lo que se ha observado durante los dos últimos años.

VARIACION DEL FENOTIPO DE LOS GRANOS EN POBLACIONES CONVERTIDAS A OPACO-2

Durante la conversión de variedades de maíz normal a opaco-2 y también durante la multiplicación de semilla de los materiales de opaco-2, hemos observado una considerable variación de los fenotipos de opaco-2, dependiente del grado y la distribución de la fracción de endosperma duro en el endosperma de los granos de opaco-2. A grosso modo, esta variación se puede clasificar como regular e irregular. En el tipo regular, la fracción dura se presenta hacia la parte superior o corona del grano y la fracción opaca hacia la base. En el tipo regular encontramos de nuevo dos tipos: 1) uno en que la fracción vítrea o translúcida es clara y distinta, y 2) otro con un tipo sin lustre y rayado. En el tipo regular hemos observado todos los grados de una variación continua, con una vitriosidad que va desde una fracción muy pequeña en la parte superior hasta granos de apariencia casi normal, que no tienen la fracción opaca de identidad en la base.

En el tipo irregular la fracción vítrea puede localizarse en diferentes partes del grano, siguiendo un patrón irregular. Puede ser como sigue: 1) *punteado,* cuando los granos vítreos de almidón están presentes a través del endosperma harinoso como si fuesen pequeñas pecas; 2) *en banda,* cuando la fracción vítrea aparece a manera de una pequeña banda central transversal en el centro del grano, en tanto que las fracciones basal y superior son completamente opacas; 3) *tipo en forma de puente* o *de silla de montar* cuando la fracción vítrea se limita a los lados del grano; 4) *base vítrea,* cuando la fracción vítrea se localiza hacia la base y la fracción harinosa suave se localiza hacia la parte superior.

En general, el patrón regular de endosperma duro es más común, aunque los tipos irregulares aparecen ocasionalmente en algunos materiales.

VARIACION EN FRECUENCIA DE GRANOS DE OPACO-2 DE FENOTIPO MODIFICADO EN DIFERENTES CONDICIONES GENETICAS

Hemos observado que los materiales genéticos difieren considerablemente en su habilidad de proveer modificadores de opaco-2. Algunos materiales producen granos modificados con mucha mayor frecuencia, en tanto que otros producen pocos o ninguno. En el programa de mejoramiento del CIMMYT, algunos materiales promisorios que merecen mención especial son PD(MS)6, Tuxpeño-Ant. Gpo. 2, Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2, materiales cubanos, Compuesto K, Compuesto CIMMYT opaco-2, Compuesto Thai opaco-2 y Nicarillo.

Este comportamiento diferencial de los diversos materiales en lo que se refiere a la diferencia variable de producción de granos vítreos, sugiere que durante su curso evolutivo estas variedades de maíz pudieron haber acumulado un número variable de complejos génicos indeseables que serían menos deseables en una población homocigota recesiva para el gene opaco-2 (1).

RELACION DE LA VITRIOSIDAD CON EL CONTENIDO DE PROTEINA, TRIPTOFANO Y LISINA EN LOS MATERIALES CONVERTIDOS DE OPACO-2

Para determinar la relación de la vitriosidad del grano con el contenido de proteína y triptófano, se analizaron granos de opaco-2 y de fenotipo modificado de opaco-2 tomados de 20 mazorcas medio hermanas segregantes. Los resultados se presentan en la tabla 1. En general, los granos modificados tuvieron un mayor contenido de proteína que sus contrapartes de fenotipo opaco-2. Sin embargo, el porcentaje de triptófano en la proteína fue superior en los opacos al comparárselas con el tipo modificado, y el porcentaje de superioridad varió de 1.26% a 41.89%. Empero se puede señalar que hay algunas familias en las cuales la disminución de triptófano es casi imperceptible, por lo cual serán de gran interés para el mejorador.

TABLA 1 Comparación del porcentaje de proteína y del porcentaje de triptófano en la proteína de granos completamente opacos y granos de opaco-2 de fenotipo modificado seleccionados de diferentes familias de medios hermanos del compuesto tropical de opaco-2

	% de proteína en el endosperma			*% de triptófano en la proteína*		
Familia número	*Opaco*	*Modificado*	*Diferencia %*	*Opaco*	*Modificado*	*Diferencia %*
Med. her.-63	9.88	9.75	+1.33	0.89	0.86	3.49
67	9.13	8.94	+2.13	0.82	0.80	2.50
69	9.00	9.75	-8.33	0.84	0.66	27.27
79	9.19	10.63	-15.67	0.89	0.66	34.85
125	7.63	10.19	-33.55	1.05	0.74	41.89
144	7.00	7.56	-8.00	0.96	0.99	-3.12
147	8.25	9.00	-9.09	1.09	0.91	19.78
151	7.75	8.13	-4.90	0.90	0.87	3.45
159	6.44	7.25	-12.58	0.98	0.87	12.64
162	9.19	9.75	-6.09	0.97	0.82	18.29
164	8.88	9.38	-5.63	0.72	0.69	4.35
175	8.38	8.25	+1.58	0.80	0.79	1.26
196	8.50	9.25	-8.82	1.01	0.90	12.22
250	9.13	12.88	-41.07	0.72	0.53	35.84
278	8.50	8.31	+2.28	0.88	0.84	4.76
279	8.38	11.38	-35.80	0.93	0.73	27.40
292	11.25	11.50	-2.22	0.63	0.60	5.00
297	9.13	9.38	-2.74	0.78	0.70	11.43
118	10.38	11.13	-7.22	0.84	0.74	13.51
101	9.75	10.50	-7.69	1.07	0.78	37.18

A fin de conseguir más información sobre la relación del porcentaje de vitriosidad del grano con el porcentaje de proteína y el porcentaje de triptófano en la proteína, se formaron cinco categorías diferentes de granos que variaban de la Categoría 1 (100% vítreos) a la Categoría 5 (0% vítreos), procedentes de 10 diferentes materiales. Estos materiales se analizaron para determinar su contenido de proteína y triptófano. En la tabla 2 se presentan los resultados. Según se observa, en algunos materiales hubo una tendencia consistente de que conforme aumenta la vitriosidad, se incrementa correspondientemente el porcentaje de proteína. Los otros materiales no presentaron ninguna tendencia regular, pero los granos modificados (Categorías 1-4) tuvieron en todos los casos mayor contenido de proteína que la Categoría 5. El porcentaje de triptófano en la proteína mostró una disminución consistente a medida que aumentó la vitriosidad en el Compuesto K; los otros materiales no presentaron ninguna tendencia consistente. Sin embargo, el porcentaje de triptófano de la Categoría 5 fue superior al de las Categorías 1-4 en todos los materiales.

Las diferencias observadas a partir de estos datos parecen sugerir que probablemente el sector vítreo de las Categorías 1-4 no difiere en su porcentaje de triptófano en la proteína, y que cualquier diferencia entre las Categorías de 1 a 4 pudiera ser resultante del porcentaje de vitriosidad más que de diferencias entre la fracción vítrea entre una categoría y otra.

TABLA 2 Porcentaje de proteína y porcentaje de triptófano en la proteína de diferentes categorías de granos de opaco-2 de fenotipo modificado seleccionados de familias de diferentes poblaciones de opaco-2

		% de proteína en diferentes categorías de granos					*% de triptófano en la proteína en diferentes categorías de granos*				
No.	*Material*	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Compuesto K	8.79	8.29	7.75	7.59	7.47	0.65	0.68	0.75	0.79	0.88
2	ID(MS)6-Gr. Amar.	11.07	10.50	10.25	10.44	9.94	0.87	0.79	0.85	0.85	0.93
3	Compuesto Blanco Caribe	10.29	10.25	9.58	9.25	8.88	0.70	0.84	0.81	0.78	0.80
4	Tuxpeño-Ant. Gpo. 2#-#	9.99	9.84	9.65	9.08	–	0.79	0.79	0.82	0.85	–
5	Compuesto CIMMYT opaco-2	9.36	8.56	9.07	8.69	8.05	0.55	0.72	0.71	0.77	0.87
6	Compuesto Thai opaco-2	8.58	8.50	8.43	8.82	7.86	0.82	0.80	0.83	0.82	0.93
7	Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Venezuela 1 opaco-2	9.04	8.72	9.06	8.90	8.71	0.62	0.63	0.70	0.74	0.75
8	Compuesto amarillo de endosperma duro	7.82	7.16	7.36	7.88	7.33	0.92	1.00	0.94	0.91	0.98
9	Ant. Gpo. 2-1-3-2-#	8.98	8.80	9.24	9.07	–	0.76	0.87	0.88	0.84	–
10	PD(MS)6-Eto-Cuba 11J-Pob. Crist. # 1(A)-2-#1-#	9.08	9.34	8.87	9.80	8.53	0.73	0.79	0.88	0.86	0.83

Nota: Categoría 1, más o menos normal; 2,75% translúcido, 25% opaco; 3, 50% translúcido, 50% opaco; 4, 25% translúcido, 75% opaco; 5, 0% translúcido, 100% opaco.

TABLA 3 Contenido de proteína, lisina y triptófano en todo el endosperma y en las fracciones duras y suaves del endosperma tomados por separado; linajes de opaco-2 de fenotipo modificado

		% de proteína			
			Fracción		
No.	Línea	Todo el endosperma	Dura	Suave	Diferencia (%)
1	PD(MS)6 Eto-Cuba 11J-Pob. Crist. 1(A)-1-#-#	9.88	9.99	7.69	29.90
2	PD(MS)6-Eto-Cuba-11J-Pob. Crist.-1-1-#-#	8.75	8.49	9.13	-7.54
3	Pob. Crist.-1-#-#-#	9.42	10.21	8.43	21.11
4	(Compuesto tropical opaco-2 163-6-1-1) X PD(MS)6-#-#-#-#	10.92	11.57	11.25	2.84

COMPOSICION DE PROTEINA Y AMINOACIDOS DE LAS FRACCIONES DURAS Y SUAVES DEL ENDOSPERMA DE FENOTIPO MODIFICADO DE OPACO-2

Se analizaron por separado las fracciones duras y suaves del endosperma de cuatro linajes de fenotipo modificado de opaco-2, para determinar su composición de proteína y aminoácidos. Los resultados se resumen en las tablas 3 y 4. En la tabla 3 se observa que la fracción dura del endosperma tuvo mayor contenido de proteína que la fracción opaca en tres de los cuatro linajes, y que el porcentaje de superioridad varió de 2.84% a 29.90%. El porcentaje de triptófano en la proteína de la fracción suave fue superior, y el porcentaje de superioridad varió de 12.98% a 56.52%' En lo que se refiere al porcentaje de lisina en la proteína, la fracción opaca fue superior a la fracción dura, y el porcentaje de superioridad varió de 22.48% a 38.27%.

En la tabla 4 se muestra un análisis completo de aminoácidos de las fracciones duras y suaves. Se puede observar que algunos aminoácidos, tales como ácido glutámico, alanina, leucina y tirosina fueron más altos en la fracción dura que en la fracción suave.

Nuestros datos entonces parecen indicar que las fracciones duras y suaves difieren en su porcentaje de proteína y de algunos aminoácidos en los cuatro linajes analizados. Sin embargo, es posible suponer que en poblaciones heterocigotas se podría esperar más variación y mayores posibilidades de escoger familias cuyas fracciones duras y suaves no mostraron diferencias.

FRACCIONES DE PORCENTAJE DE PROTEINA EN ENDOSPERMAS DE FENOTIPOS NORMALES, OPACO Y OPACO-2 MODIFICADO

Se analizaron muestras de fenotipos normal, opaco-2 y opaco-2 modificado, procedentes de dos poblaciones, a fin de determinar el porcentaje de fracciones

% de triptófano en proteína				*% de lisina en proteína*			
Todo el endosperma	*Fracción*		*Diferencia (%)*	*Todo el endosperma*	*Fracción*		*Diferencia (%)*
	Dura	*Suave*			*Dura*	*Suave*	
0.70	0.83	0.63	31.75	2.67	2.88	2.22	29.73
0.87	0.87	0.77	12.98	2.81	3.30	2.60	26.92
0.73	0.72	0.55	30.91	2.73	3.36	2.43	38.27
0.76	0.85	0.63	34.92	2.87	3.65	2.98	22.48

de proteína en el endosperma. Los datos correspondientes se encuentran en la tabla 5.

En las dos poblaciones los opacos y los opacos modificados tuvieron más fracciones de ácido soluble y glutelina que los normales. En ambas poblaciones la fracción zeína fue menor en los opacos y en los opacos modificados que en los normales. Una comparación entre los opacos y los opacos modificados muestra

TABLA 4 Composición de aminoácidos de la proteína del endosperma en las fracciones dura y opaca tomadas por separado; linajes de opaco-2 de fenotipo modificado

Aminoácidos en proteína	(1) *Fracción*		(2) *Fracción*		(3) *Fracción*		(4) *Fracción*	
	Opaca	*Dura*	*Opaca*	*Dura*	*Opaca*	*Dura*	*Opaca*	*Dura*
Lisina	2.88	2.22	3.30	2.60	3.36	2.43	3.65	2.98
Histidina	3.06	3.75	3.41	3.78	3.38	3.52	3.70	3.61
Arginina	3.94	3.81	4.46	4.12	4.09	3.95	5.15	4.24
Acido aspártico	6.26	5.75	7.36	7.95	7.49	7.98	7.58	7.57
Treonina	3.26	3.67	3.45	3.54	3.42	3.61	4.01	3.68
Serina	3.83	4.52	4.04	4.29	3.84	4.32	4.58	4.39
Acido glutámico	16.09	20.59	17.25	21.68	16.70	25.24	17.55	20.62
Prolina	9.29	10.61	8.97	10.39	9.05	10.98	9.79	10.37
Glisina	3.77	3.72	3.92	3.99	3.81	3.70	4.62	3.90
Alanina	5.20	6.40	5.54	6.74	5.20	7.14	5.88	6.42
Cistina	1.38	0.77	–	0.48	0.24	1.42	1.11	0.84
Valina	3.43	4.30	5.02	5.14	4.82	4.86	9.40	4.71
Metionina	1.56	1.26	1.19	1.18	1.51	1.32	1.57	1.30
Isoleusina	2.00	2.82	3.30	3.47	3.02	3.43	3.06	3.16
Leucina	8.00	10.98	9.17	10.95	8.28	12.32	9.62	11.23
Tirosina	2.60	2.77	1.91	3.05	2.24	3.41	2.85	2.59
Fenilalanina	3.25	3.94	3.78	4.12	3.45	4.32	3.99	4.12
Triptofano	0.70	0.63	0.82	0.93	0.85	0.65	0.84	0.72

Nota: Columna 1, PD(MS)6-Eto-Cuba-Pob. Crist. 1(A)-1-#-#; 2, PD(MS)6-Eto-Cuba 11J-Pob. Crist.-1-1-#-#; 3, Pob. Crist.-1-#-#-#; 4. (Compuesto tropical opaco-2 163-6-1#1) X PD(MS)6-Gr. Amar. #-#-#-#.

TABLA 5 Porcentaje de fracciones de proteína en muestras normales, opacas y opaco-2 de fenotipo modificado de dos poblaciones

		% de fracciones de proteína en el endosperma					
	Tipo de	*Acido soluble*		*Zeína*		*Glutelina*	
Población	*muestra*	*Real*	*% de normal*	*Real*	*% de normal*	*Real*	*% de normal*
1. Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1	Normal	27.0	100.0	42.3	100.0	19.8	100.0
	Opaco	39.7	147.0	24.2	57.2	31.3	158.1
	Modificado	35.0	129.6	26.3	62.2	29.3	148.0
2. Compuesto blanco	Normal	32.5	100.0	45.2	100.0	19.0	100.0
	Opaco	35.0	107.7	25.4	56.2	31.4	165.3
	Modificado	33.5	103.1	26.7	59.1	28.5	150.0

TABLA 6 Porcentaje de fracciones de proteína en granos opacos y opaco-2 de fenotipo modificado con porcentaje variable de endosperma vítreo

		% de fracciones de proteína en el endosperma					
	% de fracción vítrea en el grano	*Acido soluble*		*Zeína*		*Glutelina*	
Población		*Real*	*% de normal*	*Real*	*% de normal*	*Real*	*% de normal*
1. Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1	0.0	39.7	100.0	24.2	100.0	31.3	100.0
	25.0	39.8	100.2	22.6	93.4	34.0	108.6
	50.0	37.5	94.4	23.6	97.5	33.8	108.0
	75.0	36.8	92.7	25.7	106.2	33.3	106.4
	100.0	36.0	90.7	27.0	111.5	30.0	95.8
2. Compuesto blanco	0.0	35.0	100.0	25.4	100.0	31.4	100.0
	25.0	36.0	102.8	27.0	106.3	30.0	95.5
	50.0	34.2	97.7	30.3	119.3	30.8	98.1
	75.0	35.2	100.6	26.5	104.3	30.0	95.5
	100.0	34.6	98.8	27.9	109.8	29.3	93.3

que las fracciones de ácido soluble y glutelina disminuyeron algo, en tanto que la fracción zeína aumentó en los tipos modificados (con respecto a los opacos) en ambas poblaciones.

También se analizaron cinco categorías diferentes de granos —desde completamente opacos hasta completamente vítreos— para determinar el porcentaje de las fracciones de proteína. En la tabla 6 se presentan los resultados respectivos.

La fracción de ácido soluble mostró una disminución gradual (excepto en los granos con 25% de vitriosidad obtenidos de Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2, que tuvieron más o menos la misma fracción de ácido soluble). Las diferentes categorías obtenidas del compuesto blanco de endosperma duro, no difieren mucho entre sí. Las fracciones de zeína no presentaron ninguna tendencia regular, aunque todas las categorías vítreas tuvieron una mayor fracción de zeína que el fenotipo opaco en el compuesto de endosperma blanco con endosperma duro.

Con respecto a glutelina, los granos con porcentaje variable de vitriosidad tuvieron una fracción menor de glutelina que los opacos, pero no hubo ninguna tendencia regular al aumentar la vitriosidad en el compuesto blanco de endosperma duro. En la población Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2, sólo la categoría con 100% de vitriosidad fue baja al compararla con los granos de 0% de vitriosidad, en tanto que todas las otras categorías vítreas tuvieron mayor porcentaje de la fracción glutelina.

RELACIONES ENTRE LA VITRIOSIDAD DEL GRANO Y PESO HECTOLITRICO EN GRANOS DE FENOTIPO MODIFICADO

En varios materiales se determinó el peso hectolítrico de 100 granos utilizando granos opacos y granos de fenotipo de opaco-2 modificado que tenían una fracción vítrea de 50 a 75%. Los resultados se encuentran en la tabla 7. En general, los granos modificados registraron un aumento de su peso hectolítrico en comparación con los granos de fenotipo opaco, pero el porcentaje de incremento varió considerablemente de un material a otro. La variación fue de 0.73% a 10.58%. Los datos sugieren que la selección por vitriosidad puede ser útil para superar la barrera del rendimiento en algunos materiales genéticos, pero no en otros. También hay muchas razones para pensar que algunos modificadores sólo pueden influir el fenotipo mientras que otros pueden afectar tanto el genotipo como la densidad del grano. Asimismo existe la posibilidad de que haya un grupo separado de modificadores que sólo afecta la densidad del grano, según lo ha señalado Bauman (3).

TABLA 7 Peso hectolítrico de 100 granos de granos opacos y opaco-2 de fenotipo modificado seleccionados de diferentes materiales convertidos a opaco-2

No.	*Material*	*Familia o mazorca*	*Peso hectolítrico de 100 granos en (g)*		
			Modificado	*Opaco*	*% de incremento*
1	PD(MS)6-Eto-Cuba 11J-Pob. Crist.	3	23.10	22.73	1.62
2	PD(MS)6-Eto-Cuba 11J-Pob. Crist.	4	30.30	30.00	1.00
3	164-3 Cat. 1(ii)-2-1	2	29.00	27.83	4.20
4	La Posta-6-1	1	20.00	18.92	5.70
5	Compuesto Cris. Amarillo-6	1	28.11	25.42	10.58
6	Nicarillo-#-#	1	28.70	26.49	8.34
7	Compuesto K	514	25.71	25.45	1.02
8	Compuesto K	515	28.46	27.08	5.09
9	Compuesto K	517	23.04	22.07	4.39
10	Compuesto K	518	27.30	26.59	2.67
11	Compuesto CIMMYT opaco-2	–	28.89	28.68	0.73

RELACIONES ENTRE LA VITRIOSIDAD DEL GRANO Y EL TAMAÑO DEL GERMEN

En la tabla 8 se puede observar que la incorporación del gene opaco-2 en materiales de maíz normal da como resultado que haya un mayor porcentaje de germen en la proteína total del grano y que este aumento varía mucho de un material a otro. Este incremento en el porcentaje del contenido de germen en la proteína total del grano se puede atribuir a un mayor tamaño del germen.

En la tabla 9 se presentan los datos sobre el porcentaje de contenido de germen en la proteína del grano completo en granos opacos y de fenotipo modificado de opaco-2.

Los resultados indican que el porcentaje de contenido de germen en la proteína total del grano no es constante. La información obtenida parece sugerir que un complejo de genes modificadores influye en el tamaño del germen.

Según los datos presentados, se pueden derivar las siguientes conclusiones:

1. La vitriosidad del grano en el endosperma harinoso de opaco-2 está influida por modificadores genéticos.

2. El porcentaje de triptófano en la proteína en la fracción vítrea parece ser independiente del grado de vitriosidad, y cualquier diferencia que ocurra entre los granos con fracciones variables de endosperma duro pudiera ser la resultante de diferencias en la razón de fracciones duras y suaves en el endosperma.

4. La fracción dura del endosperma de fenotipo modificado de opaco-2 difiere de la fracción suave que tiene más proteína y menos triptófano y lisina. Empero, hay variación y pudiera esperarse que conforme se trabaja con más material, es posible encontrar aún mayor variación, la cual fluctuaría desde una diferencia nula o imperceptible, hasta un grado todavía más amplio entre ambas fracciones.

5. La disminución de lisina y triptófano en los tipos modificados, con respecto a los opacos, parece resultar de una mayor fracción de zeína. También

TABLA 8 Contribución del germen a la proteína total del grano en diferentes variedades y compuestos de maíz

No.	Variedades o compuestos	% contribución de germen a la proteína de todo el grano		
		Opaco	Normal	Diferencia
1	Vijay	19.8	10.4	9.4
2	Compuesto A_2	25.6	10.5	15.1
3	J_1	27.7	10.9	16.8
4	Usatigua	20.5	10.6	9.9
5	Cupurico X Flint Compuesto	27.1	8.2	18.9
6	Centralmex	22.5	7.2	15.3
7	Compuesto Blanco Caribe	24.5	10.6	13.9
8	UPCA–Variety 2	29.8	9.3	20.5
9	B_{16} (yellow)	27.9	10.9	17.0
10	Compuesto grano duro	35.3	20.2	15.1
11	Mix. 1–Col. Gpo. 1 X Eto	20.4	11.5	8.9
12	Granada Gpo. 2	34.3	9.5	24.8
13	Cuba 11J	24.7	15.2	9.5
14	Ver. Gpo. 41	16.0	11.5	4.5
15	Nicarillo	29.0	23.6	5.4
16	Iowatigua	21.5	18.2	3.3
17	Tuxpeño F.F.	12.8	9.7	3.1
18	Tuxpeño Cr. 1	13.3	10.6	2.5
19	Amagaceño	11.1	7.4	3.7
20	Compuesto AC	9.8	10.4	-0.6

TABLA 9 Efecto de la selección por endosperma duro sobre la contribución del germen a la proteína de todo el grano en materiales convertidos a opaco-2

No.	Material	Mazorca o familia No.	% de contribución del germen a la proteína de todo el grano		
			Opaco	Modificado	Diferencia
1	Compuesto K	118	22.01	17.92	+4.09
2	Compuesto K	4	20.55	14.41	+6.14
3	Ver. 181–Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2	8	33.37	26.13	+7.24
4	PD(MS)6-Gr. Amar.-2-1	1	22.00	14.67	+7.33
5	Compuesto-1 Thai opaco-2	1	17.56	13.38	+4.18
6	Nicarillo	Self I	24.75	18.01	+6.74
7	Flint Compuesto Amarillo	1	28.08	24.38	+3.70
8	Eto Blanco	1	24.17	18.37	+5.80
9	Compuesto K	1	13.59	15.07	-1.48
10	Compuesto K	101	28.21	32.10	-3.89
11	Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2	3	11.87	18.73	-6.86
12	Nicarillo	1	25.99	33.55	-7.56
13	Antigua Gpo. 2	2	24.31	25.78	-1.47
14	Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2	4	15.54	17.85	-2.31
15	Compuesto Thai opaco-2	4	17.07	18.03	-0.96
16	Compuesto Thai opaco-2	2	16.41	17.31	-0.90

hay incremento de aminoácidos tales como ácido glutámico, leucina, alanina y tirosina. Todo esto tiende a indicar que la forma en que actúan los modificadores es opuesta a la del gene opaco-2, por lo menos en aquellos materiales en que la lisina y el triptófano tienden a disminuir.

6. La mayor vitriosidad resultante de la acción de los genes modificadores puede estar o no relacionada con un mayor peso hectolítrico de los granos.

7. Parece ser que la acción de genes modificadores también influye en el tamaño del germen.

HERENCIA DE LOS MODIFICADORES DEL OPACO-2 QUE AFECTAN LA VITRIOSIDAD DEL GRANO

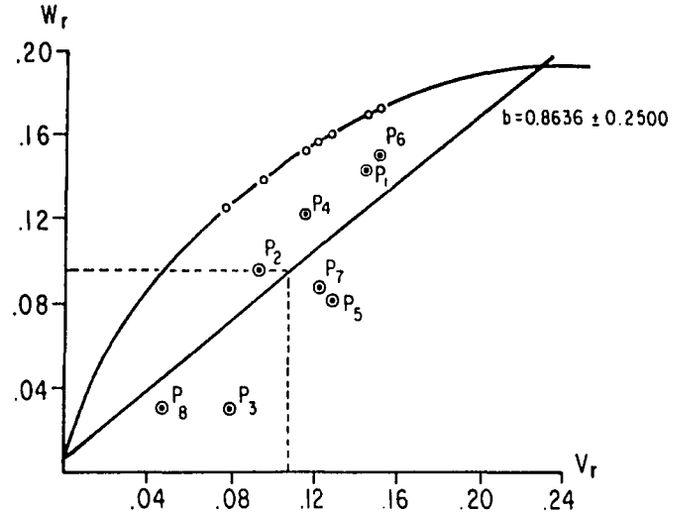
El tipo de variación que se ha observado con respecto a la vitriosidad del grano sigue un modelo específico, lo cual sugiere que la forma en que se heredan estos modificadores genéticos es compleja y está bajo un control poligénico. A fin de elaborar el modelo de herencia de la vitriosidad del grano que está controlado por un complejo de genes modificadores, se escogieron ocho progenitores que se cruzaron entre sí para obtener todas las 28 cruzas F_1 posibles. En la tabla 10 se presenta la clasificación estándar de vitriosidad de los progenitores y de las 28 cruzas F_1. La vitriosidad de los granos de fenotipo modificado de opaco-2 se clasificó sobre una escala de 1 a 5 (1 = más o menos normal; 5 = completamente opaco).

Se hicieron cálculos estadísticos, según lo sugirió Hayman (4, 5), que se utilizaron para elaborar la gráfica $V_r - W_r$ y para estimar diferentes componentes de la variancia genética.

La gráfica $V_r - W_r$ se muestra en la figura 1. El coeficiente de regresión se desvió significativamente de cero, pero no de la unidad. La línea de regresión observada corta el eje W_r sobre el punto de origen, y por lo tanto indica dominancia parcial en el aspecto vitrioso del grano. El orden de los puntc sobre la línea de regresión observada indicó la proporción relativa de los alelos

TABLA 10 Medias ordenadas de progenitores, F_1 y/o vitriosidad del grano en 8 linajes de endosperma opaco-2

Progenitores	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	*Media de arreglo*
P_1	4.32	4.78	3.76	4.48	3.78	4.22	3.74	4.05	4.14
P_2		4.50	4.52	4.44	4.04	3.92	4.02	4.12	4.29
P_3			3.81	3.86	3.85	3.55	3.98	3.95	3.91
P_4				3.89	3.99	3.81	3.44	3.94	3.98
P_5					3.32	3.20	3.26	4.00	3.68
P_6						4.02	3.12	3.82	3.71
P_7							3.23	3.72	3.56
P_8								3.61	3.90



● Intersecciones V_r, W_r

∘ (V_r X V_{OLO}) intersecciones V_r

FIGURA 1 Análisis gráfico V_r, W_r (vitriosidad del grano en endosperma de opaco-2 de fenotipo modificado).

dominantes y recesivos. Los puntos de menor valor de V_r W_r y los más cercanos al punto de origen tendrán un número máximo de alelos dominantes, y los que se encuentran en el extremo de la línea de regresión tendrán un número máximo de alelos recesivos. En el caso presente, los progenitores P_3 y P_8 parecen tener el número máximo de genes dominantes, en tanto que P_1 y P_6 tienen el número máximo de genes recesivos.

En la tabla 11 se presentan las estimaciones hechas en diferentes componentes de la variación genética. La variación aditiva parece ser más

TABLA 11 Estimados de los componentes de la variancia genética

D	=	0.1379
F	=	-0.0715
H_1	=	0.1151
H_2	=	0.0716
$\sqrt{H_1/D}$	=	0.9135
$H_2/4H_1$	=	0.1555

importante que la variancia de dominancia (H_1 y H_2). El valor F, un indicador de la frecuencia de alelos dominantes en relación con los alelos recesivos en los progenitores, fue negativa, lo cual indicó más alelos recesivos que dominantes. El grado medio de la dominancia se calculó mediante la fórmula $(H_1/D)^{1/2}$, y fue de 0.9135 lo cual mostró de nuevo dominancia parcial. La razón de $\frac{1}{4}(H_2/H_1)$

estima el promedio de frecuencia de alelos positivos en relación con los negativos en los progenitores. Si la distribución es igual, la razón debe ser 0.25, y si es diferente, será menor. En el presente caso el valor fue de 0.1533, que está abajo de 0.25. Esto parece indicar que los progenitores no tuvieron igual distribución de alelos positivos y negativos.

INFLUENCIA MATERNA SOBRE LA EXPRESION DE LOS MODIFICADORES DEL OPACO-2

Se hicieron cruzamientos recíprocos entre materiales opacos y materiales opaco-2 de fenotipo modificado. Se contaron las mazorcas con diferente genotipo, en la tabla 12 se presenta su porcentaje de frecuencia. Cuando P_1 ó P_6 (genotipo opaco) se utiliza como progenitor femenino, hay una alta frecuencia de mazorcas con fenotipo completamente opaco o segregantes. Sin embargo, cuando los progenitores modificados se utilizaron como progenitores femeninos, en las cruzas recíprocas hubo una alta frecuencia de mazorcas con tipo modificado y segregante. Las diferencias entre las cruzas recíprocas sugieren alguna influencia materna sobre el aspecto vitrioso del grano que podría ser el resultado de una aportación del lado materno contra una aportación sencilla del lado paterno en la formación del endosperma triploide.

TABLA 12 Frecuencia de mazorcas con diferentes fenotipos en cruzas recíprocas entre materiales opacos y opaco-2 de fenotipo modificado

		% de frecuencia de mazorcas con fenotipos diferentes		
No.	*Material*	*Opaco*	*Segregante*	*Modificado*
1	$P_1 \times P_2$	56	40	1
	$P_2 \times P_1$	–	70	30
2	$P_1 \times P_3$	94.4	5.6	–
	$P_3 \times P_1$	–	63.2	36.8
3	$P_1 \times P_4$	8.3	58.3	33.3
	$P_4 \times P_1$	–	11.8	88.2
4	$P_1 \times P_5$	9.1	63.6	27.3
	$P_5 \times P_1$	–	21.4	78.6
5	$P_6 \times P_2$	75.0	16.7	8.3
	$P_2 \times P_6$	–	75.0	25.0
6	$P_6 \times P_3$	69.4	30.6	–
	$P_3 \times P_6$	38.5	46.2	15.4
7	$P_6 \times P_4$	42.1	57.89	–
	$P_4 \times P_6$	10.0	55.0	35.0
8	$P_6 \times P_5$	78.6	21.4	–
	$P_5 \times P_6$	9.1	63.6	27.3

Nota: P_1, Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2 (fenotipo opaco); P_2, Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2 (fenotipo modificado); P_3, Thai opaco-2 (fenotipo modificado); P_4, Compuesto K (fenotipo modificado); P_5, PD(MS)6-Gr. Amar.-6-# (fenotipo modificado); P_6, Thai opaco-2 (fenotipo opaco).

POSIBLES ENFOQUES PARA DESARROLLAR MATERIALES DE OPACO-2 CON ENDOSPERMA DURO

Parece que el fenotipo sin brillo del endosperma de los granos de opaco-2 se puede mejorar substancialmente aprovechando los modificadores genéticos que cambian la textura suave y harinosa de los granos del opaco-2 a una textura vítrea. De esta manera, los granos mejoran considerablemente su apariencia fenotípica y se asemejan a los granos normales. Sin embargo, el problema se complica por el hecho de que en todos los casos los granos vítreos no mantienen una calidad proteínica equivalente a la del fenotipo opaco-2. Esto necesitará del respaldo de un laboratorio químico que ayude al fitogenetista a seleccionar familias de opaco-2 de fenotipo modificado que tengan un contenido aceptable de proteína, lisina y triptófano.

Además, puesto que los genes modificadores presentan dominancia parcial, parecería que esquemas de mejoramiento como el de hermanos completos, medios hermanos y S_1 que pueden aprovechar la variancia genética adicional, serían efectivos para acrecentar la frecuencia de alelos favorables en la población.

En el CIMMYT se han usado, en general, tres diferentes enfoques para desarrollar materiales de opaco-2 de endosperma duro:

1. *Reconstitución de linajes vítreos en poblaciones.* Los linajes de endosperma duro seleccionados de una amplia gama de materiales genéticos y que muestran ser superiores en su contenido y calidad proteínica, se pueden reunir a fin de desarrollar compuestos de opaco-2 de endosperma duro. Empleando este enfoque hemos desarrollado dos poblaciones: el compuesto de opaco-2 blanco de endosperma duro y el compuesto de opaco-2 amarillo de endosperma duro. La población recombinada se puede manejar subsecuentemente mediante cualquier esquema de mejoramiento de población, con el apoyo de análisis de laboratorio.

2. *Selección interpoblación por endosperma duro en poblaciones convertidas a opaco-2.* En poblaciones convertidas a opaco-2 donde se puede encontrar una frecuencia más bien alta de granos de opaco-2 de fenotipo modificado, este enfoque puede utilizarse efectivamente. Para comenzar, se pueden seleccionar mazorcas modificadas o que por lo menos segregan con respecto a granos modificados. En cada mazorca los granos modificados se pueden seleccionar por separado y luego sembrarse sobre la base de mazorcas por hilera. Igualmente, se puede enviar al laboratorio una muestra de 10 granos para que se efectúen los análisis. Si se dispone de los datos del análisis antes de la polinización, se pueden descartar aquellas familias que no reunen los requisitos en lo que se refiere a proteína y triptófano. Las polinizaciones de planta a planta se pueden restringir entre las familias seleccionadas para desarrollar hermanos completos. En la cosecha, sólo se seleccionan las mazorcas modificadas que tengan buena apariencia. A su vez los granos de cada mazorca seleccionada se escogen colocándolos en una pantalla de vidrio, iluminada, se evalúan en el laboratorio químico y se siembran en el campo sobre la base de mazorca por surco para formar otra serie nueva de hermanos completos. Se ha usado este tipo de enfoque en el Compuesto K, Compuesto CIMMYT opaco-2 y Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2.

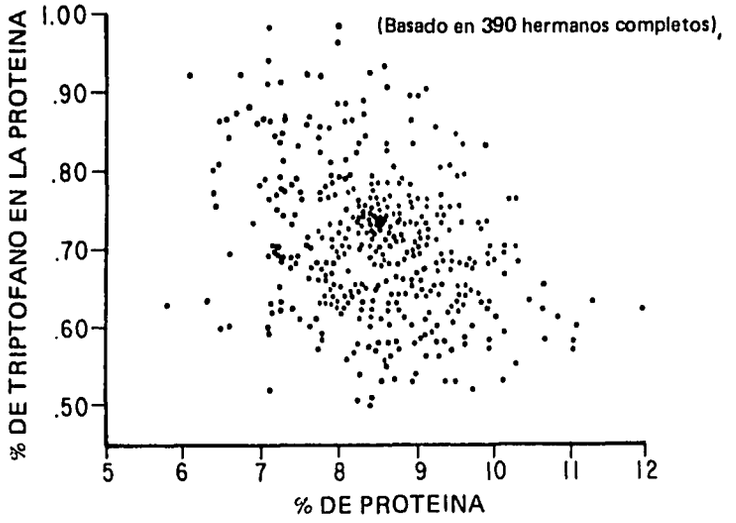


FIGURA 2 Gráfica dispersa de los procentajes de proteína y triptófano en proteína en poblaciones de opaco-2 de endosperma dura: Ver. 181 Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2.

3. *Cruzas de materiales opaco-2 de endosperma duro con poblaciones normales.* Se trata de un enfoque sencillamente de cruza reversiva. Los endosperma duro seleccionados se escogen de cada generación seleccionada, se evalúa con respecto a calidad de proteína y luego se utiliza para hacer cruzas con normales en cada cruza reversiva. Se cruzaron alrededor de 15 poblaciones normales con diferentes fuentes de modificadores, y en la F_2 se han podido recobrar granos modificados de cada cruzamiento. Parece que este enfoque trabaja muy bien.

En las poblaciones en las que se usaron los dos primeros enfoques hemos acumulado la frecuencia de granos modificadores a niveles un tanto altos en todas las poblaciones pero subsiste todavía mucha variación en el contenido de proteína y triptófano. En los diagramas de las figuras 2, 3 y 4, se demuestra lo anterior para el porcentaje de proteína y porcentaje de triptófano en la proteína, formados de los datos de tres poblaciones: compuesto blanco de endosperma duro, compuesto K y Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2. El coeficiente de correlación "r" fue negativo en las tres poblaciones, pero fue significativo en el Compuesto K y en Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2. En la tabla 13 se anotan el rango así como los valores medios para la proteína y el triptófano y el porcentaje de frecuencia de familias aceptables (proteína 7.50% y más; triptófano 0.65% y más) del tercer ciclo de selección de tres poblaciones. Según parece, por medio de una selección adicional se puede acrecentar a un nivel todavía mayor la frecuencia de modificadores favorables y aceptar la frecuencia de familias aceptables de acuerdo con su contenido de proteína y triptófano. En la tabla 14 se presentan los análisis de muestras básicas obtenidas del último ciclo de selección de las poblaciones con respecto a proteína, triptófano y lisina. Asimismo se puede ver que las versiones modificadas fueron un tanto semejantes a

TABLA 13 Rangos de valores de proteína y triptófano y coeficientes de correlación (*r*) en algunas de las poblaciones opaco-2 de endosperma duro bajo proceso de mejoramiento

No.	*Población*	*Ciclo de selección*	*No. de familias de hermanos completos*	*Rango de valores de proteína*	*Medio de proteína (%)*	*Rango en % de tript. en proteína*	*Medida de triptofano en proteína (%)*	*Frecuencia de familias aceptables (%)*	*Coef. de corr. (r)*
1.	Ver. 181-Ant. Gpo. 2 X Ven. 1 opaco-2	3	390	5.12-11.88	8.48	0.51-0.96	0.70	58.97	-0.4675[a]
2.	Compuesto K	3	205	6.56-12.50	9.19	0.51-0.80	0.65	55.12	-0.1460[a]
3.	Compuesto blanco de endosperma duro (opaco-2)	1	153	6.31-10.63	8.76	0.51-1.17	0.75	77.77	-0.1150

[a] Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad.

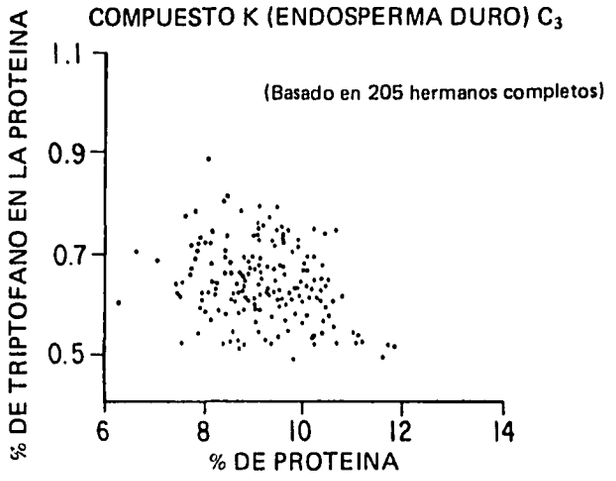


FIGURA 3 Gráfica dispersa de los procentajes de proteína y triptófano en proteína en poblaciones de opaco-2 de fenotipo modificado: Compuesto K (endosperma duro) (C_3).

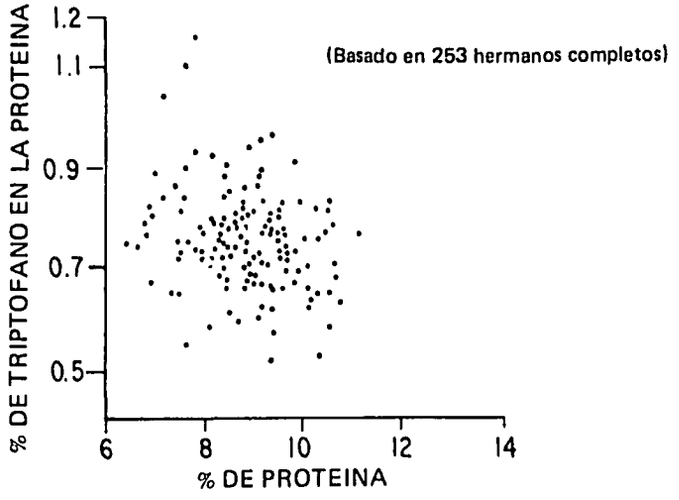


FIGURA 4 Gráfica dispersa de los porcentajes de proteína y triptófano en proteína en poblaciones de opaco-2 de fenotipo modificado: Compuesto blanco opaco-2 de endosperma duro (C_1).

TABLA 14 Proteína, lisina y triptófano en el grano completo de opacos y modificados de dos poblaciones

Muestra No.	Material	Fenotipo	% Proteína	% de triptófano en la proteína	% de lisina en la proteína
1	Compuesto K	Opaco	9.63	1.05	4.51
	(endosperma duro) C_3	modificado	10.38	1.02	4.27
2	Ver. 181-Ant. gpo. 2 X	Opaco	9.88	0.97	4.71
	Venezuela 1 opaco-2	modificado	9.69	0.97	4.72
	(endosperma duro)				

las contrapartes opacas en lo que se refiere a contenido de proteína, triptófano y lisina.

En conclusión, se puede decir que los fitogenetistas pueden cambiar completamente el fenotipo sin brillo de los opacos a un tipo de apariencia casi normal, sin sacrificar nada de la calidad y la cantidad proteínica mediante selección por modificadores de opaco-2.

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia).

BIBLIOGRAFIA

1. Alexander, D.E., J. W. Dudley y R.J. Lambert, 1971. The modification of protein quality of maize by breeding. EUCARPIA, págs. 33-43.
2. Annapurna, S., y G.M. Reddy, 1971. Modified opaque maize for possible applied use. Current Sci. (India), 21:581-582.
3. Bauman, L.F., y H. Aycock, 1970. Selection for modifier genes to improve performance of opaque-2 genotypes. Proc. XXV Ann. Corn Sorghum Res. Conf. Publ. 25, págs. 139-143.
4. Hayman, B.I. 1954. The analysis of variance of diallel tables. Biometrics, 10:235-244.
5. Hayman, B.I. 1954. The theory and analysis of diallel crosses. Genetics, 39:789-809.
6. Paez, A.V., J.L. Helm, y M.S. Zuber. 1969. Lysine content of opaque-2 maize having different phenotypes. Crop. Sci., 9:251-252.
7. Poey, F.R., y E. Villegas. 1970. Variaciones en el fenotipo de maíz opaco-2. Resúmenes VIII Reunión Latinoamer. Fitotecnia, Colombia, pág. . 179.
8. Poey, F.R., y E. Villegas. 1972. Agron. Abstr., Amer. Soc. Agron., pág. 70.
9. Pollacsek, M., A. Cauderon, y M. Caenen, (1970). Kernel texture and lysine content in opaque-2 maize. EUCARPIA, págs. 49-53.
10. Vasal, S.K. 1971. CIMMYT's quality protein program. Proc. I Maize Workshop, CIMMYT, México, págs. 83-85.

VARIABILIDAD DEL GERMEN Y EL ENDOSPERMA, ELEMENTOS MINERALES, CONTENIDO DE ACEITE Y GENES MODIFICADORES EN EL MAIZ OPACO-2

Loyal F. Bauman*

Desde que Mertz y sus colaboradores (7) descubrieron en 1964 que el gene opaco-2 mejoraba la calidad proteínica del maíz, el avance en el investigación sobre el uso de tipos con mejor calidad proteínica ha sido un tanto limitado. La razón principal ha sido el bajo rendimiento, aunque también figuran como factores adversos el endosperma suave que no es aceptable para ciertos usos culinarios, mayor susceptibilidad a pudriciones de la raíz y a insectos y problemas en la recolección y almacenamiento del maíz. El enfoque original incluía procedimientos de cruzamientos reversivos continuos para desarrollar con rapidez híbridos o variedades que portasen el gene opaco-2.

Los fitomejoradores advirtieron pronto que hay interacciones definitivas de genotipo con el maíz opaco-2. Se han utilizado estas interacciones en cierto grado para producir híbridos o variedades de opaco que son razonablemente aceptados en ciertas regiones. Se conviene, desde luego, que se puede y se debe trabajar más en el fitomejoramiento a fin de que haya mayor aceptación y se mejore la calidad proteínica de las variedades de maíz opaco-2.

Esta ponencia resume algunos de los estudios sobre interacciones y efectos del gene opaco-2 en relación con el rendimiento, madurez, peso del olote, características químicas y genes modificadores. Se pide al lector cierta cautela al generalizar o extrapolar esta información a otras poblaciones o germoplasma.

* Departamento de Agronomía, Universidad Purdue, Lafayette, Indiana, EUA.

MATERIA SECA EN EL GRANO SOBRE EL TIEMPO, PESO DEL OLOTE Y MADUREZ

Makonnen (6) estudió a un dialelo de opaco-2 que incluye seis progenitores autofecundados y al dialelo normal contraparte en un experimento hecho en una réplica de parcela dividida. Las curvas de acumulación de materia seca en el grano se determinaron sobre la base de la cosecha hecha a intervalos de 7 días, la cual se inició 28 días después de la polinización y continuó durante 63 días. El análisis de variancia reveló diferencias significativas entre los genotipos (opaco-2 con respecto al normal), híbridos y épocas de cosecha con respecto al peso del grano. Todas las interacciones fueron significativas para el rendimiento de grano, lo que indicó la importancia de las condiciones genéticas.

El gene opaco-2 se comportó de manera distinta en diferentes híbridos de las épocas de cosecha. Para B 14 X B 37 (figura 1), el opaco-2 tuvo un rendimiento de grano semejante a la contraparte normal en la primera y segunda fechas de cosecha (28 y 35 días después de la polinización, respectivamente). En contraste, se encontró una amplia diferencia entre el opaco-2 y el normal en las dos primeras cosechas con el híbrido A 239 X A 545 (figura 2).

En general, la reducida acumulación de materia seca en el grano en los híbridos de opaco-2 fue acompañada por una mayor retención de humedad. En

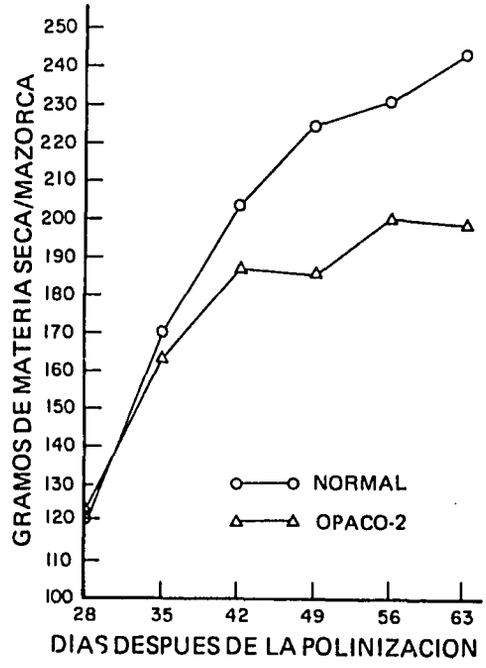


FIGURA 1 Comparación de peso de grano de versiones opaco-2 y normal de B14 X B37.

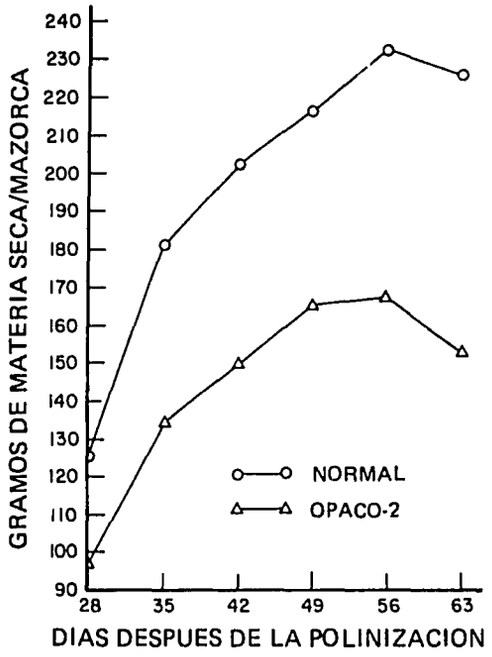


FIGURA 2 Comparación de peso del grano de versiones normal y opaco-2 de A239 X A545.

la madurez fisiológica, los híbridos de opaco-2 promediaron 3.5% de mayor contenido de humedad que el normal. La capa negra (indicador de la madurez fisiológica) se formó casi al mismo tiempo en el opaco-2 y en el normal, pese al cese temprano y casi completo de acumulación de materia seca en el opaco-2.

El opaco-2 tenía un efecto pronunciado y consistente sobre el peso del olote, siendo el peso del olote de los híbridos normales alrededor de 10% mayor que el de los opacos. Si por lo general esto es válido para los diversos germoplasmas, podría inducir un ligero sesgo contra las variedades de opaco-2 cuando el rendimiento se basa en el peso de la mazorca.

INTERRELACIONES ENTRE PROTEINA, LISINA, ACEITE Y CIERTOS ELEMENTOS MINERALES

Goodsell (4) reportó que los granos de opaco-2 contienen más potasio que los granos normales por lo cual se evaluaron las relaciones de éste y otros elementos minerales con respecto a la proteína. Se determinan las concentraciones de lisina, proteína, aceite, potasio (K), fósforo (P), magnesio (Mg), hierro (Fe) y zinc (Zn) en granos normales y opaco-2 de 1) 60 mazorcas seleccionadas procedentes de una población homocigota y de 2) 62 mazorcas procedentes de una población homocigota de opaco-2 (1).

TABLA 1 Correlación entre concentración de proteína y concentración de los elementos minerales

	Población homocigota		*Población heterocigota*
	Tipo de grano		
Elemento mineral	*Opaco*	*Normal*	*Opaco*
K	0.17	0.26*	0.32**
P	0.65**	0.59**	0.45**
Mg	0.42**	0.53**	0.53**
Fe	0.18	0.29*	0.37**
Zn	0.61**	0.36**	0.48**

* y ** son significativos a los niveles del 5 y el 1%, respectivamente.

TABLA 2 Correlación entre concentración de lisina y concentración de los elementos minerales

	Población homocigota		*Población heterocigota*
	Tipo de grano		
Elemento mineral	*Opaco*	*Normal*	*Opaco*
K	0.01	0.33**	0.20
P	0.43**	0.35**	0.25*
Mg	0.24	0.23	0.36**
Fe	0.19	0.43**	0.30*
Zn	0.49**	0.25*	0.33**

* y ** son significativos a los niveles del 5 y el 1%, respectivamente.

Todas las correlaciones entre el porcentaje de proteína y los elementos minerales fueron positivas y significativas para ambos tipos de grano de la población heterocigota (tabla 1). En la población homocigota de opaco-2 la concentración de proteína fue positiva y significativamente correlacionada con P, Mg y Zn.

La concentración de lisina estuvo correlacionada de manera importante con P y Zn en la población homocigota y con P, Mg, Fe y Zn en el caso de los granos de opaco-2 de la población heterocigota (tabla 2). Las correlaciones bajas, o insignificantes, entre K y proteína y lisina fueron decepcionantes. La concentración de aceite se correlacionó significativamente con el porcentaje de proteína ($r = +0.25$) y con lisina ($r = +0.39$) solamente para la población homocigota.

Los coeficientes de determinación para las ecuaciones de regresión múltiple de segundo orden (tabla 3) indican que la proteína y la combinación de proteína y aceite, según se esperaba, representan una cantidad más bien grande de la variación en lisina, particularmente en la población homocigota. Las correlacio-

TABLA 3 Coeficiente de determinación para las ecuaciones de regresión múltiple de segundo orden (el porcentaje de lisina es una variable dependiente.)

	Población homocigota		*Población heterocigota*
	Tipo de grano		
Variable(s) dependiente(s)	*Opaco*	*Normal*	*Opaco*
Proteína	0.68	0.25	0.51
Proteína y aceite	0.75	0.29	0.52
P, K, Mg, Fe, Zn	0.52	0.53	0.38

nes individuales y la combinación de P, K, Mg, Fe y Zn al relacionarse con la variación en lisina, ciertamente indican que debe hacerse más investigación sobre estos elementos minerales.

VARIACION Y CORRELACION QUE INCLUYEN A LA PROTEINA Y A LA LISINA EN EL GERMEN Y ENDOSPERMA

Se analizó el contenido de aceite de 30 muestras de grano de 44 mazorcas (aleatorias) procedentes de Syn HA opaco-2. Se disecaron los granos en las porciones de germen y endosperma, y se determinaron los contenidos de proteína, lisina y aceite. Contra lo que se esperaba, se observaron grandes variaciones para todas las características (tabla 4). Se le recuerda al lector que aquí se incluyen tanto el ambiente como la variación genética. Se pudiera plantear la pregunta de si hay que dar alguna atención a la variación en la porción del germen para lograr un máximo mejoramiento nutricional. De particular interés es que las cantidades y variaciones de lisina en el endosperma y en el germen son casi iguales.

TABLA 4 Variación en el germen y endosperma de 44 mazorcas de maíz opaco-2

Variable	*Media*	*Rango*
Germen:		
Porcentaje	16.5	13.0 - 21.9
Aceite %	32.4	25.1 - 42.5
Proteína %	26.7	22.9 - 31.2
Lisina % de proteína	5.8	5.0 - 6.9
Lisina %	1.5	1.2 - 1.9
Lisina (mg en 30 gérmenes)	19.4	10.2 - 28.4
Endosperma:		
Proteína %	10.3	6.4 - 14.1
Proteína (mg/30 endospermas)	657	386 -1003
Lisina % de proteína	3.34	2.7 - 5.0
Lisina %	0.34	0.25- 0.42
Lisina (mg/30 endospermas)	21.2	13.0 - 29.9

TABLA 5 Correlación para varios caracteres medidos en 44 mazorcas de maíz opaco-2

Caracteres	*Coeficiente de correlación*
Aceite (% de grano) y proteína (% de grano)	+0.48**
Aceite (% de grano) y proteína (% de endosperma)	+0.42**
Aceite (% de grano) y lisina (% de grano)	+0.41**
Aceite (% de grano) y lisina (% de endosp. prot.)	-0.33*
Aceite (% de germen) y proteína (% de germen)	-0.43**
Proteína (% de grano) y lisina (% de grano)	+0.70**
Proteína (% de grano) y lisina (% de grano prot.)	-0.52**
Proteína (% de grano) y proteína (% de endosp.)	+0.97**
Lisina (% de grano) y lisina (% de endosperma)	+0.76**

* y ** son significativas a los niveles del 5 y el 1%, respectivamente.

Algunas de las correlaciones más pertinentes entre estas características del grano y el germoplasma (tabla 5) dieron valores altos y relacionados. El porcentaje del aceite en el grano se correlacionó positivamente con el porcentaje de proteína en el grano y en el endosperma, y con el porcentaje de lisina en el grano, pero se relacionó negativamente con lisina como porcentaje de la proteína del endosperma. El porcentaje de aceite en el germen tuvo correlación negativa con el porcentaje de proteína en el germen.

La alta correlación ($r = +0.97$) entre el porcentaje de proteína en el grano con respecto al porcentaje de proteína en el endosperma indican que los análisis basados en los endospermas serían bastante precisos.

RELACIONES DEL OPACO-2 CON EL GERMEN Y EL CONTENIDO DE ACEITE

Los datos de Lambert y sus colaboradores (5), nuestras pruebas efectuadas en la Universidad Purdue y otras investigaciones, han demostrado que por lo general el opaco-2 tiene mayor contenido de aceite que el maíz normal. Esto se debe principalmente a que el germen ocupa una mayor proporción del grano en virtud del menor peso del endosperma. El informe de Sreeramulu y sus colaboradores (10) y los datos de la tabla 6, indican que es posible que el peso del endosperma sea en realidad mayor y esto puede ser un efecto compensatorio debido al menor peso del endosperma. Sin embargo, el porcentaje de aceite en el

TABLA 6 Características de granos opacos y normales de nueve mazorcas seleccionadas

	Opaco	*Normal*	*Por ciento del normal*
Germen como % del grano	16.25	13.15	123.6
Porcentaje de aceite en germen	31.43	35.70	88.0
Peso del germen	0.82	0.73	112.3
Peso del grano	24.7	27.4	90.2

germen pudiera ser menor en el opaco-2 (tabla 6), lo cual tendería a denegar el efecto del mayor peso del germen sobre el porcentaje de aceite en el grano.

La información presentada en la tabla 5, el informe de Dudley y sus colaboradores (3) y otros datos de la Universidad Purdue indican una correlación positiva y significativa entre el porcentaje de aceite y el porcentaje de proteína. Puesto que el germen contiene un alto porcentaje de proteína de buena calidad y el porcentaje de aceite es hereditario y fácil de determinar, se pensó que se debe investigar el efecto de la selección de aceite en opaco-2 sintético sobre el nivel y la calidad de la proteína.

Ruschel (9) seleccionó con respecto a mayor porcentaje de aceite en opaco-2 Syn HA utilizando medios hermanos y hermanos completos (dos ciclos cada uno) y selección de progenie S_1 (un ciclo). En el segundo ciclo del método de medios hermanos aplicó dos procedimientos de subselección. Cuando se compararon como grupo las cinco poblaciones seleccionadas con respecto a la población base, el aumento de porcentaje de aceite (0. 52%) fue significativo y el aumento significativo correlacionado en el porcentaje de proteína fue 0.46%. El rendimiento y los gramos de lisina/100 gramos de proteína no registraron cambios con la selección. Estos datos se consideran preliminares y se continúa haciendo la selección. Puede ser posible el desarrollo de variedades de opaco-2 con alto contenido de aceite, en particular para usos especiales.

TIPOS DE OPACO-2 VITREOS (MODIFICADOS)

Páez y sus colaboradores (8) describieron los tipos vítreos de opaco-2 y señalaron la posibilidad de corregir las desventajas debidas a la reducción del peso del endosperma. Bauman y Aycock (2), describieron brevemente este enfoque e incluso Vasal y colaboradores en el CIMMYT, el personal de nuestro proyecto y otros fitomejoradores han utilizado o utilizan este enfoque para desarrollar variedades opacas más aceptables con respecto a rendimiento, calidad de grano, y ciertos usos culinarios.

Algunas observaciones generales referentes a los tipos vítreos son : 1) el medio ambiente influye en el grado de vitriosidad, por ejemplo, nuestras poblaciones registran mayor modificación en el vivero de invierno; 2) las poblaciones pudieran diferir en cuanto a la frecuencia de tipos vítreos; 3) por lo general más de un gene está implicado; y, 4) los tipos vítreos tienden a tener calidad proteínica más baja y hay que aplicar presión de selección.

Urbano Ribeiral (un estudiante de postgrado en la Universidad Purdue) quitó el germen a los granos de seis familias y luego separó el endosperma en porciones vítreas y opacas. Los análisis (tabla 7) revelaron diferencias entre las porciones, en comparación con la porción opaca la porción vítrea tuvo mayor porcentaje de proteína y menor de lisina. Se admite que esta es una pequeña muestra y que contrasta con los datos de Páez *et al* (8). Sin embargo, hay que tener precaución al muestrear adecuadamente el endosperma completo para análisis.

Ribeiral también efectuó un estudio de un dialelo entre materiales opacos-vítreos endocriados. En un diseño de parcelas divididas se incluyen

TABLA 7 Comparación de valores de proteína y lisina de porciones opacas y vítreas de granos modificados de familias de opaco-2

	Porcentaje de proteína			*Lisina, gr/100 gr de proteína*		
	Porción opaca	*Porción vítrea*	*Endosp. completo*	*Porción opaca*	*Porción vítrea*	*Endosp. completo*
1	9.2	11.5	10.5	4.82	2.55	3.03
2	10.2	13.3	12.7	3.28	2.08	2.36
3	8.8	12.2	10.9	4.56	2.34	2.80
4	8.4	12.1	11.2	4.73	2.44	2.83
5	8.0	12.9	12.0	5.14	2.33	2.75
6	7.6	12.1	10.0	4.40	2.30	2.62
Media	8.7	12.4	11.2	4.49	2.34	2.73

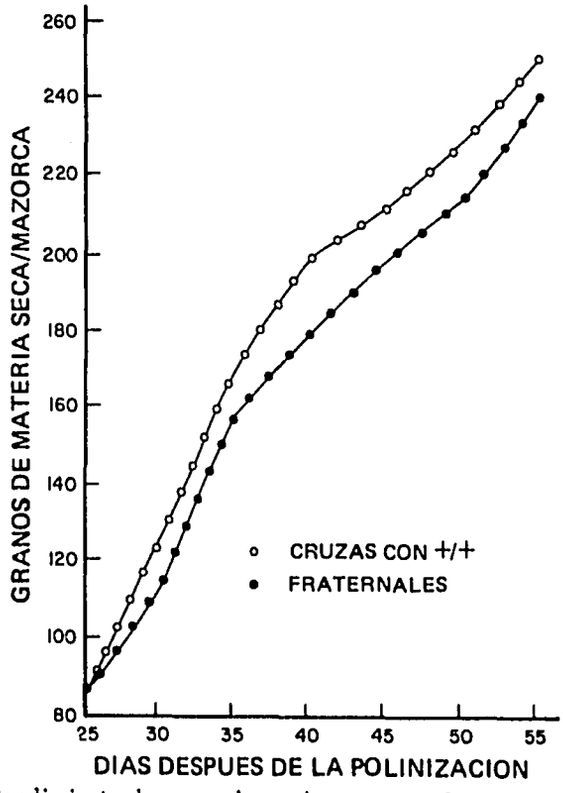


FIGURA 3 Rendimiento de grano de versiones cruzas fraternales y cruzas con normal del experimento vítreo 21 durante la madurez.

cruzamientos fraternales y cruzamientos con polen normal (+/+). Esto permite la comparación del rendimiento de los F_1's vítreos con su potencial de rendimiento como "normales" (suponiendo que $+/o_2/o_2$ es comparable con +/+/+). Estos progenitores vítreos endocriados se han intercruzado y estarán disponibles como una fuente de germoplasma modificador después de que se intercrucen en nuestro vivero de invierno. Este material será de interés principalmente para los programas de mejoramiento de las zonas templadas. La lluvia superior al promedio retrasó nuestra cosecha, de manera que de momento sólo se dispone de datos limitados de nuestras pruebas de 1972 en tipos vítreos

Dejene Makonnen (otro estudiante de postgrado de Purdue) determinó las curvas de acumulación de materia seca en el grano en el período de maduración para dos cruzas simples vítreas y para un híbrido opaco no-vítreo, de alto rendimiento (figuras de la 3 a la 6). Estos híbridos se cruzaron fraternalmente y con polen normal (+/+) para obtener una estimación de su potencial de rendimiento en relación al "normal". Los híbridos vítreos 21 y 25 fueron un tanto semejantes a sus contrapartes "normales" en todas las fechas de cosecha (figuras 3 y 4). Con estos dos híbridos el enfoque opaco-vítreo parece bastante prometedor.

El híbrido no-vítreo 16, de alto rendimiento, tuvo un rendimiento de alrededor de 96% con respecto a su contraparte "normal" (figura 5). En las variedades opacas y normales de W 64 A X B 37 se muestran curvas de acumulación de rendimiento de grano más típicas (figura 6). Desafortunadamente, es posible

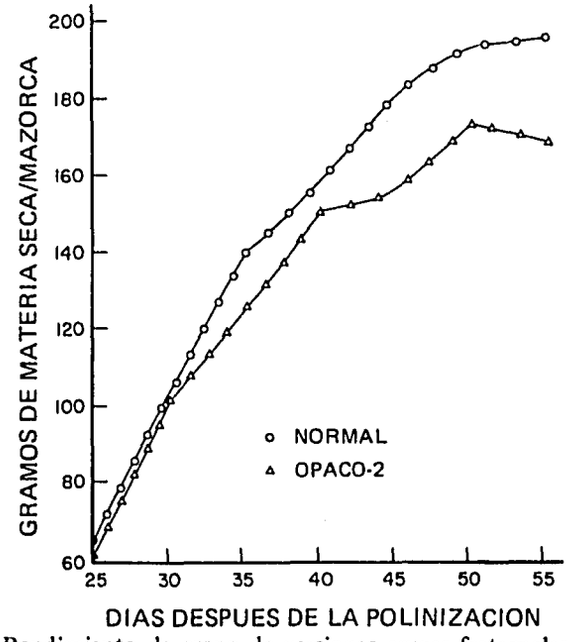


FIGURA 4 Rendimiento de grano de versiones cruzas fraternales y cruzas con normal del experimento vítreo 25 durante la madurez.

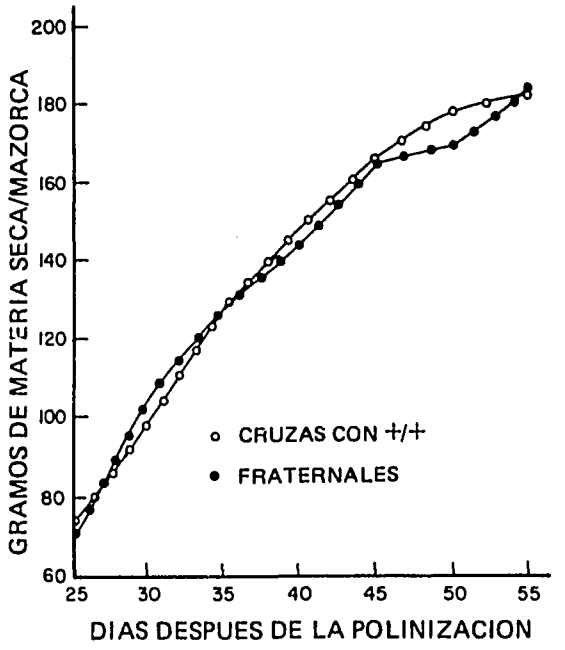


FIGURA 5 Rendimiento de grano de versiones cruzas fraternales y cruzas con normal del opaco experimental 16 durante la madurez.

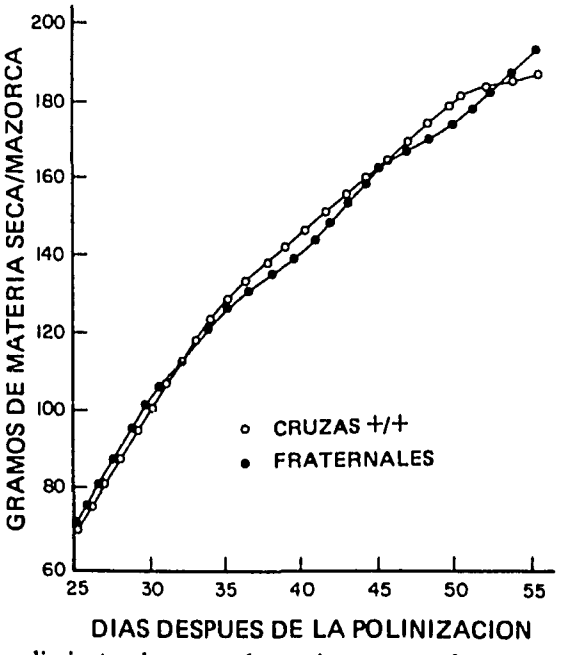


FIGURA 6 Rendimiento de grano de versiones normal y opaco de W64A X B37 durante la maduración.

que en este experimento algunos de los híbridos no hayan alcanzado su madurez fisiológica a los 55 días después de la antesis, debido a que las temperaturas son menores que las temperaturas promedio.

Los ensayos recientes con híbridos no-vítreos de opaco-2 experimentales y comerciales, han dado rendimientos que casi compiten con los mejores híbridos comerciales normales. Dichos híbridos de opaco-2 estuvieron libres de pudriciones de mazorcas, aún durante el verano pasado cuando tuvimos lluvias excesivas. Uno puede preguntar si acaso es necesario desarrollar materiales opacos vítreos para las regiones templadas. También serían deseables tipos opacos no-vítreos si la ventaja reportada del opaco-2 para la alimentación del grano se relaciona con una mayor digestibilidad debida al tipo de endosperma más suave.

El desarrollo de híbridos vítreos de opaco-2 no es un procedimiento sencillo. Inicialmente por los menos, hay que introducir los genes modificadores a materiales endocriados elite mediante un número limitado de cruzas reversivas, con generaciones alternadas de autofecundación para identificar tipos vítreos en las progenies de las cruzas reversivas y hacer la selección con respecto a la calidad proteínica. El desarrollo de poblaciones o variedades vítreas de opaco-2 para uso directo por el agricultor será una tarea relativamente fácil y que requerirá de menos tiempo.

Basándome en la información y el avance generados hasta ahora por la investigación, tengo confianza de que se pueden desarrollar híbridos y variedades aceptables de opaco para cualquier región productora de maíz.

Este artículo se publicó como Journal Paper No. 5041, Purdue University Agricultural Experiment Station. El trabajo fue auspiciado por la U.S. Agency for International Development por medio del Contract AID/Csd-2809, titulado "Herencia y mejoramiento de la calidad y contenido proteínico del maíz".

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia).

BIBLIOGRAFIA

1. Arnold, J. M., L. F. Bauman y H.S. Aycock. 1971, Interrelations among protein, lysine, oil and certain mineral element concentrations in maize populations. Agron. Abstr.
2. Bauman, L. F. y Harold Aycock. 1971. Selection for modifiers to improve perfomance of opaque-2 genotypes. Proc. XXV Corn Sorghum Res. Conf, págs. 139-143.
3. Dudley, J. W., R. J. Lambert y D. E. Alexander. 1971. Variability and relationships among characters in *Zea mays* L. synthetics with improved protein quality. Crop Sci. 11:512-514.
4. Goodsell, S. F. Potassium in mature kernels of normal and opaque-2 maize. Crop Sci. 8:281-282.
5. Lambert, R. J., D. E. Alexander y J. W. Dudley. 1969. Relative performance of normal and modified protein (opaque-2) maize hybrids. Crop Sci. 9:242-243.
6. Makonnen, Dejene. 1971, Maturity interaction and black layer formation in opaque-2 and normaldiallels of maize. M. S. Thesis, Biblioteca de la Universidad Purdue Lafayette, Indiana.
7. Mertz, E. T., L. S. Bates y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145:279-280.
8. Paez, A. V., J. L. Helm y M. S. Zuber. 1969. Lysine content of opaque-2 maize kernels having diferent phenotypes. Crop Sci. 9:251-252.

9. Ruschel, Renato. 1972. Selection for oil and relationships among oil, protein, and lysine in an opaque-2 population of maize (*Zea mays* L.). Ph. D. Thesis Biblioteca de la Universidad Purdue, Lafayette, Indiana.
10. Sreeramulu, C., L. F. Bauman y Gary Roth. 1970. Effects of outcrossing on protein quality, kernel weight, and related characters in opaque-2 and floury-2 maize (*Zea mays* L.). Crop Sci. 10:235-236.

LA GENETICA DE LOS MUTANTES DEL ENDOSPERMA DE MAIZ EN RELACION CON CALIDAD Y CANTIDAD DE PROTEINA

D. V. Glover*
P. L. Crane*
P. S. Misra**
E. T. Mertz***

Existen muchos mutantes en maíz (*Zea mays* L.) que producen grandes diferencias en las propiedades texturales, forma y cantidad del endosperma. Varios mutantes son los que ocasionan los cambios que afectan las temperaturas de gelatinización, punto final de doble refracción, digestibilidad de gránulos de almidón, y carbohidratos de almacenamiento tales como amilasa, amilopectina, polisacáridos solubles en agua, y azúcares.

Desde hace años se sabe acerca de los efectos de los mutantes opaco-2 (o_2) y harinoso-2 (fl_2) y la interacción de ellos en combinaciones dobles de mutantes (10, 12, 13). Nelson (12) reportó al mutante doble $fl_2 o_2$ como rico en lisina. Fue sorprendente que el fenotipo del mutante doble de Nelson no haya sido harinoso sino muy parecido, casi indistinguible, del normal. Aunque existe variación en cristalinidad en el endosperma del mutante doble, nosotros hemos observado que la mayoría de ellos son tipos harinosos blandos en las condiciones genéticas de maíz dentado.

Como es frecuente que ocurran interacciones inesperadas entre genes mutantes, las cuales afectan las características del endosperma, nosotros hemos desarrollado materiales genéticos para investigar cuidadosamente las interacciones de los genes o_2 y fl_2 con varios otros genes mutantes del endosperma en combinaciones dobles. Esto se está haciendo en cooperación con el departamento de Bioquímica, con el fin de encontrar algunos genotipos que pueden tener

* Departamento de Agronomía, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.
** Postdoctoral Studies, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.
*** Departamento de Bioquímica, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.

potencial para mejoramiento genético o para alterar: 1) la estructura de los aminoácidos; 2) el contenido total de energía en forma de carbohidratos y aceite; 3) la digestibilidad del grano; y 4) tal vez la modificación de otros nutrientes contribuirá a un mejoramiento del valor alimenticio del maíz. Existe potencial para obtener tipos de maíz con características deseables de almidón y cantidades adecuadas de proteína bien balanceada y nutricional para humanos y animales.

Se sabe que varios mutantes de maíz afectan la síntesis del almidón en el endosperma. Se ha reportado el efecto de la sustitución de genes sobre el almacenamiento de carbohidratos para ceroso (wx) (15); azucarado-1 (su_1) (16); rugoso-2 (sh_2) (7); quebradizo-1 (bt_1) y quebradizo-2 (bt_2) (3); y deslustrado (du) (2). Todos estos mutantes, con la excepción de wx, terminan en síntesis de menor cantidad de almidón. En algunos mutantes, tales como sh_2 y bt_2 sólo se sintetizó una pequeña proporción del almidón presente en el normal. Los efectos de muchos mutantes y combinaciones dobles de mutantes sobre la síntesis de polisacáridos ya han sido resumidos (4). Ninguno de éstos incluye al opaco-2.

Los mutantes wx, azucarado-2 (su_2), du y amilasa-extensor (ae) también originan cambios en las proporciones relativas entre amilosa y amilopectina. El almidón del endosperma de wx es completamente amilopectináceo (15). Los almidones sintetizados en los endospermas de du, su_2 y ae tienen porcentajes de amilosa mayores que lo normal. El ae contiene cerca de 60% de amilosa (5).

Se ha sugerido que la digestibilidad de poblaciones comerciales de maíz puede ser mejorada al usar mutaciones de genes específicos como wx y su_2 (14). Estos genes pueden ser importantes en el mejoramiento del valor nutricional del maíz para humanos y animales.

EFECTOS DE MUTANTES DEL ENDOSPERMA Y DE COMBINACIONES DE MUTANTES DOBLES CON OPACO-2

El análisis que se hace en esta sección se limita a parte de los datos que conciernen a los mutantes de endosperma seleccionados y sus combinaciones de mutantes dobles con opaco-2 en comparaciones de linajes casi isogénicas (1, 11) y en híbridos. Las fases iniciales del trabajo incluyen cruzamientos reversivos de mutantes para seleccionar condiciones genéticas endocriadas y recuperar materiales de sublinajes casi isogénicas dentro de las endocriadas.

Mutantes de endosperma simples y combinaciones de mutantes dobles con opaco-2 en condiciones genéticas endocriadas

Nosotros presentamos datos sobre las comparaciones isogénicas entre varios mutantes recuperados (o_2, fl_2, su_2, wx_2, ae, du, bt_1, bt_2, su_1, sh_2, fl_1 y h) del autógamo Oh43 después de seis cruzamientos reversivos, sus combinaciones de mutantes dobles con opaco-2 y con las contrapartes normales.

En las tablas 1 y 2 se muestran la concentración de los aminoácidos lisina y triptófano de los mutantes de endosperma simples y las combinaciones de mutantes dobles. En comparación con su contraparte normal, todos los mutantes presentan incrementos en la concentración de lisina y triptófano. Los mutantes ae y du afectan el incremento de lisina y triptófano en igual grado que fl_2, mientras que el su_2 tiene menor efecto. Todos mostraron algún decremento en leucina. La cistina aumentó en ae y la metionina en wx y du, sin embargo, no al nivel de la concentración encontrada en fl_2.

Las proteínas del endosperma de bt_2, bt_1, su_1 y sh_2 presentan un notable incremento en la concentración de lisina y triptófano (tabla 2). Además, todos muestran decremento en la concentración de leucina. Quebradizo-2 y su_1 presentan niveles de metionina aproximados a la concentración encontrada en fl_2. Comparados con sus contrapartes normales isogénicos, muchos de estos mutantes pueden clasificarse como mutantes de maíz con alto contenido de lisina (1, 11). Por ejemplo, quebradizo-2 es tan efectivo como opaco-2 en alterar el patrón de aminoácidos de las proteínas del endosperma.

Cada uno de los mutantes de endosperma incrementó la concentración de lisina y triptófano en las proteínas del endosperma cuando el gene se combinó con o_2 (tablas 3 y 4). En la tabla 3 se indican que las combinaciones de mutantes dobles

TABLA 1 Composición de aminoácidos de endospermas desgrasados en sublinajes Oh43 casi isogénicas

	Concentración de aminoácidos (g/100 g de proteína) en						
Aminoácido	+	o_2	fl_2	su_2	wx	ae	du
Lisina	1.6	3.5	2.3	1.9	1.7	2.3	2.3
Triptófano	0.3	0.8	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6
Proteína (%)	11.6	10.1	11.5	11.5	10.0	11.7	11.0

TABLA 2 Composición de aminoácidos de endospermas desgrasados en sublinajes Oh43 casi isogénicas

	Concentración de aminoácidos (g/100 g de proteína) en					
Aminoácidos	+	o_2	bt_2	bt_1	su_1	sh_2
Lisina	1.6	3.5	3.3	2.6	2.3	2.7
Triptófano	0.3	0.8	0.7	0.5	0.3	0.7
Proteína (%)	11.6	10.1	13.4	12.3	12.4	20.5

TABLA 3 Composición de aminoácidos de endospermas desgrasados en combinaciones de mutantes dobles en Oh43

	Concentración de aminoácidos (g/100 g de proteína) en						
Aminoácidos	+	o_2	fl_2 o_2	su_2 o_2	wx o_2	ae o_2	du o_2
Lisina	1.6	3.5	2.8	4.0	3.7	3.9	3.7
Triptófano	0.3	0.8	0.8	1.0	0.8	0.9	1.0
Proteína (%)	11.6	10.1	11.3	10.7	9.6	10.9	9.7

TABLA 4 Composición de aminoácidos de endospermas desgrasados en combinaciones de mutantes dobles en Oh43

	Concentración de aminoácidos (g/100 g de proteína) en					
Aminoácidos	+	o_2	bt_2 o_2	bt_1 o_2	su_1 o_2	sh_2 o_2
Lisina	1.6	3.5	5.3	4.8	3.9	4.2
Triptófano	0.3	0.8	1.3	1.4	0.8	1.2
Proteína (%)	11.6	10.1	14.9	10.3	13.3	18.7

su_2 o_2, wx o_2, ae o_2, y du o_2 incrementaron notablemente la concentración de lisina y triptófano, a niveles superiores que en o_2. La leucina decreció a 12.4, 11.3, 12.0 y 9.5%, respectivamente, en comparación con 16.4% en el contraparte normal, las combinaciones fl_1 o_2 y h o_2, que no se indican, también mostraron algunos incrementos en el contenido de aminoácidos. En contraste con estas combinaciones de mutantes, no se observó algún efecto notorio cuando se combinó fl_2 con o_2. Las combinaciones de bt_2, bt_1, su_1 y sh_2 con o_2, incrementaron sustancialmente la concentración de lisina y triptófano (tabla 4). La leucina decreció considerablemente en estas combinaciones dobles de mutantes de 9.9% en su_1 o_2 a 7.9% en sh_2 o_2. Las tablas 5 y 6 muestran la concentración de zeína (fracción II) (6) y la proporción zeína a glutelina-3 (fracción V) para cada uno de los mutantes de endosperma simples y las combinaciones dobles de mutantes. Con la introducción de cualquiera de los genes mutantes, el contenido de zeína disminuye y se incrementa la fracción mayor de glutelina (glutelina-3 y fracción V). Cuando se combinan los mutantes de endosperma con o_2 en los mutantes dobles, se obtiene una disminución en la síntesis de la zeína (tabla 6). Este efecto sinergético es más pronunciado en aquellos mutantes que por lo general sintetizan pequeñas cantidades de almidón en comparación con el normal, o sea, en bt_2 o_2, bt_1 o_2, sh_2 o_2. Por ejemplo, el

TABLA 5 Concentración de zeína y relación zeína: glutelina de endospermas desgrasados en Oh43

Genotipo	*Porcentaje de zeína (fracción II)*[1]	*Relación zeína: glutelina (fracción V)*
+	60.8[2]	4.28
o_2	29.2	0.92
fl_2	50.7	2.23
su_2	48.7	2.75
wx	51.5	3.43
ae	38.0	1.74
du	42.7	2.14
bt_2	28.9	0.93
bt_1	37.1	1.31
su_1	29.2	1.19
sh_2	32.8	1.25

[1] Secuencia de fraccionamiento D-Landry y Moureaux (6).
[2] Porcentaje de nitrógeno soluble total – Datos corregidos para lograr 100%.

TABLA 6 Concentración de zeína y relación zeína: glutelina de endospermas desgrasados de combinaciones de mutantes dobles en Oh43

Genotipo	*Porcentaje de zeína (fracción II)*[1]	*Relación zeína: glutelina (fracción V)*
+	60.8[2]	4.28
o_2	29.2	0.92
fl_2 o_2	28.0	1.05
su_2 o_2	18.5	0.52
wx o_2	23.7	0.70
ae o_2	20.1	0.56
du o_2	14.6	0.36
bt_2 o_2	3.2	0.06
bt_1 o_2	2.9	0.05
su_1 o_2	3.2	0.07
sh_2 o_2	1.3	0.03

[1] Secuencia de fraccionamiento D-Landry y Moureaux (6).
[2] Porcentaje de nitrógeno soluble total – Datos corregidos para lograr 100%.

contenido de zeína desciende a 3.2% en bt_2 o_2 y la fracción mayor de glutelina aumenta a 52.8%. En la ponencia de P. S. Misra se analiza la distribución de las proteínas y la caracterización de las fracciones extractadas de cada una de estas muestras.

Las concentraciones de proteína y lisina del germen no difirieron grandemente en estos mutantes y las combinaciones dobles de mutantes. Los contenidos de proteína del germen de o_2 y fl_2 (28%) fueron mayores comparadas con el normal con un 25% de proteína. Las concentraciones de lisina variaron de 5.4 a 6.2% de la proteína total.

Se encontraron diferencias significativas entre genotipos para contenido de elementos minerales en el grano –para fósforo, potasio, magnesio, cobre y fierro– dentro de los linajes mutantes simples y combinaciones dobles con o_2. Una observación interesante fue que su_2 y su combinación doble su_2 o_2 fueron consistemente altos para la mayoría de los elementos minerales. También se observó que su_2 tenía una mayor densidad del grano en las condiciones genéticas Oh43, ya que fue superior al normal. Azucarado-2 también interaccionó con o_2 para aumentar la densidad del grano del opaco-2 en la combinación doble.

L. Bartolome, de nuestro laboratorio, evaluó la digestibilidad relativa *in vitro* de estos mutantes de endosperma y sus combinaciones dobles de mutantes con o_2 en el endocriado Oh43. Sus datos indican que su_2, su_2 o_2 y wx o_2 fueron consistentemente superiores en producir las relaciones más altas de digestión en preparaciones de muestras crudas de almidón y grano entero. Opaco-2 fue superior a la contraparte normal y tendió a aumentar la digestibilidad de los mutantes dobles en comparación a las contrapartes mutantes no opacos.

Mutantes de endosperma simples y combinaciones de mutantes dobles con opaco-2 en condiciones genéticas de híbridos

Se dispone de datos sobre unos pocos mutantes seleccionados y sus combinaciones dobles con o_2 de experimentos preliminares en condiciones genéticas de híbridos. En un estudio que conduce G. A. Tosello se tienen los cuatro grupos (endocriados Oh43, W64A, B37 y C103), cada uno es casi un sublinaje isogénico para los mutantes simples o_2, fl_2, su_2, wx, ae, du y fl_1 y sus combinaciones dobles con opaco-2. Estos grupos de sublinajes fueron cruzados en series dialélicas, y tanto ellos como sus contrapartes normales crecieron en 1971 en un diseño con bloques completos en parcelas divididas. Los datos indican las características en grano maduro de seis híbridos para los grupos su_2 wx, ae, du, fl_2 y o_2 y sus combinaciones dobles con o_2. El du y fl_1 y sus combinaciones dobles con o_2 fueron evaluados en tres híbridos.

La figura 1 ilustra el porcentaje de proteína promedio en el endosperma de los linajes mutantes simples y combinaciones de mutantes dobles con o_2 de todos los híbridos probados. El efecto del gene o_2 fue reducir significativamente el porcentaje de proteína del híbrido simple del mutante o_2 y de todos los híbridos de combinaciones dobles de mutantes por debajo de la media de híbridos simples no opaco comparables. Sin embargo, ninguna de las combinaciones dobles del o_2 en los híbridos fueron significativamente inferiores en porcentaje de proteína

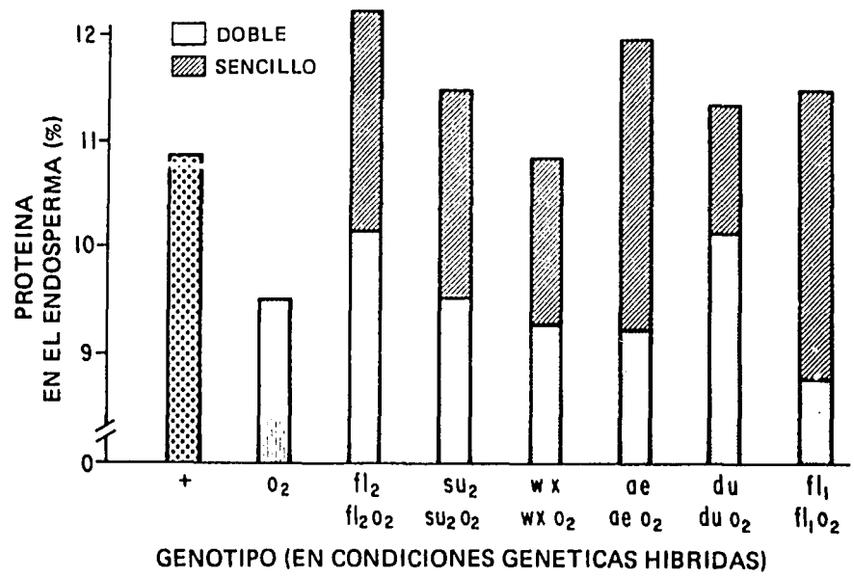


FIGURA 1 Porcentaje promedio de proteína para varios mutantes sencillos del endosperma y sus combinaciones de mutantes dobles con opaco-2 sobre híbridos (Indiana, 1971)

endospérmica en comparación con los híbridos o_2 mismos. Los híbridos fl_2 fueron superiores en concentración de proteína en el endosperma, como porcentaje, igual a como se ha encontrado en otros trabajos. Considerando la cantidad de proteína por endosperma, los híbridos simples de los mutantes wx y ae (32.2 y 31.4 mg de proteína por endosperma, respectivamente) no fueron diferentes de sus contrapartes normales (32.6 mg/endosperma). Los híbridos simples de los mutantes su_2 (29.6 mg/endosperma) y + fl_2 (28.2 mg/endosperma) fueron más bajos en cantidad de proteína, pero no sustancialmente. Los híbridos opaco-2 y la mayoría de las combinaciones de mutantes dobles mostraron decrementos de la cantidad de proteína en el endosperma.

La figura 2 ilustra los valores promedios de lisina como porcentaje de la proteína para todos los híbridos. Las medias de todos los híbridos simples de mutantes de endosperma y de combinaciones de mutantes dobles muestran incrementos significativos en concentración de lisina sobre sus contrapartes normales. Además de los híbridos o_2, los fl_2 tienen el incremento más pronunciado (53%) sobre los híbridos normales, seguido por su_2 con un 24% de aumento. Note el efecto sobre el incremento en la concentración de lisina del endosperma de los mutantes su_2, wx, ae y du combinados con o_2 en los híbridos de combinaciones de mutantes dobles, mientras que en el caso de los híbridos fl_2 o_2 y fl_1 o_2 no hubo incremento de la lisina como porcentaje de la proteína. Comparando la cantidad de lisina por endosperma (mg de lisina/endosperma), los híbridos su_2 o_2 y ae o_2 fueron significativamente superiores ($P < 0.01$) a los

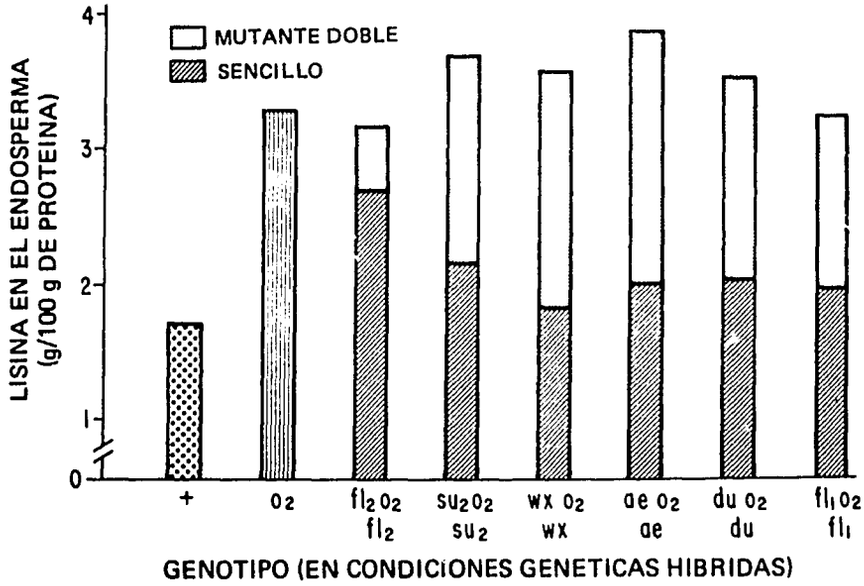


FIGURA 2 Promedio de lisina como porcentaje de la proteína para varios mutantes sencillos del endosperma y sus combinaciones de mutantes dobles con opaco-2 sobre híbridos (Indiana, 1971)

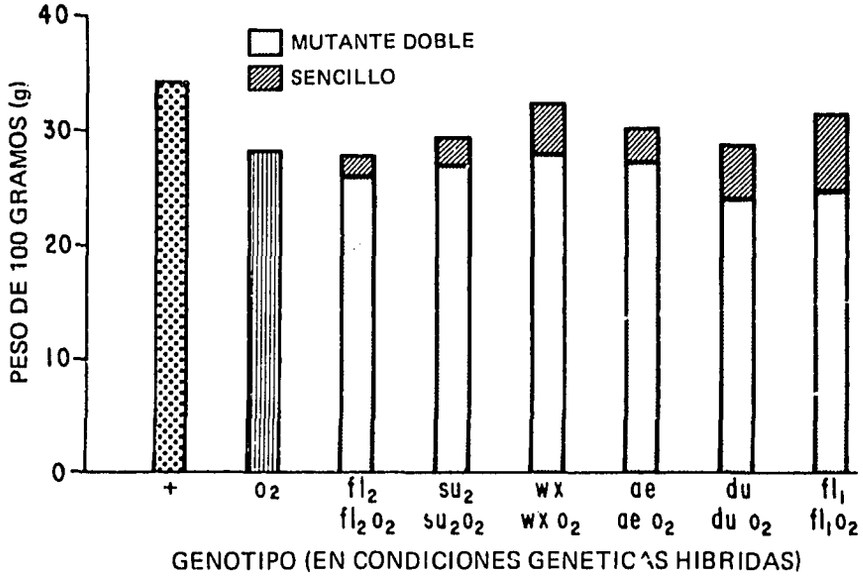


FIGURA 3 Peso promedio de 100 granos para varios mutantes sencillos del endosperma y sus combinaciones dobles con opaco-2 sobre híbridos (Indiana, 1971)

híbridos o_2, produciendo ambos un incremento en el porcentaje en la producción de lisina. Los híbridos fl_2 y wx o_2 presentaron un 3% de mayor producción de lisina que los híbridos o_2, pero no fueron significativamente superiores.

En comparación con el promedio de los híbridos normales (fig. 3), todos los híbridos simples y de combinaciones de mutantes dobles mostraron decrementos en el peso de 100 gramos. El ceroso y fl_1 presentaron la menor reducción, seguidos por su_2 y ae. El gene o_2 redujo las medias de peso de 100 gramos de todos los híbridos de combinaciones de mutantes dobles en comparación con las respectivas medias de los híbridos simples no opacos.

El gene mutante su_2 presentó el efecto más pronunciado sobre la densidad del grano en los híbridos (fig. 4). La media de densidad del grano para los híbridos de combinaciones dobles de mutantes su_2 o_2 fue significativamente superior ($P < 0.01$) a la media de los híbridos o_2 y otros híbridos o_2 en combinaciones dobles. Al parecer cuando se combina su_2 con o_2 se incrementa la densidad del grano en el mutante doble su_2 o_2 a un nivel casi normal.

La figura 5 ilustra la proporción promedio de germen en el grano entero de los híbridos. El efecto del mutante o_2 de producir granos con un germen mayor en los híbridos o_2 se descarta una vez más con estos resultados. Y ciertamente el efecto del gene o_2 en incrementar el porcentaje del germen fue pronunciado en las combinaciones de mutantes dobles. Los híbridos su_2 o_2 y wx o_2 fueron las únicas combinaciones dobles en las cuales los valores promedio para porcentaje

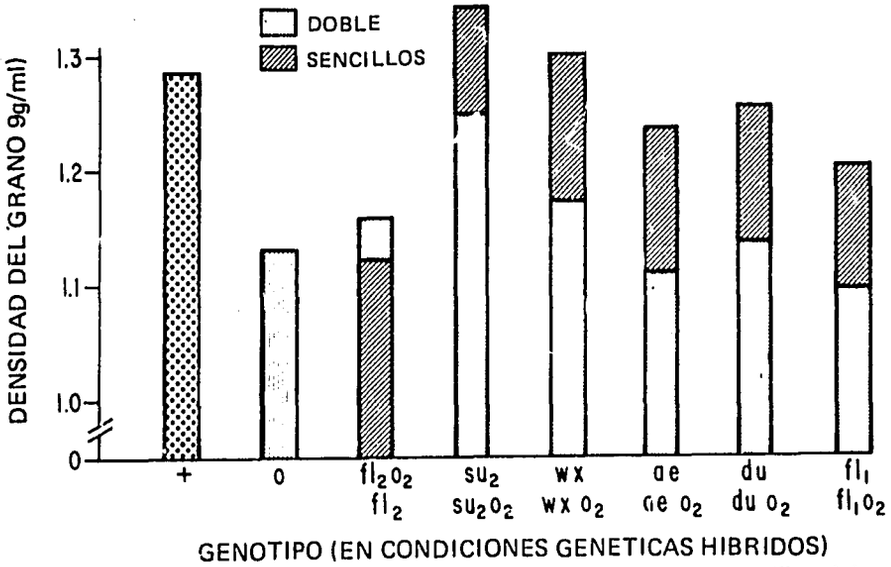


FIGURA 4 Densidad promedio del grano para varios mutantes sencillos del endosperma y sus combinaciones dobles con opaco-2 sobre híbridos (Indiana, 1971)

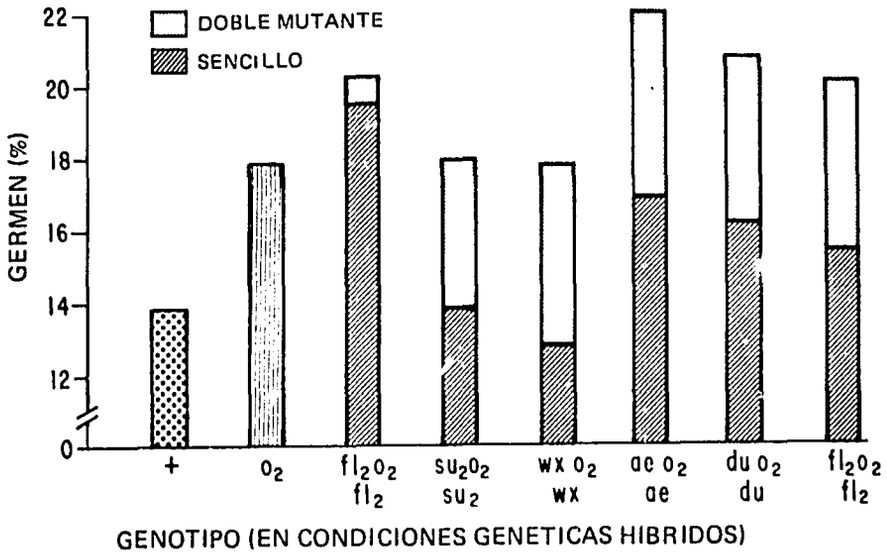


FIGURA 5 Porcentaje promedio de la fracción embrión en el grano entero para varios mutantes sencillos del endosperma y sus combinaciones dobles con opaco-2 sobre híbridos (Indiana, 1971)

de germen en el grano entero fueron significativamente diferentes al de los híbridos opaco-2.

De nuestro análisis previo acerca de los materiales mutantes de endosperma en condiciones genéticas casi isogénicas del endocriado Oh43, observamos que el gene su_2 estaba incrementando el porcentaje de aceite del grano entero sin un aumento concomitante en la proporción de germen. Nosotros analizamos el porcentaje de aceite del grano entero de los híbridos su_2, su_2o_2 y o_2, y de sus contrapartes normales. En la tabla 7 se da una comparación entre las medias de genotipos híbridos para porcentaje de aceite y contenido de aceite del grano entero. Parece que el gene su_2 aumenta significativamente el porcentaje de aceite. Más interesante aún es que la cantidad de aceite por grano (mg de aceite/grano) en los híbridos su_2 y su_2 o_2 fue aumentada significativamente ($P < 0.01$) por sobre los contrapartes normal y opaco-2, mientras que la proporción de germen en el grano entero de los híbridos su_2, permaneció constante (tabla 8). Los híbridos su_2 y su_2 o_2 fueron superiores un 15 y un 18%, respectivamente, en cantidad de aceite por grano que sus contrapartes normales. Aún cuando el porcentaje de aceite aumentó significativamente en los híbridos o_2, la cantidad real de aceite por grano no fue diferente de la de los híbridos normales.

TABLA 7 Contenido promedio de aceite del grano entero en híbridos de opaco-2, azucarado-2, y azucarado-2: opaco-2 y sus contrapartes normales – 1971

Genotipo	*Aceite*[2] *(%)*	*Aceite/grano (mg)*
+[1]	4.21[D]	14.63[B]
o_2	5.05[C]	14.58[B]
su_2	5.57[B]	16.78[A]
su_2 o_2	6.36[A]	17.19[A]

[1] Medias de seis híbridos y cuatro repeticiones.
[2] Las medias dentro de las columnas seguidas por una letra común no difieren significativamente al nivel de 1% (DMRT).

TABLA 8 Porcentaje promedio de germen y de lisina (g/100 g de proteína) del endosperma en híbridos de opaco-2, azucarado-2 y azucarado-2: opaco-2 y sus contrapartes normales – 1971

Genotipo	*Germen*[2] *(%)*	*Lisina en el endosperma (g/100 g de prote.)*
+[1]	13.99[B]	1.74[D]
o_2	18.14[A]	3.30[B]
su_2	13.99[B]	2.16[C]
su_2 o_2	18.10[A]	3.70[A]

[1] Medias de sies híbridos y cuatro repeticiones.
[2] Las medias dentro de las columnas seguidas por una letra común no difieren significativamente al nivel del 1%.

Estos resultados de las condiciones genéticas de híbridos de cruzas simples deberían verse como de tipo preliminar, pero ellos dan base a las observaciones de los datos de los materiales endocriadas Oh43 casi isogénicos. Los genes mutantes de endosperma ejercen un efecto similar (una represión de la síntesis de zeína), y cuando se combinan varios de ellos (su_2, wx, ae, du, bt_2, bt_1, su y sh_2) con el gene opaco-2, muestran el efecto de aumentar la concentración de lisina al reducir los niveles de zeína aún en un grado mayor. En contraste con la mayoría de los mutantes de endosperma mencionados antes, no se observó efecto de aumento en la concentración de lisina cuando, por ejemplo, se combina fl_2 con o_2.

Se sugiere tener cuidado en relación con estos mutantes de endosperma y sus combinaciones dobles con opaco-2. En primer lugar, aquellos mutantes y combinaciones de mutantes que disminuyen en forma considerable la síntesis de almidón (bt_1, bt_2, su_1 y sh_2) son agronómicamente indeseables desde el punto de vista de características del grano maduro, aún cuando ellos presentan la proporción zeína: glutelina más favorable. Sin embargo, las combinaciones de mutantes dobles de estos genes con opaco-2 tienen valor como tipo de maíz comestible en estado verde debido a su buena calidad de los carbohidratos y proteína que contiene. Tal vez podrían tener valor como un alimento especial para infantes, dependiendo de lo económico de la producción y la preparación del alimento. En segundo lugar, los datos sobre los mutantes del endosperma su_2, wx, ae, du, fl_2 y fl_1 y sus combinaciones con o_2 en híbridos son de tipo preliminar. Y aunque en los tipos especiales de endosperma modificado para almidón hay un potencial para mejoramiento en calidad de proteína, en características de digestibilidad, en densidad del grano, y tal vez para mejoramiento de contenido energético y nivel de minerales en tipos tales como su_2 o_2 y wx o_2, hay cierta incertidumbre respecto a la importancia nutricional de algunas de estas combinaciones de mutantes. Nosotros no contamos con información adecuada sobre el valor alimenticio y eficiencia biológica de estos tipos modificados, y de cuán bien ellos satisfarían los requerimientos de calorías y proteínas de los no rumiantes y también de los rumiantes.

Pruebas iniciales sobre granos enteros de su_2 o_2, wx o_2, ae o_2 y bt_2 o_2 en condiciones genéticas endocriadas de Oh43 se efectuaron con dos ratas durante diez días en cantidad igual a 95% de la ración. Aunque los resultados deben considerarse como preliminares, indican que la cantidad extra de lisina y triptófano de los mutantes dobles permite que se utilicen para la alimentación. En la actualidad, los experimentos de alimentación que se han hecho con novillos y corderos en la Universidad de Illinois (E.E. Hatfield y W.L. Braman) indican que el maíz ceroso mejorará la eficiencia alimenticia. También se han logrado aumentos en el ganado al alimentarlo con maíz opaco-2. Los experimentos de alimentación con maíz rico en aceite hechos en cerdos, han mostrado que la eficiencia alimenticia es sustancialmente mayor con este maíz que con el normal. Bien puede ser que las combinaciones dobles wx o_2 y su_2 o_2, por ejemplo, pueden contribuir para lograr un mejor alimento y/o valor alimenticio tanto para rumiantes como no rumiantes.

Datos de nuestras pruebas preliminares sugieren que la capacidad de rendimiento de los híbridos de los combinaciones dobles wx o_2 y su_2 o_2 pueden

ser más promisorios que otras combinaciones, pues en estos genotipos se reduce al mínimo la síntesis de almidón.

Otros mutantes que afectan la opacidad del endosperma

Varios otros mutantes que afectan la opacidad del endosperma en forma similar que opaco-2 y harinoso-2 han sido analizados. McWhirter (7) identificó un mutante harinoso del endosperma que apareció espontáneamente en W22 almacenado, el cual era alto en contenido de lisina y estaba unido al cromosoma 10. Se le designó opaco-7 (o_7). Nosotros obtuvimos semillas de o_7 y también del mutante doble o_2 o_7 (segregantes F_3 de la cruza W23/ L317o_2/o_2; +/+ X W22 +/+; o_7/o_7) de McWhirter y hemos obtenido el mutante o_7 de las intercruzas en varias condiciones genéticas endocriadas y aislamos las combinaciones de mutantes dobles o_2 o_7 y fl_2 o_7 en diferentes condiciones genéticas. La combinación de mutantes dobles o_2 o_7 y fl_2 o_7 no son fácilmente identificables por expresiones fenotípicas del endosperma. Además, el gen opaco-7 simple logrado en varios fondos genéticos está sujeto a considerable modificación y en muchos casos no da una expresión clara.

F. Poey obtuvo en el maíz cristalino cubano (O Poey) un mutante similar a opaco-2. Se ha determinado que este mutante es un alelo recesivo en el *locus* de fl_1 en el flagelo corto del cromosoma 2. El gene, designado opaco-4 (o_4), también es un alelo recesivo en el *locus* fl_1. Por lo tanto, estos dos mutantes son alélicos al gene fl^a originalmente descrito por Mazote y que se considera similar al gene opaco-2 en concentración de lisina (8). Nuestros datos preliminares indican que ninguno de estos tres mutantes son sustancialmente diferentes al normal en contenido de lisina.

Nosotros hemos obtenido numerosas muestras de supuestos mutantes opacos de una recolección en Colombia y otros genoplasmas. Se encontró que uno de estos mutantes era alélico a o_2 y otro a o_1. Muchos de estos mutantes, que afectan la opacidad del endosperma, han presentado algunos problemas de interés genético en relación con la expresión de la opacidad, pero no se ha encontrado alguno que ofrezca alguna ventaja nutricional.

La tabla 9 muestra la concentración de lisina de los mutantes espontáneos o_7 de las condiciones genéticas endocriadas W22, los mutantes dobles recibidos

TABLA 9 Composición de aminoácidos de endospermas desgrasados

	Concentración de aminoácidos (g/100g de proteína)						
	W22			*Condiciones genéticas endocreadas*			
	+	o_7	o_2 o_7	o_7 [1]	o_2 o_7 [1]	fl_2 o_7 [1]	fl^a [2]
Lisina	2.3	3.8	3.5	2.8	3.6	3.3	2.4
Proteína (%)	8.5	7.3	7.6	11.4	10.4	12.0	12.0

[1] Media de cuatro condiciones genéticas.
[2] Una condición genética.

de McWhirter, los mutantes o_7, o_2 o_7 y fl_2 o_7 obtenidos en las cruzas de varios endocriados, y fl^a El mutante o_7 (endocriado W22) presentó un valor de 3.8% de lisina, en base a proteína, comparado con un 2.3% de su contraparte normal (11). El mutante o_7 que se obtuvo en las cuatro condiciones genéticas diferentes presenta concentraciones mayores de lisina, pero no al grado reportado originalmente (8, 11). Los materiales W22 o_7 son muy bajos en proteína. La concentración de lisina de los mutantes dobles o_2 o_7 y fl_2 o_7 aumenta. Sin embargo, estas comparaciones no son una regla. Parece que el gene o_7 puede presentar niveles de lisina muy cercanos a aquellos del fl_2.

El material mutante fl^a fue obtenido por A. V. Páez (Pioneer Hi-Bred International, Inc.). Es posible que la concentración de lisina de este mutante sea mayor que en el normal. Pero, nuevamente, no es posible efectuar una comparación rigurosa pues no están en las condiciones genéticas comparables.

BIBLIOGRAFIA

1. Barbosa, H. M. 1971. Genes and gene combinations associated with protein, lysine, and carbohydrate content in the endosperm of maize (*Zea mays* L.). Ph. D. thesis, Biblioteca de la Universidad Purdue.
2. Cameron, J. W. 1947. Chemico-genetic bases for the reserve carbohydrates in maize endosperm. Genetics, 32:459-485.
3. Cameron, J. W. y H. J. Teas, 1954. Carbohydrate relationships in developing and mature endosperms of brittle and related maize genotypes. Amer. J. Botany, 41:50-55.
4. Creech, R. G. 1968, Carbohydrate synthesis in maize. Advan. Agron., 20:275-322.
5. Kramer, H. H., P. L. Pfaler y R. L. Whistler. 1958. Genetic interactions in maize affecting endosperm properties. Agron. J., 50:207-210.
6. Landry, J. y T. Moureaux. 1970. Heterogeneity of the glutelins of the grain of corn: selective extraction and composition in amino acids of the three isolated fractions. Bull. Soc. Chim. Biol., 52:1021-1037.
7. Laughnan, J. R. 1953. The effect of sh_2 factor on carbohydrate reserves in the mature endosperm of maize. Genetics, 38:485-499.
8. Mazoti, L. B. 1971. The fl^a gene and its percentage of lysine. Maize Genet Coop. Newslett., 45:70.
9. McWhirter, K. S. 1971. A floury endosperm, high lysine locus on chromosome 10. Maize Genet. Coop. Newslett., 45:184.
10. Mertz. E. T., L. S. Bates y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145:279-280.
11. Misra, P. S., R. Jamunathan, E. T. Mertz, D. V. Glover, H. M. Barbosa, y K. S McWhirter. 1972. Endosperm protein synthesis in maize mutants with increased lysine content. Science, 176:1425-1427.
12. Nelson, O. E. 1966. Opaque-2, floury-2 and high protein maize. Proc. High Lysine Corn Conf., Corn Refiners Assn. Inc., Washington, D.C., pp. 156-160.
13. Nelson, O. E., E. T. Mertz y L. S. Bates. 1965, Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. Science, 150: 1469-1470.
14. Sandstedt, R. M., B. D. Hites y H. Schroeder. 1968. Genetic variations in maize: effects on the properties of the starches. Cereal Sci. Today, 13:82-94.
15. Sprague, G. F., B. Brimhall y R. M. Hixon. 1943. Some effects of the waxy gene in corn on properties of the endosperm starch. J. Amer. Soc. Agron., 31:817-822.
16. Summer, J. B. y G. F. Somers, 1944. The water-soluble polysaccharides of sweet corn. Arch. Biochem. Biophys., 4:7-9.

METODOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE PROTEINA DEL MAIZ SIN EMPLEAR MUTANTES ESPECIFICOS

M. S. Zuber* y J. L. Helm**

El mejoramiento de la calidad proteínica del maíz será de gran valor para resolver los problemas nutricionales de la humanidad. En muchos países del mundo el maíz es un componente esencial de la dieta humana, así como de la dieta de muchos animales monogástricos tales como los cerdos.

En 1904, Osborne, Mendel y algunos otros investigadores (9) informaron que el maíz es deficiente en lisina y triptófano. Sin embargo, los primeros investigadores no contaban con métodos rápidos y eficientes para determinar el contenido de aminoácidos. En años recientes el nuevo equipo automático ha permitido el análisis de un gran número de muestras en un tiempo relativamente rápido.

Numerosos investigadores –Tello *et al* (12), Aguirre *et al* (1), Bressani *et al* (3) y otros más– han informado que hay variación en la composición de los aminoácidos del maíz. Estos investigadores encontraron diferencias significativas entre variedades de maíz con respecto a varios aminoácidos, la lisina, el triptófano y la metionina entre otros. Se supone que todos estos análisis se hicieron utilizando maíz de endosperma normal y basándose en grano completo. Flynn *et al* (4), Frey *et al* (5) y Miller *et al* (8) encontraron diferencias significativas en el contenido de proteína y aminoácidos de materiales de la zona estadounidense productora de maíz. Sin embargo, no hubo indicación en lo que respecta a si algunos de estos maíces con mayor contenido de lisina y triptófano fueron superiores a aquellos de contenido menor cuando se alimentó a animales monogástricos.

* Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture; Department of Agronomy, Universidad de Missouri, Columbia, Missouri.
** Anheuser Busch, Inc., Saint Louis, Missouri.

El gran avance sobre la calidad de la proteína se inició cuando Mertz *et al* (7) informaron que el opaco-2 casi duplicaba el contenido de proteína del tejido del endosperma. Sus descubrimientos estimularon un gran interés entre los investigadores por acrecentar la calidad de la proteína del maíz y de otros granos de cereales. Alexander (2) informó que los maíces opaco-2 seleccionados, por lo general tuvieron menor peso que los normales, pero en ciertos linajes los granos opacos fueron de igual peso que los normales. Las comparaciones hechas por Lambert *et al* (6) entre híbridos opacos y normales también mostraron que los híbridos de opaco-2 tuvieron un rendimiento menor y un menor peso del grano, pero registraron mayor contenido de humedad en el grano, más granos de maíz quebrado y mayor contenido de aceite total que sus contrapartes normales. Muchos otros investigadores informaron de resultados semejantes.

La presencia de posibles genes modificadores en ciertos linajes que tendieron a alterar el fenotipo de opaco-2 fue mencionada por Alexander (2). Más tarde, Páez *et al* (10, 11) informaron acerca de granos genotípicos de opaco-2 con endospermas que fueron translúcidos en un 50% y opacos en el otro 50%. Estos investigadores encontraron que el contenido de lisina en ambas fracciones fue parecido. Los resultados alentaron la búsqueda de tipos de endosperma translúcido entre los granos de opaco-2. Ahora se han identificado tipos con valores de lisina iguales a los del opaco-2. Hasta ahora los tipos translúcidos no se han evaluado por peso hectolítrico o rendimiento, pero el grano es definitivamente de textura dura. Se espera que el comportamiento agronómico de estos tipos translúcidos sea igual al de sus contrapartes normales.

El mejoramiento de la calidad de proteína en maíz dentado normal sin mutantes del endosperma es otra posibilidad. Los estudios de varios investigadores —Aguirre *et al* (1953); Tello *et al* (1955), y Páez *et al* (1969)— indicaron un rango considerable en el contenido de lisina entre diferentes razas y linajes de maíz. Debido a que esas determinaciones de lisina se hicieron básandose en grano completo, ha surgido la interrogante de que si acaso el rango de la lisina reportado pudiera deberse a que las razones germen: endosperma son variables. Dado que el tejido del germen tiene un alto contenido de lisina, este contenido podría ser mayor en los granos con una proporción más alta de tejido del germen.

OBJETIVOS

Los objetivos principales de este estudio fueron los de determinar si el contenido de lisina de maíz no mutante podría incrementarse mediante selección recurrente y si existe una asociación entre las razones germen: endosperma y el contenido de lisina.

MATERIALES Y METODOS

Se seleccionaron tres variedades de polinización libre sobre la base de sus valores de lisina mayores que el promedio, según el estudio de contenido de

lisina de diferentes líneas de maíz reportado por Páez *et al* (11). Las tres variedades escogidas fueron Dentado Amarillo Midland (PI222609), Compuesto Logan County (PI232666) y Dentado Amarillo Reid (PI213698).

Aproximadamente 75 plantas de cada variedad se endocriaron en 1967. El contenido de lisina se determinó en mazorcas S_0 sobre la base de grano completo. De cada mazorca se muestrearon y molieron 30 granos. El contenido de lisina se determinó mediante el método de decarboxilasa automático, descrito por White y Gauger (13). Se seleccionó un 10% de las mazorcas con el mayor contenido de lisina para iniciar el primer ciclo. De las mazorcas seleccionadas se tomó igual cantidad de granos en masa y se sembraron para que dieran aproximadamente 150 plantas. Estas plantas se intercruzaron usando mezclas de polen. Dos generaciones de intercruzas fueron seguidas por una generación autofecundada. Después de más de 400 mazorcas endocriadas se escogieron 100 mazorcas al azar, y se analizaron para determinar su contenido de lisina y proteína. Cada ciclo requiere entonces un mínimo de dos años y medio. Los métodos de selección, los procedimientos de muestreo y las determinaciones químicas fueron las mismas para el primero y el segundo ciclo y para cada una de las tres poblaciones. El análisis de aceite fue obtenido mediante el método de resonancia magnética nuclear (RMN) de amplio espectro de absorción por cortesía de la Estación Agrícola Experimental de Illinois.

RESULTADOS Y ANALISIS

El rango de valores de proteína y lisina de las tres poblaciones para el primero y el segundo ciclos se dan en la tabla 1. Las tres poblaciones siguieron un patrón semejante. El rango de la proteína para el segundo ciclo no fue tan grande como en el primero. Tampoco el valor más alto de la proteína cambió materialmente en ninguna de las poblaciones entre el primero y el segundo ciclos. El rango del contenido de lisina entre los dos ciclos fue casi el mismo, pero los valores inferiores y superiores se incrementaron del primero al segundo ciclo, lo cual sugiere que la selección fue efectiva en aumentar el contenido de lisina para cada una de las tres poblaciones.

TABLA 1 Rango, media y porcentaje de cambio del contenido de proteína y lisina para dos ciclos de selección recurrente por contenido de lisina sobre la base de grano completo

	Primer ciclo		*Segundo ciclo*		
Variedad	*Rango*	*Media*	*Rango*	*Media*	*% de cambio*
		Proteína			
Midland	9.4-17.8	13.4	10.4-16.5	13.6	+1.5
Logan	8.5-16.8	13.1	11.0-16.5	13.7	+5.0
Reid	8.1-17.0	12.3	10.5-15.0	12.3	Nada
		Lisina			
Midland	0.19-0.32	0.26	0.26-0.43	0.35	+34.6
Logan	0.19-0.38	0.27	0.34-0.49	0.40	+48.2
Reid	0.18-0.33	0.26	0.28-0.38	0.34	+30.8

En las figuras 1, 2 y 3 se muestra la distribución de frecuencia del porcentaje de contenido de lisina sobre la base de grano completo, para cada población y para uno y otro ciclo. Las figuras 4, 5 y 6 muestran la distribución de frecuencia del porcentaje de proteína sobre la base de grano completo para cada población y cada ciclo. Los valores medios de la proteína para el primero y el segundo ciclos fueron esencialmente los mismos y las distribuciones de frecuencia siguieron patrones semejantes. Estas distribuciones no indicaron cambios substanciales del contenido de proteína entre uno y otro ciclo.

No se puede ignorar la posibilidad de que parte del incremento en la lisina entre los dos ciclos se haya debido al efecto ambiental, puesto que el primero y el segundo ciclos de cada población se sembraron en años diferentes. Sin embargo, como se observó el mismo patrón en el incremento de lisina entre los dos ciclos para cada una de las tres poblaciones y como no hubo un cambio esencial en la proteína entre los ciclos, los resultados sugieren que los efectos ambientales pudieron haber sido mínimos. Los efectos del ambiente serán determinados en un futuro estudio en el cual se utilizarán las poblaciones no seleccionadas del primero y segundo ciclos; éstas se sembrarán al mismo tiempo y en el mismo lugar.

En virtud de que la selección recurrente por lisina sobre la base de grano completo pareció efectiva (y es probable que no se debió a ningún cambio en el nivel de la proteína), se planteó la cuestión de si acaso había ocurrido cualquier

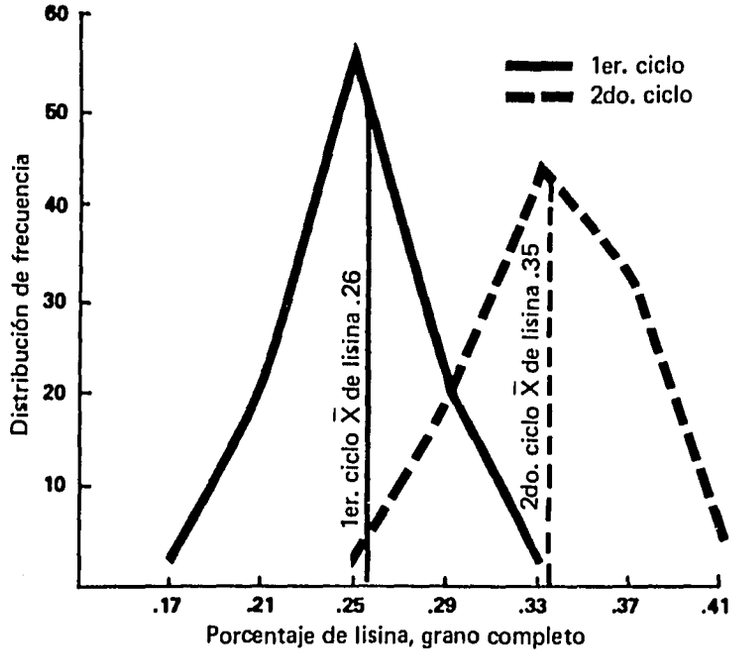


FIGURA 1 Distribución de frecuencia para el primero y el segundo ciclos de selección recurrente por alta lisina sobre la base de grano completo en el maíz dentado amarillo Midland.

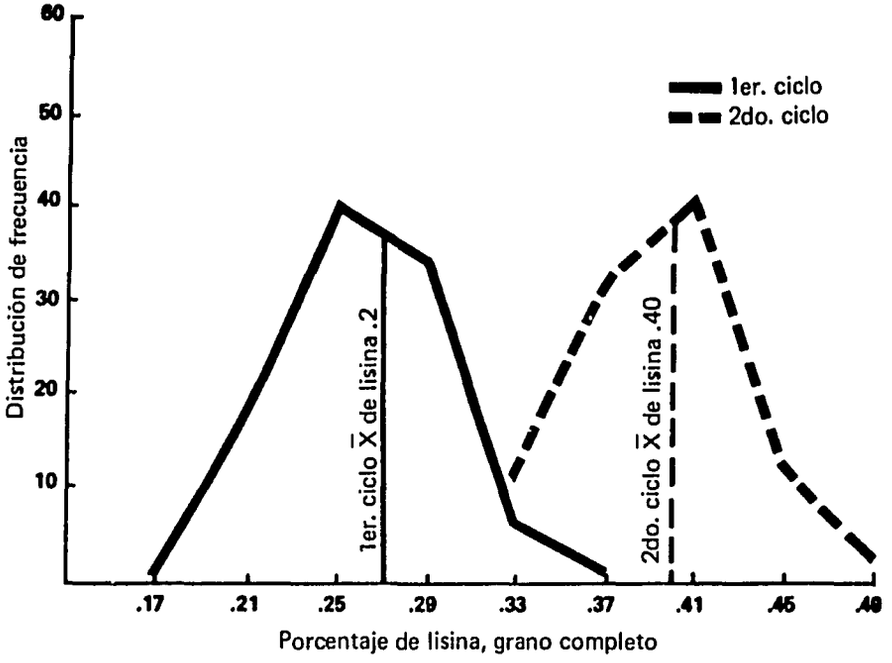


FIGURA 2 Distribución de frecuencia para el primero y segundo ciclos de selección recurrente por alta lisina sobre la base de grano completo en el compuesto Logan.

cambio entre los dos ciclos con respecto a la cantidad de lisina por 100 gramos de proteína. Las distribuciones de frecuencia para el número de gramos de lisina por 100 gramos de proteína se muestra en las figuras 7, 8 y 9. Las distribuciones de frecuencia para las tres poblaciones siguieron un patrón similar, y el segundo ciclo mostró un incremento substancial en la cantidad de lisina por 100 gramos de proteína.

Los estudios previos han mostrado que los linajes endocriados de maíz dentado con un contenido de lisina superior al promedio en el grano completo no produjeron híbridos con un contenido de lisina mayor que el promedio. Se supone que la disminución en el contenido de lisina para estas cruzas se debe al cambio en las razones germen: endosperma. Los linajes endocriados tuvieron más tejido endospérmico. Se pensó si era necesario establecer si los mayores contenidos de lisina estaban relacionados con gérmenes proporcionalmente más grandes.

El peso del germen y del endosperma se determinó haciendo la separación manualmente, y se computaron las razones germen: endosperma para todas las selecciones de cada población del segundo ciclo. También determinamos el contenido de aceite del grano completo para cada selección, puesto que se supuso que cualquier cambio en el tamaño del germen se reflejaría por un cambio concomitante en el contenido de aceite. Debido a que el procedimiento de

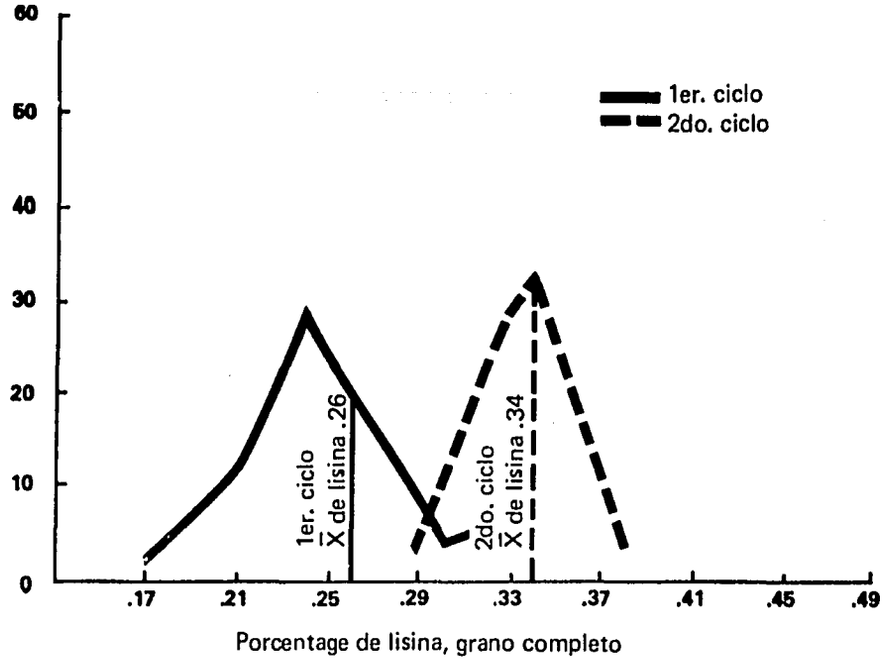


FIGURA 3 Distribución de frecuencia para el primero y segundo ciclos de selección recurrente por alta lisina sobre la base de grano completo en la variedad dentado amarillo Reid.

TABLA 2 Coeficientes de correlación de lisina, aceite, y proteína con otras variables para el segundo ciclo de selección recurrente por contenido de lisina sobre la base de grano completo

Componentes	*Dentado amarillo Midland*	*Compuesto Logan County*	*Dentado amarillo Reid*
Lisina en relación con proteína	0.49[a]	0.57[a]	0.41[a]
Lisina en relación con aceite	0.03	0.04	-0.19
Lisina en relación con peso del grano	-0.09	-0.16	0.03
Lisina en relación con el peso del endosperma	0.21[b]	-0.19	-0.06
Lisina en rel. con el peso del germen	0.26[b]	-0.07	0.09
Lisina en rel. con la razón endosp.: germen	0.02	-0.07	-0.05
Aceite en rel. con el peso del endosperma	0.05	-0.28[a]	0.13
Aceite en rel. con el peso del germen	0.33[a]	0.28[a]	0.17
Aceite en rel. con la razón endosp.: germen	-0.39[a]	-0.51[a]	-0.22[b]
Proteína en rel. con el peso del endosp.	0.16	0.12	-0.05
Proteína en rel. con el peso del germen	0.22[b]	-0.04	-0.18
Proteína en rel. con la razón endosp.: germen	0.12	-0.15	0.13

[a] Significativo a $p = 0.01$.
[b] Significativo a $p = 0.05$.

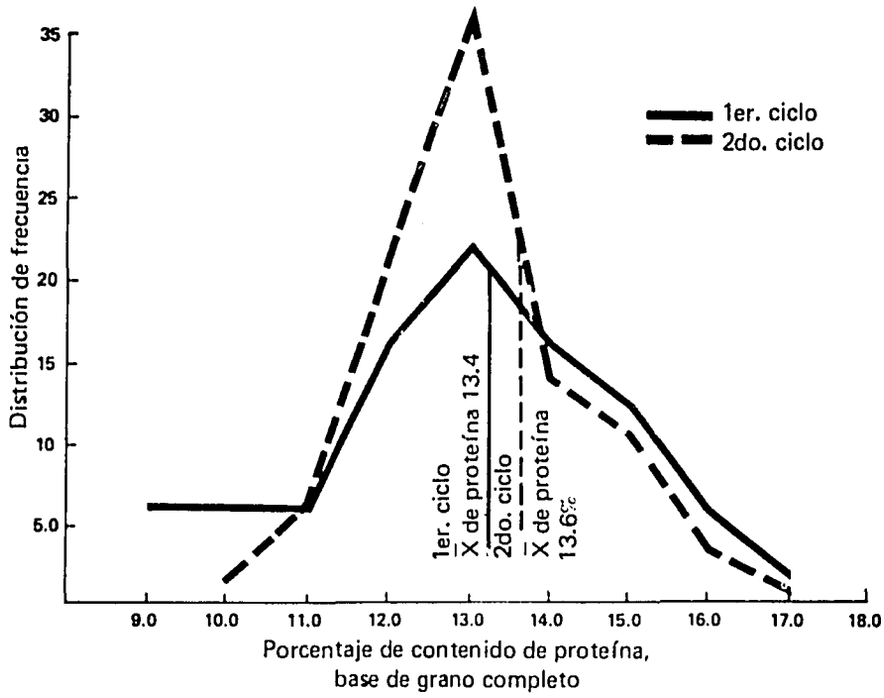


FIGURA 4 Distribución de frecuencia del contenido de proteína, para el primero y segundo ciclos de selección recurrente por alta lisina sobre la base de grano completo en la variedad dentado amarillo Midland.

resonancia magnética de espectro amplio no es destructivo, pudimos obtener razones germen: endosperma en todas las muestras usadas para el análisis de contenido de aceite.

Los coeficientes de correlación entre la lisina y otras variables se presentan en la tabla 2 para Dentado Amarillo Midland, Compuesto Logan County y Dentado Amarillo Reid. La lisina se correlacionó significativamente con la proteína, el peso del endosperma y el peso del germen en Dentado Amarillo Midland. En el Compuesto Logan County y en Dentado Amarillo Reid la lisina sólo se correlacionó significativamente con la proteína. La magnitud de estas correlaciones con aceite o germen sugiere que el tamaño del germen contribuyó con muy poco a la variación del contenido de lisina. Aún no se sabe por qué el contenido de aceite y el peso del germen no se correlacionan en Dentado Amarillo Reid ya que el aceite en relación con la razón endosperma: germen fue negativa, como se esperaba.

En la tabla 3 se muestran los coeficientes de determinación comparativos (R^2) y los valores de b entre el primero y el segundo ciclos de la selección. Los valores de R^2 entre la lisina y la proteína fluctuaron de 0.310 a 0.490 para el primer ciclo. Esta reducción de la magnitud de los valores de R^2 del primero al segundo ciclo no es explicable. Los valores de b fueron estadísticamente

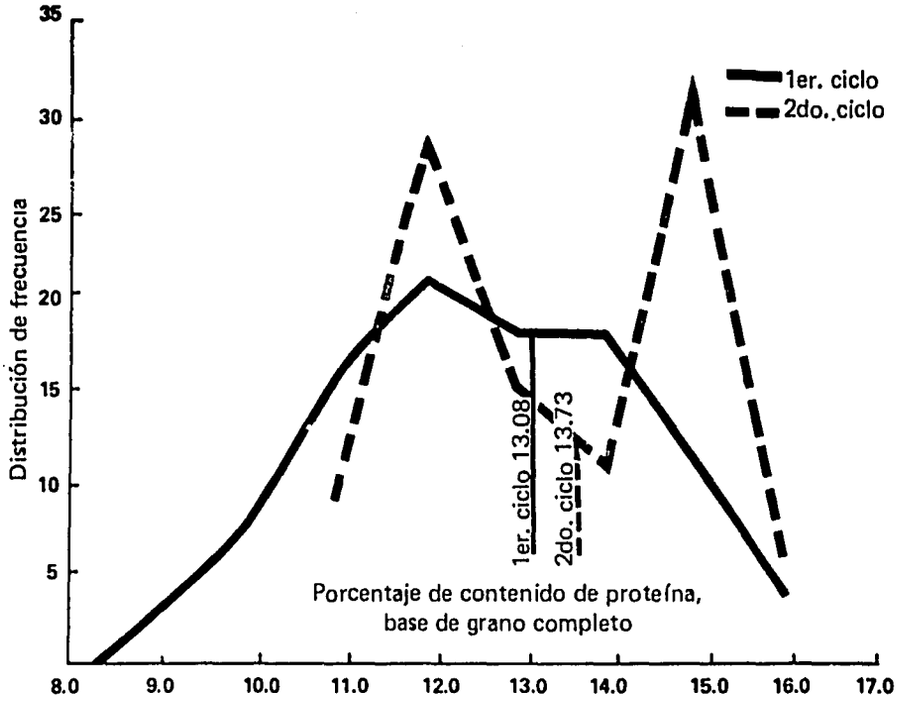


FIGURA 5 Distribución de frecuencia de contenido de proteína para el primer y segundo ciclos de selección recurrente por alta lisina sobre la base de grano completo en el compuesto dentado amarillo Logan.

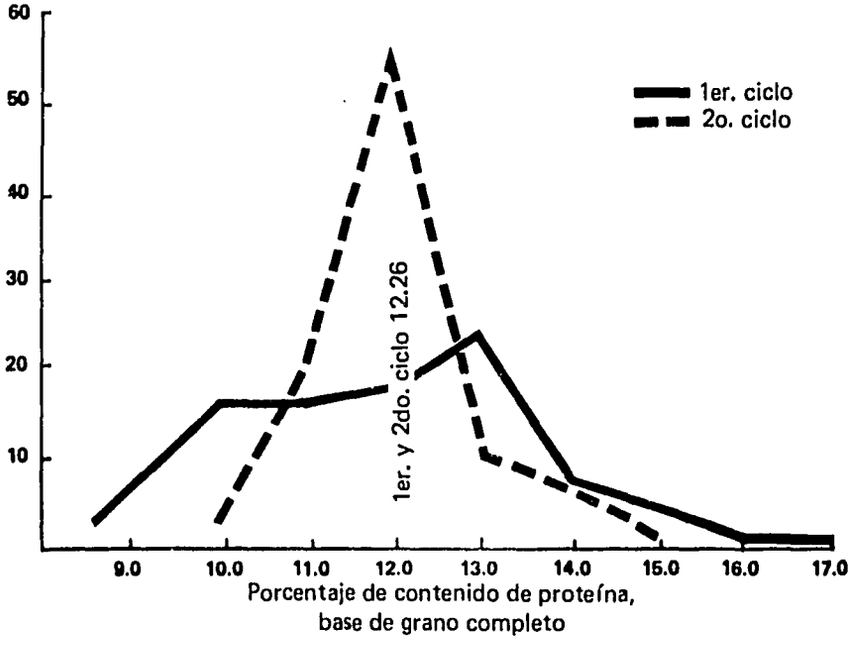


FIGURA 6 Distribución de frecuencia del contenido de proteína para el primero y segundo ciclos de selección recurrente por alta lisina sobre la base de grano completo en la variedad dentado amarillo Reid.

TABLA 3 Coeficiente de determinación y estimados de los valores de *b* para proteína en relación con lisina, proteína en relación con aceite y lisina en relación con aceite sobre la base de grano completo

	Primer ciclo		*Segundo ciclo*	
Componente	R^2	*Valores de b*	R^2	*Valores de b*
		Logan		
Proteína en rel. con lisina	0.490	0.01199[a]	0.314	0.0134[a]
Proteína en rel. con aceite			0.002	-0.0776
Lisina en rel. con aceite			-0.001	0.0022
		Midland		
Proteína en rel. con lisina	0.420	0.00847[a]	0.240	0.0118[a]
Proteína en rel. con aceite			0.028	0.4104
Lisina en rel. con aceite			0.001	0.0016
		Reid		
Proteína en rel. con lisina	0.310	0.00993[a]	0.165	0.0101[a]
Proteína en rel. con aceite			0.012	0.2126
Lisina en rel. con aceite			-0.035	-0.0091

[a] Significativo a $p = 0.05$.

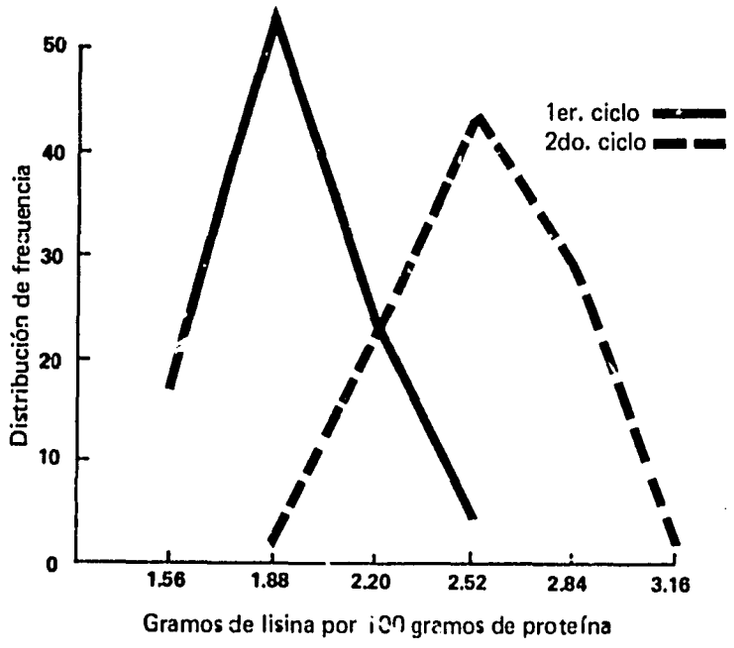


FIGURA 7 Distribución de frecuencia de gramos de lisina por 100 gramos de proteína sobre la base de grano completo por el primero y el segundo ciclos de selección recurrente en la variedad dentado amarillo Midland.

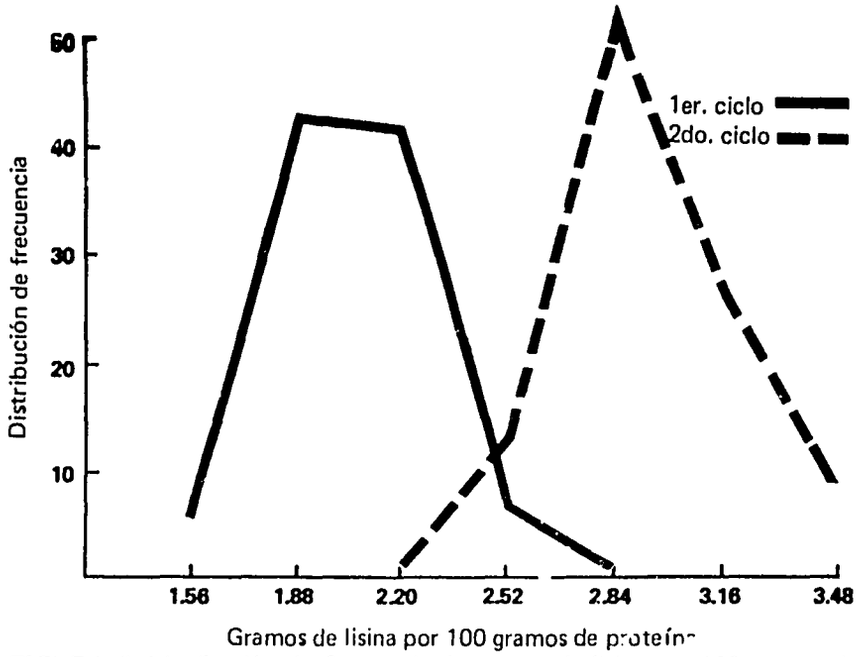


FIGURA 8 Distribución de frecuencia de gramos de lisina por 100 gramos de proteína sobre la base de grano completo para el primero y segundo ciclos de selección recurrente en el compuesto Logan.

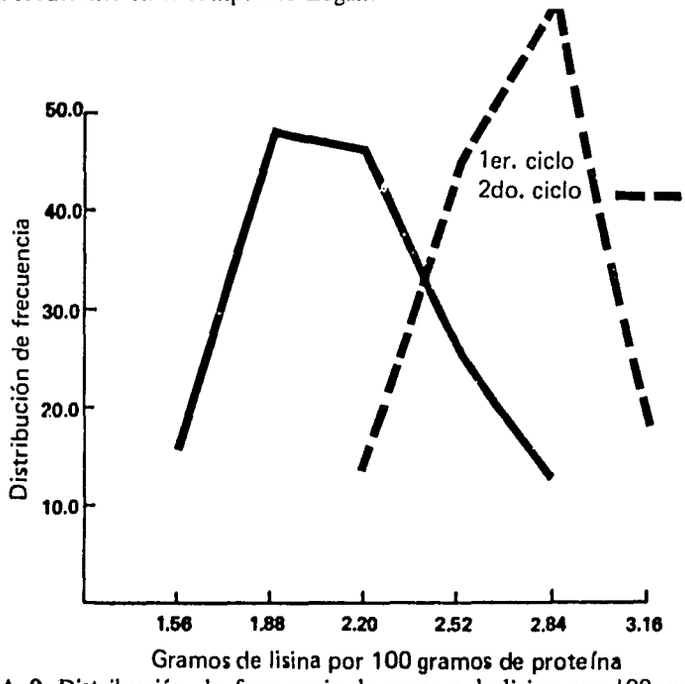


FIGURA 9 Distribución de frecuencia de gramos de lisina por 100 gramos de proteína sobre la base de grano completo para el primero y el segundo ciclos de selección recurrente en la variedad dentado amarilla Red.

significativos para la proteína en relación con la lisina para las tres poblaciones y para ambos ciclos. Los valores de R^2 entre proteína y aceite y entre lisina y aceite fueron bajos y no significativos.

Aunque los resultados de estos dos primeros ciclos sugieren que la selección por contenido de lisina ha sido efectiva, necesitaremos establecer si el mayor contenido de lisina de las selecciones del segundo ciclo es de valor biológico adecuado.

Debido a que el contenido de lisina se aumentó exitosamente mediante selección recurrente para tres diferentes poblaciones, hemos especulado sobre una base genética lógica acerca de este incremento. Los resultados obtenidos indican que muchos genes que afecten la síntesis de la lisina podrían estar implicados, o que varios genes mayores más algunos genes modificadores podrían estar implicados en ello. Estamos investigando el efecto de las selecciones de alta lisina a partir de estas poblaciones no mutantes cuando se cruzan con el opaco-2 mutante y el mutante se recupera en generaciones segregantes. Si está implicado el mismo sistema genético, pudiéramos quizá incrementar los valores de lisina del mutante opaco-2.

En la selección recurrente por contenido de proteína de estos tres no mutantes, hemos confinado nuestra selección al contenido de lisina sobre la base de grano completo. No hemos puesto atención a la proteína porque suponemos que la síntesis de la lisina y la proteína implican dos sistemas genéticos diferentes. Si esta suposición es válida, pensamos que el mejor enfoque sería incrementar primero el nivel de lisina. La correlación positiva significativa, aunque de pequeña magnitud, sugiere que cualquier incremento en la lisina debe ser acompañado por un incremento en la proteína.

BIBLIOGRAFIA

1. Aguirre, F., C. E. Robles y N. S. Scrimshaw. 1953. The nutritive value of Central American corns. II. Lysine and methionine content of twenty-three varieties in Guatemala. Food Res., 18:268-272.
2. Alexander, D. E., 1966. Problems associated with breeding opaque-2 corns, and some proposed solutions. Proc. High Lysine Corn Conf., Corn Refiners Assn., Inc., Washington, D. C.
3. Bressani, R., L. G. Elías, N. S. Scrimshaw y M. A. Guzmán. 1962. Nutritive value of Central American corns. VI. Varietal and environmental influence on the nitrogen, essential amino-acid, and fat content of ten varieties. Cereal Chem., 39:59-67.
4. Flynn, L. M., M. S. Zuber, D. H. Leweke, R. B. Grainger y A. G. Hogan. 1954. Relation between protein content of corn and concentration of amino acids and nicotinic acid. Cereal Chem., 31:217-228.
5. Frey, K. J., B. Brimhall y G. F. Sprague. 1949. The effects of selection upon protein quality in the corn kernel. Agron J., 41:399-403.
6. Lambert, R. J., D. E. Alexander y J. W. Dudley. 1969. Relative performance of normal and modified protein (opaque-2) maize hybrids. Crop Sci., 9:242-243.
7. Mertz, E. T., L. S. Bates y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145:279-280.
8. Miller P. A., T. L. Hurst y B. Brimhall. 1952. Relationships of lysine and niacin with the crude protein and certain protein components in corn grain. Agron. J., 44:343-345.
9. Osborne, T. B. y L. B. Mendel. 1914. Nutritive properties of proteins of the maize kernel. J. Biol. Chem., 18:1-16.

10. Páez, A. V., J. L. Helm y M. S. Zuber. 1969. Lysine content of opaque-2 maize kernels having different phenotypes. Crop Sci., 9:251-252.
11. Páez, A. V.. J. P. Ussary, J. L. Helm y M. S. Zuber. 1969. Survey of maize strains for lysine content. Agron. J., 61:886-889.
12. Tello, F., M. A. Alvarez-Tostado y G. Alvarado. 1965. A study on the improvement of the essential amino acid balance of corn protein. I. Correlation between racial and varietal characteristics and lysine levels of corn. Cereal Chem., 42:368-384.
13. White, L. M. y M. S. Gauger. 1971. Simultaneous automated determination of L-lysine and total amino acids in seed hydrolyzates. *En* Automation in Analytical Chemistry, Tech. Symp. 1967, Vol. 1. Mediad Inc., White Plains, N. Y., págs. 213-218.

PRODUCCION COMERCIAL DEL MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA: ASUNTOS Y PROBLEMAS ACTUALES

Federico R. Poey*

Muchos de los trabajos presentados en este simposio se basaron en los aspectos fundamentales del mejoramiento y de la evaluación química y nutricional de la calidad proteínica en maíz. Las ponencias presentadas se desarrollaron en viveros, laboratorios y hospitales altamente especializados del mundo, donde se aplica el método científico y los resultados pueden ser medidos objetivamente. Los éxitos en estos campos han sido evidentes en los últimos años, lo cual a obligado a algunas instituciones en varios países a promover la producción comercial de semilla, con el fin de fomentar la comercialización del maíz opaco para su uso directo e industrial. Sin embargo, la producción comercial del maíz opaco está relacionada con el mundo de las tradiciones comerciales y de mercadeo, en el cual los resultados y progresos se miden con parámetros más subjetivos, tales como utilidades y la aceptación por parte del consumidor.

Los problemas relacionados con la producción comercial y la utilización de maíz opaco se originan de la estructura blanda y harinosa del endosperma, la cual está asociada con el mejoramiento de la calidad proteica causado por el gene opaco-2. Esta estructura blanda implica un menor peso del grano, un incremento en la susceptibilidad a daños causados por insectos y enfermedades, y una resistencia de parte del consumidor para aceptar un tipo de maíz diferente a aquel con el que se comercia tradicionalmente.

* Semillas Poey, S. A., México, D. F.

Sin embargo, el valor nutritivo más elevado del maíz opaco-2 a motivado que instituciones oficiales y privadas traten de encontrar estrategias para vencer los problemas a los que se enfrentan. Las estrategias que se han seguido en los Estados Unidos, Colombia y Brasil se analizaran posteriormente. Estos tres países presentan diferentes condiciones en la producción y utilización del maíz. Los Estados Unidos usan el maíz principalmente para la alimentación de animales; para la alimentación humana, después de procesarlo industrialmente; y en la industria. En Colombia, el maíz se usa principalmente para el consumo humano, y en Brasil, prácticamente todo a la alimentación de animales. La estrecha cooperación entre el gobierno y las instituciones privadas en estos países ha hecho posible aplicar la tecnología más reciente y establecer políticas adecuadas de mercadeo, las cuales parecen necesarias para promover el uso comercial del maíz opaco.

Puede no ser una coincidencia que los progresos en la introducción de este maíz en otros países donde esta cooperación no se ha practicado hayan sido muy limitados.

Los esfuerzos que se han hecho para promover una máxima cooperación entre los sectores oficiales y los privados, requieren de atención prioritaria a fin de que en un futuro cercano se logre concluir la difícil, pero urgente, tarea de hacer que el maíz de alta calidad proteínica esté disponible para la población desnutrida. Esta cooperación debe existir tanto en la producción como en la comercialización de la semilla.

En cualquier intento que se haga para tener producción comercial de maíz de alta calidad proteínica de cualquier país, primero debemos considerar los aspectos sobre producción y distribución de la semilla, los cuales presentan condiciones y problemas diferentes en cada país. Las políticas gubernamentales tienen tremenda influencia en estas actividades, tanto en los países desarrollados como en los que están en vías de desarrollo. Esta influencia incluye desde libertad absoluta para la producción y distribución de las semillas en algunos países hasta un control estricto y el monopolio de estas actividades por organismos gubernamentales en los países, no sólo socialistas, sino también en aquellos con una economía de tipo mixto. Por otra parte, las empresas privadas abarcan desde organizaciones con grandes capitales que incluyen eficientes programas de mejoramiento hasta pequeñas firmas que operan a nivel local y, por lo general, con presupuestos pequeños.

Un nuevo tipo de instituciones internacionales, CIMMYT por ejemplo, está realizando programas de mejoramiento sin importar la procedencia del financiamiento o la nacionalidad de los investigadores. Aquí, de nuevo, al enfocar nuestra atención sobre los esfuerzos de cooperación oficial y privada para introducir el maíz opaco, podemos notar que se han alcanzado mayores progresos en los países que muestran relaciones más estrechas entre instituciones privadas, oficiales e internacionales.

Tomando en cuenta la utilización comercial de maíz opaco, se puede hacer una distinción importante de acuerdo con la forma en que se consume el maíz. Esto es, si se consume directamente o procesado. Para el consumo directo, se prefiere el maíz de grano duro, que consume tradicionalmente la comunidad, con respecto al maíz opaco-puro. Esta discriminación tiende ha ser más fuerte en las comunidades menos desarrolladas, las cuales por lo general coinciden con los

sectores de población con mayor déficit de proteínas. Una vez ya transformado por algún proceso industrial o proceso intermedio, el maíz opaco de textura blanda no parece estar afectado en su aceptación a menos que alguna otra característica del producto final tampoco fuere aceptada.

Mientras la tradición sea el elemento más importante sobre la decisión del consumidor para aceptar el maíz de alta calidad proteínica, la relación costo-beneficio de un proceso industrial parece ser el aspecto principal de decisión para una operación procesadora para alimentos.

El uso del maíz de alta calidad proteínica en la industria de alimentos representa un medio importante para la utilización de maíz opaco. La industria puede hacer productos enteramente de maíz, parcialmente suplementados, o sustituirlos con otros productos. Este es el caso con el pan y las pastas, por ejemplo, donde la harina de trigo puede ser parcialmente sustituida con harina de maíz opaco. Esto se está haciendo actualmente, y el maíz opaco ha encontrado su camino en la manufactura de algunos productos alimenticios populares.

Las siguientes ponencias presentarán puntos de vista y experiencias tenidas en la producción de semillas, introducción comercial e industrialización del maíz de alta calidad proteínica. Aunque la experiencia obtenida en esta área es relativamente poca, estoy seguro, que los puntos de vista presentados auxiliarán nuestra investigación para encontrar caminos a fin de introducir comercialmente el maíz de alta calidad proteínica en muchas partes del mundo.

Sin embargo, no hubiera sido posible obtener en su totalidad los objetivos esperados de esta sesión sin la participación activa de la distinguida audiencia internacional que se reunió en el simposio. Se les pidió que hicieran sus preguntas y expresaran sus opiniones.

Es posible que en esta reunión se logre sentar un precedente duradero a fin de encontrar mecanismos prácticos necesarios para la aplicación de nuestras investigaciones.

EXPERIENCIA QUE TUVIERON LOS PRODUCTORES DE SEMILLAS CON EL MAIZ OPACO-2, A NIVEL MUNDIAL

William L. Brown*

La experiencia de la industria de las semillas con el maíz opaco-2 ha sido bastante limitada, tanto en los Estados Unidos como en otros países. Hace menos de 12 años que un grupo de científicos de la Universidad Purdue demostraron los efectos del gene mutante opaco-2 sobre el balance de aminoácidos del endosperma del maíz. Este descubrimiento permitió que se desarrollara una actividad tremenda entre los fitomejoradores, que de inmediato trataron de incorporar el gene opaco-2 en genotipos de diversas características deseables. En esa época se sabía poco con respecto a la interacción del gene opaco-2 con otros factores que influyen sobre la composición física y bioquímica del endosperma del maíz.

Se necesita tiempo para desarrollar los híbridos y variedades de opaco-2 que tienen las características ideales que demanda la agricultura moderna aún cuando la transferencia de un gene simple por medio de cruzas reversivas sucesivas es relativamente sencilla. Cuatro o cinco cruzamientos reversivos a los genotipos deseables, por lo general no producen linajes que, cuando se cruzan, produzcan híbridos capaces de competir con los mejores híbridos disponibles en el mercado. Aún cuando algunos híbridos de opaco-2 producidos de esta manera han entrado al mercado, la industria de semillas apenas comienza a introducir híbridos cuyos linajes progenitores han tenido suficientes cruzamientos reversivos que les permiten competir estrechamente en su comportamiento con sus contrapartes de endosperma normal. Por esta razón, la experiencia con híbridos de opaco-2 adecuadamente probados ha sido muy limitada.

* Pioneer Hi-Bred International, Inc., Des Moines, Iowa, E.U.A.

Aunque en la mayoría de los países donde el maíz es importante se llevan a cabo trabajos de mejoramiento con el opaco-2, el uso comercial en escala considerable de híbridos y variedades de opaco-2 se ha limitado, al parecer, a tres países: Brasil, Colombia y los Estados Unidos. Se ha informado que Brasil produjo 400 toneladas de semilla de opaco-2 en 1971, y Colombia, en ese mismo año, produjo aproximadamente 250 toneladas. La cantidad de semilla de opaco-2 que actualmente se produce en los Estados Unidos todavía es un porcentaje insignificante del total de semilla de maíz que se requiere. Posteriormente se analizarán cantidades y otros detalles relativos a las actividades realizadas en los Estados Unidos.

Asimismo, se presentarán informes sobre la situación actual de los híbridos y variedades de opaco-2 en Brasil y Colombia. El análisis general que aquí se hace se centra en la experiencia de la industria de semillas con el opaco-2 en tres categorías separadas: 1) fitomejoramiento, 2) producción de semilla, y 3) experiencia de los agricultores.

FITOMEJORAMIENTO

Las características indeseables del grano y los rendimientos relativamente bajos asociados con los mutantes de opaco-2 han impedido la aceptación generalizada de este tipo de maíz en las regiones del mundo donde tiene que competir con los tipos normales. Por consiguiente, su uso se ha limitado en gran parte a operaciones contractuales de producción, y a regiones donde el precio de este maíz se garantiza a niveles que lo hacen redituable para el productor.

Por tales razones, la mayoría de los fitomejoradores han puesto su atención en 1) la selección por alto peso hectolítrico dentro de los fenotipos del opaco-2, 2) la selección por tipos de endosperma modificado que se aproximan a fenotipos de grano normal combinados con el valor nutritivo del opaco-2 de altos niveles nutricionales originalmente reportado, y 3) la selección de combinaciones de endosperma mutante doble.

Numerosos fitomejoradores que trabajan con el maíz opaco-2 han observado, en algunas genealogías, segregación con respecto a tipos de endosperma que se desvían del fenotipo 100 por ciento opaco. El moteado o la división del tejido del endosperma, varían de acuerdo con los tipos, desde una ligera diferencia con respecto al fenotipo opaco típico hasta un normal completo. En nuestro laboratorio, Alix Páez ha aislado y ha estado trabajando con varios de esos linajes. De tres familias de progenies segregantes que fueron sujetas a análisis químicos para determinar el contenido de proteína y lisina, los mejores 15 linajes variaron en su contenido de lisina de 0.37 a 0.47 por ciento, comparados con .45% del opaco-2 estándar que sirvió de testigo. El porcentaje de lisina en la proteína total de estos linajes varió de 3.79 a 5.12 por ciento, comparado con 4.73 por ciento del testigo opaco-2. Varios de estos linajes se han probado en combinaciones de híbridos y es alentador notar que los mejores se comparan favorablemente en el porcentaje de lisina con los fenotipos estándar de opaco-2.

Estos resultados indican la posibilidad de seleccionar linajes con alto contenido de lisina con endosperma normal, translúcido. Si esto se puede hacer, será posible desarrollar híbridos con alto contenido de lisina sin que haya necesidad de aceptar rendimientos menores como consecuencia de un peso específico menor asociado con el fenotipo convencional de opaco-2. En otras palabras, la característica de opaco-2 por sí misma no parece ser un requisito para que tenga un alto contenido de lisina. Sin embargo, se debe señalar, que la frecuencia con que ocurren los tipos de endosperma normal y seminormal que segregan de las cruzas de opaco-2 X genotipos normales varía mucho, y al parecer depende de las condiciones genéticas del linaje normal particular que se utiliza en tales cruzamientos. Dicho de otra manera, no debe esperarse que los segregantes de tipo de endosperma normal emerjan de todos los cruzamientos de opaco-2 X genotipos normales.

Otro enfoque promisorio para el desarrollo de maíz con endosperma vítreo y alto contenido de lisina, implica el uso de combinaciones de endosperma doble mutante. Nelson (2), en 1966, informó que el mutante doble fl_2/fl_2 o_2/o_2 reconstituye un endosperma denso con un balance de aminoácidos semejante al del fl_2/fl_2. Sugirió que el uso de tal combinación podría superar la pérdida de rendimiento inherente en los tipos de endosperma harinoso que resultan del empleo de cualquiera de esos genes separadamente.

Sin embargo, Lambert y Cochran (1) han reportado que la combinación doble mutante exhibe endospermas translúcidos con un peso específico normal sólo en ciertas condiciones genéticas. Los resultados de Páez (3) han confirmado estos hallazgos. Además, este investigador sostiene la hipótesis de que la interacción aparente de opaco-2 y harinoso-2 para producir un fenotipo de endosperma modificado pudiera ser más bien el resultado de la operación de otros genes no identificados que se llevan a través de la genealogía del harinoso-2.

Además del opaco-2 y del harinoso-2, algunos otros mutantes combinados con el opaco-2 dan como resultado genotipos y estructuras de aminoácidos que parecen ser de considerable interés y que pudieran ofrecer otras oportunidades para mejorar el valor nutritivo del maíz. Entre éstos se incluye a los mutantes ae, du y su_2. Mis comentarios se limitarán a los resultados obtenidos por Páez en nuestro laboratorio con el mutante doble su_2/su_2 o_2/o_2. La población de esta combinación genética en particular, para la cual tenemos más datos, se caracteriza por un endosperma translúcido, de textura dura. El endosperma, ya completamente desarrollado, tiene un tejido córneo que se extiende desde el pericarpio hasta el embrión, y la densidad del grano y su peso se comparan favorablemente con el de los dentados y semidentados normales. Los análisis químicos de varios de estos mutantes dobles indican que el contenido de lisina es tanto o mayor que el de los materiales de opaco-2 usados como testigos, o que las cifras que aparecen en la bibliografía disponible. Los porcentajes de lisina del grano completo de estos materiales variaron de 0.50 a 0.62, en comparación con 0.45 por ciento para el opaco-2. El porcentaje de lisina de la proteína de estos linajes varió de 4.99 a 6.00 por ciento. En comparación, el porcentaje de lisina en la proteína en un testigo opaco-2 fue de 4.73 por ciento. El doble mutante su_2/su_2 o_2/o_2 se ha usado en cruzas de prueba con varios linajes

homocigóticos de opaco-2, y se ha confirmado la presencia del gene opaco-2 en los materiales del mutante doble.

Estos datos preliminares sugieren, por lo menos que la interacción de los genes opaco-2 y su_2, en algunas condiciones genéticas, originan no sólo segregantes de endosperma translúcido y grano pesado, sino también porcentajes de lisina que pueden exceder a los que se obtienen cuando se usa separadamente cualquiera de esos genes. Más aún, el almidón del endosperma de su_2 parece tener un mayor grado de digestibilidad que el del maíz normal y, en consecuencia, puede ampliar más aún el valor nutritivo potencial de las combinaciones de $su_2 : o_2$.

Para resumir, los factores que han demorado la aceptación del maíz opaco-2 se relacionan directa o indirectamente con la característica de endosperma suave y harinoso de este genotipo. Es probable que el endosperma harinoso sea la razón de los rendimientos reducidos de las variedades e híbridos de opaco-2; también es probable que sea la razón de su mayor susceptibilidad al ataque de insectos y a las enfermedades. Ciertamente, el fenotipo opaco-2 es más susceptible al daño mecánico que ocurre al cosechar, al procesar la semilla, etc.

Por estas razones, los trabajos de mejoramiento se orientan ahora hacia el cambio de las características físicas del endosperma, a la vez que se trata de mantener un balance de aminoácidos comparable al del opaco-2. Parece que estas metas se van logrando, ya sea mediante la selección por tipos de endosperma modificado entre las progenies de cruzamientos de opaco-2 X normales, o mediante el uso de combinaciones de endosperma mutante doble.

PRODUCCION DE SEMILLA

Como se mencionó antes, la experiencia con la producción de semilla de opaco-2 ha sido en una escala tan limitada y se han incluido tan pocos híbridos, que cualquier cosa que se diga ahora con respecto a asuntos de producción de semilla bien podría resultar equivocada mañana. Empero, reconociendo tales limitaciones, se pueden hacer algunas observaciones.

Lo práctico de la producción de semilla híbrida depende de la presencia de numerosas características de los progenitores de los híbridos. Muchas, pero no todas, son las mismas características que los agricultores consideran un híbrido para sembrar. Por ejemplo, el rendimiento de la semilla progenitora del híbrido producido es de gran importancia. La razón es obvia. Al igual que el agricultor, el productor de semillas prefiere progenitores (particularmente progenitores femeninos) que sean resistentes a las enfermedades y a los insectos prevalentes y que puedan resistir al acamado. También se interesa en progenitores masculinos que produzcan polen adecudo. El productor de semillas prefiere progenitores que posean inherentemente buena germinación y plántulas vigorosas, y que sean razonablemente resistentes al daño mecánico del grano que puede ocurrir durante el procesamiento de la semilla.

COMPARACION DE CARACTERISTICAS

Los rendimientos de semilla de los progenitores de los híbridos de opaco-2 parecen hallarse dentro del rango de aceptabilidad para la producción de semilla. Aunque los rendimientos medios de semilla de los progenitores de opaco-2 son

probablemente 10 por ciento menores que sus contrapartes de endosperma normal, esta reducción no es de magnitud suficiente como para impedir su uso. En efecto, la diferencia entre los rendimientos de las variedades opaco-2 y normal de un genotipo en particular probablemente no es tan grande como la diferencia entre los rendimientos de semilla de varios híbridos de endosperma normal de madurez semejante. Luego, se puede concluir, que los rendimientos de semilla de los híbridos de opaco-2 han sido y continuarán siendo satisfactorios.

La aparente mayor susceptibilidad de algunos genotipos de opaco-2 a ciertos insectos y enfermedades puede crear problemas en la producción de semillas. Algunos genotipos de opaco-2 son obviamente más susceptibles a los mohos de la mazorca causados por *Fusarium moniliforme* y otros patógenos que sus contrapartes en endosperma normal. Sin embargo, parece haber diferencias marcadas entre genotipos con respecto a esta característica. Por tanto es prematuro asumir que todos los híbridos de opaco-2 son susceptibles a los mohos de la mazorca. No obstante, se trata de una característica que limitará el uso del maíz opaco-2, a menos que se ponga atención particular a la selección por resistencia a los organismos del moho de la mazorca.

Un problema más serio en las zonas tropicales y subtropicales y en las regiones templadas australes del mundo es el daño al grano causado por infestación de insectos. Numerosos gorgojos y otros insectos de los granos almacenados parecen encontrar particularmente atractivo el endosperma harinoso del maíz opaco-2. La infestación en el campo, antes de la cosecha, puede constituir un serio problema en las regiones donde prevalece el gorgojo del grano. Bajo tales condiciones, algunos genotipos de opaco-2 son atacados más fuertemente que otros tipos de maíz que poseen un endosperma más córneo. En algunas regiones del mundo, esto bien puede limitar no únicamente la producción de semilla de híbridos de opaco-2, sino también el uso comercial de este tipo de maíz.

La naturaleza recesiva del gene opaco-2 plantea la interrogante de si acaso los requerimientos de aislamiento de los lotes sembrados para la producción de semilla de híbridos de opaco-2 pudieran ser más rigurosos que los requirimientos para la producción de semilla normal. De nuevo, la experiencia en este aspecto es poca, pero de acuerdo con la información disponible, parecería que los requerimientos ordinarios de aislamiento para la producción de híbridos normales de cruza simple, serán probablemente adecuados para la producción de híbridos de opaco-2. Por lo menos alguna semilla de opaco-2 se ha producido usando distancias de aislamiento similares a las que se requieren para la producción de cruzas simples normales y los resultados no indican cantidades significativas de contaminación de polen extraño.

Tal vez el problema más serio asociado con la producción de semilla de híbridos y variedades de opaco-2 es el del mantenimiento de una viabilidad de la semilla que sea comparable a la de los tipos de endosperma normal. Algunos tipos de genotipos de opaco-2 tienden a tener porcentajes de la prueba de germinación en frío que son hasta de 20 por ciento más bajos que los lotes comparables de semilla normal. Aún la prueba de germinación caliente con frecuencia es de 5 a 10 por ciento menor que los tipos normales. Se supone, aunque no se ha probado, que la diferencia en la viabilidad de la semilla entre el

maíz normal y el opaco-2 se debe al daño mecánico que ocurre durante el manejo de la semilla. Probablemente, la naturaleza del endosperma harinoso hace al grano más susceptible a ser dañado durante los procedimientos normales de manejo de la semilla. Si este problema persiste y si se generaliza el uso de los híbridos de opaco-2, será necesario desarrollar métodos especiales de manejo para este tipo de semilla. Sospecho, sin embargo, que sería más fácil alterar la constitución del endosperma de los genotipos de opaco-2 mediante selección, que desarrollar métodos más "suaves" de manejo de semilla que pueden aplicarse a la producción en gran escala.

En un intento por obtener información específica sobre la cantidad de híbridos de opaco-2 y/o de harinoso-2 que actualmente se producen y utilizan en los Estados Unidos, este año llevé a cabo una encuesta entre las principales firmas productoras de semilla de maíz híbrido. Se pidió a estas organizaciones que indicaran el porcentaje de sus ventas de semilla en 1972 correspondientes a híbridos de opaco-2 y/o harinoso-2, el porcentaje de su producción de semilla en 1972 dedicado a híbridos de opaco-2 y/o harinoso-2, y la estimación para la producción de híbridos de opaco-2 y/o harinoso-2 en 1975. También se les preguntó si estaban distribuyendo semilla de híbridos de opaco-2 y harinoso-2 fuera de los Estados Unidos. Las respuestas a estas preguntas fueron sorprendentemente uniformes. La cantidad de semilla de híbridos de opaco-2 y/o de harinoso-2 distribuida en 1972 varió de nada a un máximo de menos de uno por ciento del total de las ventas de semilla híbrida. De igual modo, la cantidad de semilla producida en 1972 para venderse en 1973 promedió menos de uno por ciento del total de semilla producido. Entre las firmas que suministraron la información, ninguna estaba distribuyendo semilla de opaco-2 fuera de los Estados Unidos.

De estos informes resulta obvio que el maíz opaco-2 o el harinoso-2 no constituye todavía una parte significativa del total del maíz producido en los Estados Unidos. Igualmente, parece que las personas entrevistadas no se muestran optimistas respecto al futuro, a corto plazo, de este tipo de maíz en los Estados Unidos. Las estimaciones de producción de opaco-2 o harinoso-2 para 1975 variaron de nada a un máximo de uno por ciento del total de semilla producida.

Puesto en cifras, las estimaciones sugieren que para 1975 la semilla de opaco-2 no llegará a 150,000 bushels y, si se utiliza, con esto se podrían sembrar únicamente unos 600 000 acres (250 000 ha) de los 60 millones de acres (25 millones de hectáreas) que anualmente se siembran con maíz en los Estados Unidos.

En general, las personas entrevistadas pensaban que los tipos de maíz con un balance mejorado de aminoácidos probablemente desempeñarán un papel más importante en las regiones del mundo donde las fuentes de proteína son más limitadas que en los Estados Unidos, donde la soya suministra amplias cantidades de proteína de alta calidad.

EXPERIENCIA DE LOS AGRICULTORES CON EL MAIZ OPACO-2

Como pudiera esperarse, la limitada experiencia de los agricultores con el maíz de alto contenido de lisina ha sido de buena a mala. En los Estados Unidos, la mayor parte de la producción se ha utilizado en raciones para cerdos en crecimiento en las mismas fincas donde se siembra el maíz. En los casos en que se han hecho comparaciones, se ha demostrado el valor nutritivo superior del opaco-2, lo cual confirma los resultados de las pruebas de alimentación con cerdos en crecimiento llevadas a cabo previamente. En algunos lugares, los agricultores han resentido pérdidas significativas de rendimiento y reducciones en la calidad del grano debido a daños severos causados por el moho de la mazorca. Entre esos agricultores hay muy poco interés por continuar el uso de los híbridos de opaco-2.

Algunos productores, particularmente en la parte norte de la zona maicera de los Estados Unidos, han tenido dificultad en establecer cultivos satisfactorios de híbridos de opaco-2. Algunos han notado un marcado contraste en la germinación y en la sobrevivencia de las plántulas entre el opaco-2 y los híbridos normales que acostumbraban sembrar. Otros no han tenido ninguna dificultad al respecto.

En la actualidad, no se ha tomado ninguna medida en los canales de mercadeo norteamericanos para un manejo especial o un precio especial del maíz opaco-2. En consecuencia, la menor capacidad de rendimiento de los tipos opaco-2 según se compara con el maíz normal, hace que su uso se limite a aquellos productores que también se dedican a la cría de cerdos. Es probable que esta situación prevalezca en los Estados Unidos hasta que se produzcan híbridos con alto contenido de lisina cuyos rendimientos se comparen favorablemente con los de los maíces normales, o hasta que el mercado de alimentos para animales esté dispuesto a pagar por el mejor valor alimenticio de esos maíces. Sin embargo, en la actualidad no hay indicación de que esto último vaya a ocurrir.

Pienso que es importante reconocer que los factores que han limitado la aceptación generalizada del maíz opaco-2 en los Estados Unidos no son necesariamente los mismos que limitan el uso en otras partes del mundo. En los Estados Unidos el maíz se utiliza principalmente para la alimentación de animales.

Sólo un pequeño porcentaje de la producción total se usa para consumo humano. Por el contrario, en muchos países de Latinoamérica y Africa y en regiones de la India, el maíz es un componente importante de la dieta humana y sólo una pequeña parte de la cosecha llega a los canales de comercialización. El hombre es una criatura de hábitos estables por lo que sus hábitos alimenticios cambian muy lentamente, aún cuando un cambio pudiera ser ventajoso desde el punto de vista nutricional. Por tanto, en muchas regiones de Latinoamérica, Africa y Asia, la decisión de usar o no el maíz opaco-2 dependerá mucho de la actitud del consumidor con respecto a su aceptabilidad como alimento.

Me interesó el estudio de Pinstrup-Andersen (4) en aquella parte en que señala que la mayoría de las amas de casa colombianas dijeron que no usarían el maíz opaco-2 para hacer mazamorra y arepas, simplemente porque no era el tipo

de maíz que ordinariamente se utilizaba para esos propósitos. Por estas razones, la aceptación del maíz opaco-2 puede ser mucho mayor en las mesetas altas de América Latina, donde el maíz común tiene un endosperma de textura harinosa, que en las regiones bajas donde ordinariamente se cultivan tipos cristalinos y semicristalinos. También hay preferencias bien establecidas con respecto al color del endosperma. Sería torpe introducir maíz opaco-2 de grano amarillo en regiones donde únicamente se utiliza el maíz blanco para la alimentación.

En contraste con sus fuertes preferencias en lo que se refiere a sus alimentos, el hombre parece ser cabalmente objetivo en la selección de alimentos para sus animales. El factor más importante aquí es el económico, y tengo la impresión de que para alimentar su ganado el agricultor usará cualquier cosa que le resulte económicamente redituable.

Un segundo punto que vale la pena que reconozcan quienes están implicados en la introducción del maíz opaco-2, es el hecho de que el cultivo será producido por agricultores. Y la aceptación o rechazo del nuevo cultivo por parte de los agricultores dependerá principalmente de cuán redituable es en comparación con el que siembra ahora. Aunque puede reconocer la necesidad de un maíz enriquecido con proteína natural, su decisión de producirlo dependerá de la ganancia relativa que logre y no de las necesidades nutricionales del consumidor. En ausencia de un precio de garantía especial, los rendimientos del opaco-2 o de otros tipos de maíz con un balance de aminoácidos modificado, tendrá que ser comparable al de las variedades que el agricultor acostumbra sembrar. Este es y continuará siendo un factor vital, independiente de los méritos nutricionales de las nuevas introducciones.

El tremendo valor potencial del maíz opaco-2 y del harinoso-2 para la nutrición de los humanos y de los animales se reconoce muy bien ahora y es por sí mismo una contribución muy significativa al bienestar de la humanidad. Sin embargo, me inclino a pensar que la gran cantidad de investigación que ahora está en marcha sobre el valor nutritivo de los cereales (estimulada por el trabajo previo con el maíz de endosperma mutante) puede ser de un valor potencial aún mayor. Aquéllos que se dedican hoy día al mejoramiento de los cereales están dando atención no solamente al aumento del potencial de rendimiento sino también al mejoramiento de la calidad.

Aunque gran parte de este artículo pudiera indicar un grado de aceptación algo decepcionante del maíz opaco-2 ahora disponible, me siento todavía optimista acerca de la utilización futura de éste y otros tipos modificados de maíz. Considerando el poco tiempo en que los fitomejoradores han trabajado con el maíz opaco-2, no es sorprendente que muy pocas variedades, si acaso hay alguna, se comparen favorablemente en la mayoría de sus características con los mejores híbridos normales que están actualmente en uso. Conviene recordar que estos últimos tienen detrás de ellos casi medio siglo de intenso trabajo de investigación. Aún así, los nuevos materiales que emergen de los programas de fitomejoramiento de todo el mundo me hacen confiar que gran cantidad del maíz que se consuma en el futuro será de los tipos que poseen un valor nutritivo superior. Digo esto reconociendo que todavía queda mucho por hacer, y que las características físicas del endosperma que asociamos hoy en día con el maíz de alta lisina casi seguramente serán substituidos por tipos más aceptables.

RESUMEN

1. De los programas de fitomejoramiento surgen ahora híbridos y variedades de opaco-2 con antecedentes adecuados de selección y de prueba. Estos materiales son superiores a los híbridos que se usaron en forma limitada hace dos o tres años.

2. Las características indeseables del grano y la reducida capacidad de rendimiento (en relación al maíz normal) son todavía obstáculos importantes para la aceptación generalizada del maíz opaco-2. En un intento por superar esos problemas, los fitogenetistas concentran ahora su esfuerzo en la selección por tipos de endosperma modificado de alto peso específico, y en la selección de combinaciones de endosperma doble mutante. Ambos enfoques parecen ser muy promisorios.

3. La mayor susceptibilidad de algunos genotipos de opaco-2 a las enfermedades y al daño de insectos es un problema que necesita verificarse constantemente y contra el cual hay que seleccionar materiales.

4. Parece que no hay problemas inherentes en la producción de semilla de maíz opaco-2 que no puedan superarse. La menor viabilidad de la semilla y del vigor de las plántulas pueden ser un problema en algunos genotipos de opaco-2.

5. En los Estados Unidos, el maíz opaco-2 no ha llegado a ser una parte significativa de la producción total de maíz. Se ha estimado que para 1975, no más de uno por ciento de la producción total de los Estados Unidos se dedicará al opaco-2. Esto podría cambiar con rapidez con la aparición de mejores híbridos de opaco-2. En algunos países de Latinoamérica el interés por el opaco-2 ha sido estimulado mediante sobreprecios subsidiados que alientan la producción.

6. La expansión de la investigación sobre el valor nutritivo de los cereales es un importante subproducto del trabajo original sobre los mutantes opaco-2 y harinoso-2. Los nuevos materiales generados por los programas de fitomejoramiento en la actualidad hacen pensar que mucho del maíz del futuro poseerá un mejor valor nutritivo.

El autor de esta ponencia agradece a Alix V. Páez, del Departamento para el Mejoramiento del Maíz, Pioneer Hi-Bred International, Inc., por permitirle utilizar gran cantidad de información inédita acerca de sus estudios.

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia)

BIBLIOGRAFIA

1. Lambert, R. J. y D. E. Cochran. 1970. Use of *R* alleles in obtaining the modified protein double mutant (opaque-2 floury-2) in *Zea mays* L. *Crop. Sci.* 10:715-716.
2. Nelson, O. E. 1966. En E. T. Mertz y O. E. Nelson (Editores), Proc. High Lysine Corn Conf. Corn Refiners Assn., Washington, D. C.
3. Páez, A. V. 1972. Personal communication.
4. Pinstrup-Andersen, P. 1971. The feasibility of introducing opaque-2 maize for human consumption in Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia, 58 págs.

PRODUCCION, PRODUCTIVIDAD Y USO DEL MAIZ OPACO EN COLOMBIA

Clímaco Cassalett Dávila*

Al estudiar el cultivo del maíz en Colombia en los últimos cuatro años encontramos que el área total para la producción se ha mantenido más bien estable, alrededor de las 700.000 hectáreas por año. Una situación similar se ha presentado en el uso de semillas mejoradas que alcanzó un nivel del 25% del área total cultivada en 1968 para mantenerse en ese estado hasta el presente. Los maíces mejorados tienen características similares a los maíces sembrados tradicionalmente en Colombia.

No se puede esperar que el área de producción del maíz opaco aumente en un futuro inmediato sino que se establizará a un nivel bajo, como ha ocurrido con los maíces mejorados. Es preciso recordar que Colombia es un país de topografía montañosa donde el 43% del área total cultivada en maíz se halla en zonas de laderas, con agricultura tradicional, lo cual explica parcialmente el por qué de la estabilización de las áreas de producción con maíces mejorados.

DESARROLLO DEL OPACO-2 EN COLOMBIA

El proceso de transformación de los maíces colombianos, adaptados a las regiones cálidas, a maíces de alto contenido de lisina, iniciado en 1965, dio como resultado la formación de dos híbridos comerciales, el ICA H. 208 e ICA H. 255, que fueron entregados a los agricultores en 1969 para producción comercial. Estos dos híbridos eran de una producción experimental de 5.6 toneladas de grano/hectárea apenas inferior a un 10% a sus contrapartes normales, el ICA H. 207 y el ICA H. 253 respectivamente.

* Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá, Colombia.

Los excelentes resultados de las pruebas de nutrición en niños desnutridos, en cerdos y en aves, y los ensayos industriales realizados hasta 1968 contribuyeron a crear una actitud favorable por parte del gobierno para promover el uso del maíz opaco en Colombia. De esta manera en noviembre de 1968 se creó, por decreto presidencial, el Comité de Fomento de Maíz Opaco. El primer plan de fomento lo trazó en esa época el Director del Programa de Maíz y Sorgo del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), y consistía en pruebas regionales de producción, uso en la alimentación humana y de cerdos, utilizando medios de comunicación como la radio, la televisión y seminarios regionales.

La primera producción considerable de maíz opaco comercial fue de 48 toneladas y la hizo el ICA en 1968. Esta se distribuyó sin costo alguno con el fin de realizar ensayos industriales, en nutrición humana y animal.

La producción de semilla mejorada se dejó a la iniciativa privada y paraestatal. Estas entregaron a los agricultores 15 toneladas de semilla en 1969 llegando hasta 199.6 toneladas de semilla en 1971. Las producciones comerciales de 48 y 2 925 toneladas obtenidas en 1968 y 1969 son las únicas de las que se dispone de datos estadísticos. El área sembrada por los agricultores ha incrementado desde 975 hectáreas en 1969 hasta 12 974 hectáreas en 1971. Para las siembras del primer semestre de 1972 se vendieron a los agricultores 64 toneladas de semillas con las cuales se cubrió una área aproximada de 4.160 hectáreas.

En abril de 1969 se firmó un convenio entre el ICA y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) para la realización de pruebas regionales con el fin de determinar el área de adaptación de los maíces opacos, su aceptación y rentabilidad usando diferentes tecnologías y comparándolos con los maíces criollos y el mejor híbrido de la región. Se comprobó que hay buen comportamiento desde el nivel del mar hasta los 1.700 metros de altura. El rendimiento promedio de las pruebas regionales realizadas desde 1969 hasta 1971 osciló entre 3.2 y 3.7 toneladas/hectáreas, siendo en cualquier zona superior a los maíces criollos en más de 1 tonelada/hectárea.

USO DEL MAIZ

Las mayores áreas en donde se ha concentrado la producción de maíz opaco son el Valle del Cauca, la Costa Atlántica, los Santanderes y la Región del Ariari en los Llanos Orientales. La producción del Valle del Cauca se destina principalmente a transformación industrial mientras que en las otras regiones se destina al consumo humano directo o alimentación animal. Tanto en la Costa Atlántica como en los Santanderes ha habido tradición en el consumo de maíces harinosos.

Son varias las formas de consumo humano pero se destacan principalmente las arepas y mazamorras. El Instituto de Bienestar Familiar estudió las formas tradicionales de consumo humano utilizando el maíz opaco y publicó un boletín en 1971 titulado "Manual de Recetas con Maíz Opaco". En el mercado nacional se encuentra desde 1970 un producto industrial llamado "Duryea" recomendado para la alimentación infantil. El Instituto de Investigaciones Tecnológicas, ha venido estudiando la mezcla de harinas de maíz opaco y de trigo para la

fabricación de pan y ha encontrado que se puede sustituir la harina de trigo hasta en un 30% sin que se afecte la calidad del pan, aumentando, eso sí, el valor nutricional del mismo.

RESUMEN

En vista de que se nota una tendencia a la nivelación de la producción de opaco, es necesario iniciar campañas más activas en las áreas en donde el consumo de maíces harinosos ha sido aceptado tradicionalmente, tales como en la Costa Atlántica y los Santanderes. Se necesita producir maíces cristalinos de alto valor nutritivo, con rendimientos iguales o superiores a los maíces mejorados actualmente en distribución. En este aspecto el ICA comenzó desde 1970 a analizar segregaciones cristalinas que presentaban los híbridos opacos ICA H. 208 e ICA H. 255. Ya hay líneas endocriadas cristalinas con alto contenido de lisina derivadas de los opacos que forman los híbridos citados anteriormente.

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia)

PRODUCCION Y ACEPTACION DEL MAIZ OPACO-2 EN BRASIL

A. Secundino de São José*

El maíz, el principal cultivo cerealícola de Brasil, debe desempeñar dos funciones principales: satisfacer el déficit alimenticio actual y alimentar a la creciente población brasileña. No obstante el notable desarrollo de la economía brasileña en los últimos años, se tiene por delante una tarea gigantesca para poder mantener la producción alimentaria por encima del crecimiento del producto nacional bruto. La inmensidad de esta tarea es clara al observar que la población de Brasil en agosto de 1972 llegó a los 100 millones. Actualmente la tasa de crecimiento demográfico es de 2.7 por ciento anual, lo cual significa en un aumento neto de casi cinco personas por minuto, por lo que es posible que a fines del siglo la población del país se duplique.

Brasil es el segundo productor de maíz en el Hemisferio Occidental. La producción total de los dos últimos años, en siembras que ocupan mayor superficie que cualquier otro cultivo, ha sido de unas 13.5 millones de toneladas de grano.

El maíz se cultiva en todo el país, aunque el 80 por ciento procede de los estados del centro y el sur, situados entre los 16 y los 32 grados de latitud, y con altitudes que varían entre el nivel del mar y los 1 000 metros. El área total dedicada al cultivo del maíz es de unos 10 millones de hectáreas, y el rendimiento medio es de unos 1 350 kg/ha. Sólo un tercio de la superficie se siembra con semilla mejorada.

*Sementer Agroceres, S. A., São Paulo, Brasil.

La utilización del grano durante los últimos 3 años fue, en general, como sigue: 65 por ciento fue consumido en la propia finca por cerdos, gallinas, ganado lechero y mulas y caballos de tiro; alrededor del 25 por ciento fue procesado industrialmente para elaborar concentrados para los animales y alimentos humanos, y el 10 por ciento se exportó.

EL MAIZ OPACO-2

La semilla del maíz opaco-2 se introdujo a Brasil por primera vez en 1965, cuando la Universidad Purdue envió una remesa a la Universidad Federal de Viçosa, ubicada en el estado de Minas Gerais. Los trabajos de fitomejoramiento efectuados en Vicosa, en el Colegio de Agricultura de Piracicaba y en el Instituto Agronómico de Campinas, ha dado como resultado cierto número de poblaciones mejoradas que llevan el gene opaco-2. Agroceres, una compañía comercial de semillas, trabajando con dos generaciones por año, ha podido desarrollar híbridos comerciales de opaco-2 de alto rendimiento, bien adaptados a condiciones tropicales y bien aceptados por los agricultores. Otras instituciones públicas están colaborando con los cuatro precursores, y la investigación prosigue.

El maíz con alto contenido de lisina empezó ya a atraer la atención de organizaciones estatales y federales. El Servicio de Extensión también comienza a manifestar gran interés, conforme los resultados de experimentos y demostraciones efectuados por universidades y entidades privadas muestran el excelente valor alimenticio de la proteína del opaco-2, particularmente para la alimentación de infantes y cerdos.

Luego de presentar esta breve introducción acerca del opaco-2 en Brasil, nos enfocaremos ahora sobre varios avances y problemas.

Producción de semilla

Tanto Viçosa como Campinas (ésta última a través de la Secretaría de Agricultura del estado de São Paolo) venden semilla mejorada de maíz opaco-2. La producción de semilla de Viçosa era todavía pequeña en 1972, aunque la Secretaría puso 690 toneladas a disposición de los agricultores.

Las primeras 100 toneladas de semilla del híbrido opaco-2 de Agroceres se vendieron en 1970, principalmente a agricultores que utilizan el maíz para alimentar cerdos en sus fincas. En 1971, la producción de Agroceres se incrementó a 400 toneladas, y este año entraron al mercado 900 toneladas (de un total de 23 000 toneladas de semilla de híbrido normal). Esto pudiera parecer un comienzo más bien modesto, pero cuando empezó la introducción de la semilla de maíz híbrido en el país, llevó 6 años a nuestra compañía alcanzar esta misma cantidad de semilla. A Agroceres, la producción de semilla de opaco-2 le cuesta 17 por ciento más que la de híbrido normal; sin embargo, se vende sólo a un 15 por ciento más cara.

Problemas de producción de los agricultores

Ha habido tres restricciones universales en la producción comercial de maíz opaco-2: 1) rendimientos más bajos; 2) mayor susceptibilidad a las pudriciones de la mazorca, y 3) mayor vulnerabilidad a los gorgojos, tanto en el campo como en el almacén. Afortunadamente, las dos primeras restricciones no se han encontrado en Brasil, por lo menos con los híbridos de Agroceres. Los agricultores hallan muy satisfactorios los rendimientos de opaco-2. Debido a que la mayoría de los productores evalúan el rendimiento por volumen más que por peso, algunos de ellos declaran que los híbridos de opaco-2 rinden tanto o ligeramente mejor que los híbridos normales.

Para verificar esto se han efectuado varios experimentos. En uno de ellos, se probaron tres de los mejores híbridos normales y dos híbridos de opaco-2. Los resultados se muestran en el tabla 1. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre el rendimiento de los híbridos. Ag-504 ocupó el segundo lugar en resistencia a la pudrición de la mazorca. La excelente protección que brindan sus brácteas disminuye el riesgo de ataque de gorgojos y pudriciones cuando el cultivo madura en el campo.

Problemas de almacenamiento

Bajo las condiciones típicas de las fincas de Brasil, el almacenamiento del maíz opaco-2 presenta un serio problema, ya que es más vulnerable al ataque de insectos que los híbridos normales. Sin embargo, cosechando un poco más temprano y con tratamientos de protección adecuados (que también deben usarse en el maíz normal) los resultados han sido satisfactorios.

Apariencia

La apariencia poco usual del grano del opaco-2 es un problema potencialmente serio del mercadeo. La producción en gran escala de opaco-2

TABLA 1 Comportamiento de dos híbridos de opaco-2 y tres híbridos normales. (Promedio de 6 localidades, 1971-72)

Híbridos	*Rendimiento*	*Mazorcas por 100 plantas*	*Acamado*[a] *(%)*	*Mazorcas podridas (%)*	*Humedad al cosechar (%)*
H-7974 (N)[b]	4,683	99.6	18.9	5.0	11.8
Ag-504 (O)	4,533	106.3	16.0	3.2	12.6
Ag-152 (N)	4,385	83.6	21.9	8.3	13.7
Ag-251 (N)	4,330	100.5	15.2	2.5	12.6
Ag-502 (O)	4,274	94.1	16.8	7.5	12.6

[a] En una localidad, los vientos huracanados aumentaron el acomodo.

[b] (N) Normal (O) opaco-2.

para usos generales antes de que se pueda apreciar cabalmente su valor nutritivo superior, podría tener un efecto negativo general sobre su comercialización. Para evitar esto, la estrategia de Agroceres ha sido la de vender semilla a agricultores seleccionados que crían cerdos. No obstante esta introducción selectiva, las industrias de aceite y de productos alimenticios de maíz han iniciado contratos de producción, mediante los cuales ofrecen un 15 por ciento de sobre precio con respecto a lo que se paga por el maíz normal. Por consiguiente, parece que la introducción selectiva ha tenido éxito y que la demanda comercial general por el maíz opaco-2 puede aumentarse.

ESTRATEGIAS PARA AMPLIAR EL USO DEL OPACO-2

Alimentación de cerdos

La población porcícola de Brasil, una importante fuente de proteína y grasas para el pueblo, alcanza alrededor de 68 millones de cabezas. Casi el total de la alimentación de más de dos tercios de la población porcícola se basa en el maíz.

Durante los últimos tres años, se han llevado a cabo varios experimentos y demostraciones para determinar las ganancias comparativas de los cerdos alimentados con maíz opaco-2, en relación con el maíz normal. Los resultados han sido consistentemente favorables para el opaco-2, y cuando a ambos tratamientos se les agregaron minerales y vitaminas variaron entre un 50 y un 500 por ciento de mejoramiento. Esta es la razón principal para que se suponga que la manera más eficiente de introducir el maíz opaco-2 entre los agricultores sería concentrando las acciones sobre los productores de maíz que crían y alimentan ganado porcino.

Considerando la importancia que tiene la carne de cerdo en la dieta brasileña típica, y la política de alta prioridad del actual gobierno por tener disponible tanta carne de bovino como sea posible para dedicarla a la exportación, el alimento para cerdos representará un enorme mercado para el maíz opaco-2. Nuestra compañía está capitalizando esta situación mediante el establecimiento de numerosas demostraciones de alimentación de porciones con opaco-2, a nivel de la finca, en cooperación con el servicio de extensión agrícola. La meta es mostrar a los agricultores el comportamiento del opaco-2 comparado con el maíz normal, en su propia finca y con su participación directa. Como un beneficio colateral de este trabajo, se enseña a los agricultores a usar minerales y vitaminas, algo desconocido para muchos de ellos. La experiencia de Agroceres en iniciar la introducción de nuevas técnicas en la agricultura ha mostrado que es más fácil introducir una nueva técnica mediante la provisión de uno o más insumos complementarios en el mismo "paquete", que un insumo cada vez. Como corolario, ha sido interesante notar que tan pronto como los agricultores ven los resultados del maíz opaco-2, se tornan más receptivos a otras innovaciones, como una mejor vivienda y un mejor manejo general de producción.

En forma paralela a la promoción del maíz opaco-2, Agroceres también cría cerdos de carne de alta calidad para ser vendidos a los agricultores, de manera que pueda mejorarse el ganado porcino. Se espera que esto contribuya también a una mayor aceptación del opaco-2 por parte de los productores.

Proyecto de nutrición rural

Patrocinado por USAID (U.S. Agency for International Development), bajo la supervisión del Servicio de Extensión y con la ayuda de la Universidad Federal de Viçosa, el año pasado se emprendió un interesante proyecto de nutrición en comunidades rurales. Este se inició en el municipio de Viçosa. Aunque a nivel de proyecto piloto, este trabajo evaluará la expansión económica de los recursos nutricionales rurales a través de la utilización del maíz opaco-2 como un substituto del maíz común.

El aislamiento geográfico de las poblaciones rurales, los bajos niveles educativos y el débil poder adquisitivo son obstáculos bien conocidos en la lucha contra la desnutrición, un hecho desafortunado que se registra en prácticamente todos los países tropicales. Brasil no es una excepción. Debido a estos factores, cualquier programa preparado para satisfacer las necesidades nutricionales de las comunidades rurales será una tarea muy difícil.

Sin embargo la introducción del maíz opaco-2 como un substituto del maíz común parece que evita la mayoría de los problemas inherentes a los programas convencionales de nutrición en las zonas rurales. Por lo general, estos programas implican un proceso industrial, y la adición de algunos aminoácidos, minerales y vitaminas. Esto origina gastos de transporte y empaque. Además, se incurre en otro riesgo al cambiar los hábitos alimentarios de la gente. Empero, cuando la comunidad, como en este caso, tradicionalmente siembra y consume maíz, la simple substitución de la semilla implica la producción y el uso de un grano con proteína de alta calidad en su propia finca y a un costo muy bajo.

Los datos de este proyecto, apenas en su primer año de operación, no se evalúan todavía. No obstante, la información preliminar obtenida de los 61 agricultores participantes indica que:

1. La semilla de opaco-2 (Ag-504) rindió mejor que los híbridos normales sembrados por los vecinos.
2. El maíz opaco-2 es más vulnerable a las palomillas cuando se criba. (Este problema necesita de más investigación para determinar la mejor solución).
3. El grano de opaco-2 se muele lo doble de rápido que el maíz normal, y produce una harina más fina y de cocción más rápida.
4. Tanto los niños como los cerdos mostraron preferencia por el opaco-2 cuando se les ofreció la opción.
5. La mayoría de las recetas tradicionales que utilizan al maíz como ingrediente principal saben mejor y se cocen más rápidamente cuando se usa el opaco-2.

Para 1972 se ha firmado un nuevo acuerdo a efecto de iniciar el mismo proyecto, casi sobre las mismas bases que en Viçosa, en ocho diferentes municipios. La superficie total cubre cuatro regiones muy diferentes del estado de Minas Gerais. Se espera que este proyecto dé como resultado el desarrollo de un programa de bajo costo cuyo propósito será el de mejorar considerablemente la nutrición rural en las regiones consumidoras de maíz de Brasil y, tal vez, en otros países tropicales del mundo.

Alimentación humana

En Brasil se han efectuado pocos trabajos sobre alimentación humana en los cuales se utilice el maíz opaco-2 como fuente de proteína. Sin embargo, en Patos de Minas, Estado de Minas Gerais, Paulo J. Amorim ha recopilado interesantes datos sobre recuperación de niños con deficiencia protéica usando el maíz opaco-2 como la única fuente de proteína.

Aunque en Brasil el maíz no constituye un alimento diario tan importante como en los países vecinos de la costa del Pacífico, una considerable porción de la población brasileña lo consume, sea como elote o en platillos preparados con harina de maíz. Por tanto, el maíz opaco-2 es también importante para la alimentación humana. Debe efectuarse más investigación para descubrir las cualidades y usos de este grano.

El año pasado, la Campaña Nacional de Alimentación Escolar (CNAE) gastó más de 30 millones de dólares en alimentos para el consumo de 12 millones de niños. No se utilizó el maíz opaco-2. Su introducción en el programa, como fuente de proteína y de energía podría representar alimento (por la misma cantidad de dinero) para otro millón y medio o dos millones de niños.

Los hospitales y casas de cuna públicos usan ingredientes un tanto caros, como leche en polvo, a fin de obtener la proteína necesaria para la crianza de niños. El maíz opaco-2 podría hacer rendir más su presupuesto de asignaciones, sin demérito de la calidad. En nuestra opinión, sin un fuerte apoyo del gobierno, la aceptación general del maíz opaco-2 como alimento humano, tomará largo tiempo.

Las compañías elaboradoras de alimentos comienzan a interesarse en el opaco-2. Una planta de aceite de maíz, por ejemplo, pese a las dificultades de separar el embrión del endosperma en el grano de opaco-2, paga un sobreprecio de 15 por ciento por el grano comercial de opaco-2. Esta compañía encontró que un híbrido de opaco-2 en particular tiene 30 por ciento más aceite en el germen que el maíz normal. Además el endosperma aislado y separado se vende —también con un sobreprecio— a una gran empresa elaboradora de alimentos para niños.

Otra compañía pronto lanzará al mercado ocho diferentes productos (sopas deshidratadas, refrescos, macarrón, galletas y dulces), todos dirigidos al programa de alimentos escolares. El valor nutritivo de la fórmula básica de estos productos ha sido determinado mediante cuidadosas pruebas químicas y biológicas, las cuales parecen mostrar que la fórmula tiene una proteína de mayor calidad que la de la leche. Ya se tienen en marcha extensas pruebas de aceptación entre los escolapios y los resultados, hasta ahora, son alentadores. El programa oficial de alimentos busca precisamente un producto de bajo costo y de gran aceptación.

Alimentación animal

La industria de alimentos para animales crece en importancia, particularmente la de alimentos para aves, cerdos y ganado lechero. Teóricamente, esto debe significar un mercado potencial de gran importancia para el maíz opaco-2. Sin embargo, la mayoría de la industria manufacturera de alimentos para el

ganado basa sus negocios en la producción y venta de concentrados proteínicos con minerales y vitaminas. Estos se elaboran para mezclarse con el alimento a base de maíz. Ahora se necesitarán nuevas fórmulas de concentrados para mezclarse con el maíz opaco-2. Esto quiere decir que el maíz con alto contenido de lisina constituye un desafío para el método tradicional de alimentación de ganado en Brasil.

CONCLUSION

Considerando lo que se ha hecho en Brasil durante los últimos siete años, desde que se introdujeron al país las primeras semillas del maíz opaco-2, se puede concluir que el balance es altamente positivo. Las empresas privadas han desempeñado, y desempeñan, un papel muy importante en la producción y el uso del maíz opaco-2. Aún cuando la investigación no encuentre un mutante mejor, el opaco-2 acrecenterá su importancia en Brasil. Con pocas excepciones, donde el maíz tiene usos especiales como rosetas de maíz y maíz molido, por ejemplo, no habrá cosas hechas con el maíz normal que no puedan hacerse mejor con el opaco-2.

Prácticamente, el futuro del opaco-2 en Brasil no tiene límites.

UTILIZACION DEL MAIZ OPACO-2 EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS

Denis Robinson*

La utilización del maíz opaco-2 en productos alimenticios comerciales ha sido limitada debido a por lo menos dos razones básicas: en primer lugar, no ha sido económicamente factible, y en segundo, el grano ha sido evaluado con respecto a los estándares para los granos normales y se ha encontrado que es deficiente en el campo, en las comunidades y en el molino.

Muchos de los defectos atribuidos a este maíz de alta calidad proteínica se han analizado en este simposio, pero repetiré algunos para que sirvan como introducción a esta ponencia.

Sector agrícola. Algunas de las objeciones de los agricultores con respecto al maíz opaco-2 son la baja germinación al alto contenido de humedad en la madurez, la vulnerabilidad de la mazorca a la pudrición, granos quebradizos, endosperma suave, densidad baja y menor peso hectolítrico. Todos estos factores contribuyen a menores rendimientos y aumentos de costos hasta de un 30% superiores a los del maíz normal, lo cual impide que los agricultores siembren el maíz de alta calidad proteínica.

Molinos. Cuando en la industria procesadora las variedades de maíz de alta calidad proteínica se someten a los procedimientos convencionales de molienda en seco, producen una separación más indeseable de fracciones que los maíces normales. Por ello, no son de interés comercial, independientemente de su costo inicial.

* Best Foods Research Center, Union, Nueva Jersey.

Cuando se les procesa con técnicas de molienda en húmedo, el mayor contenido de proteína soluble de las variedades de opaco-2 genera cantidades excesivas de agua de desecho que hace más cara la recuperación del gluten y reduce el interés de los procesadores.

Finca y comunidad. Los principales opositores a la aceptación de estas nuevas variedades, y precisamente los factores clave de su futuro, son las familias rurales y los agricultores de subsistencia. Para ellos, el maíz opaco-2 es virtualmente inaceptable para usarlo en la elaboración de tortillas y arepas. Este maíz no satisface sus prácticas ordinarias.

Las objeciones anotadas parecen ser la fuerza que impulsa tanto esfuerzo en la investigación por parte de los programas de mejoramiento para producir variedades cristalinas de maíz de alta calidad proteínica.

Tal vez es hora de vislumbrar maneras de cultivar y utilizar las variedades ya disponibles en lugar de esperar a que los fitogenetistas obtengan la variedad ideal. ¿Debemos acaso seguir negando a los necesitados los beneficios del maíz de alta calidad proteínica porque la tradición de la comunidad los inhibe? ¿Estamos acaso atados a las prácticas del pasado al crear nuevos alimentos? Quizás debamos poner un mayor esfuerzo en la promoción del producto y en enseñar a la gente las maneras de usarlo.

VALOR PROTEINICO EFECTIVO

Revisemos la situación, comenzando con los aspectos agrícolas, y veamos si podemos presentar un argumento que favorezca la difusión del uso del maíz opaco-2 disponible actualmente. Primero debemos reconocer el verdadero valor alimenticio de estas variedades, mirando más allá del aspecto cuantitativo del rendimiento y considerando el *valor proteínico efectivo* del cultivo. ¿Qué contribución puede hacer este maíz al abastecimiento alimentario total? Estas consideraciones debieran ser las fuerzas primarias de motivación. La figura 1 es una ampliación simplificada del significado del valor *proteínico efectivo* al comparar variedades de alta calidad proteínica con maíces normales.

Los datos usados en este diagrama fueron suministrados por E. Mertz a partir de investigaciones realizadas en varios laboratorios durante el año pasado y

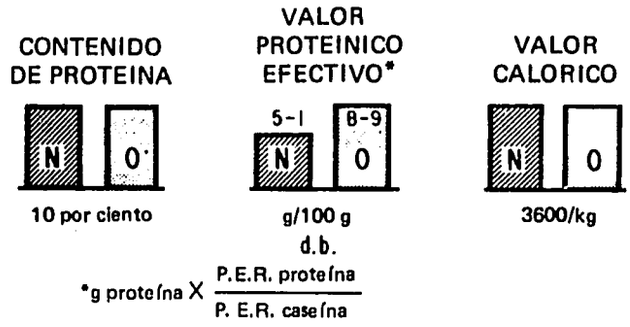


FIGURA 1 Valor alimenticio comparativo de maíz normal y maíz opaco-2.

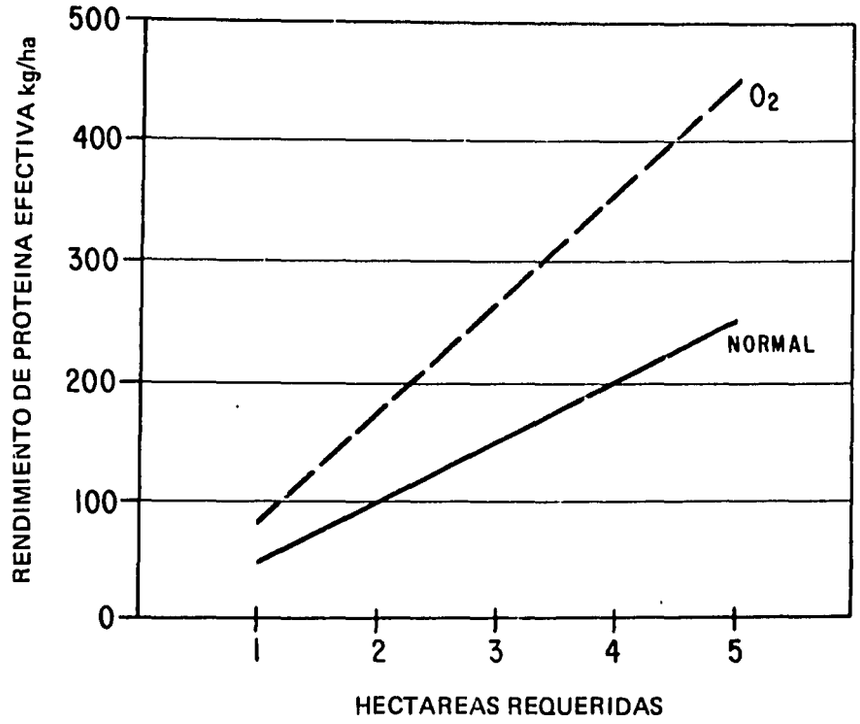


FIGURA 2 Valor proteínico efectivo en agricultura.

se basan en las tasas de eficiencia proteínica (PER) establecidas por los investigadores al usar la PER de la caseína como estándar.

Las cifras de las diferencias en rendimiento, aún las del orden del 30%, disminuyen merced a la importancia de este factor del valor proteínico. El valor proteínico efectivo del maíz opaco-2 es, en promedio, casi 75% mayor que el del maíz normal y, según se ve en la figura 2, presenta la interesante posibilidad de obtener mayor valor alimenticio por hectárea de maíz.

Los nutriólogos han presentado suficiente evidencia para probar la efectividad de esta proteína para los niños de comunidades consumidoras de maíz. Ricardo Bressani, del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) ha reportado que un niño de 5 años consume solamente 130 g. de maíz, o alrededor de un tercio de las necesidades de ese niño para obtener un balance de nitrógeno positivo si la dieta fuera de maíz normal. Sin embargo, 130 g. de maíz opaco-2 no sólo serían adecuados sino que también darían valores de retención de nitrógeno aproximados a los de la proteína de la leche.

Nevin Scrimshaw y sus colaboradores del Instituto Tecnológico de Massachusets igualaron la calidad proteínica del maíz opaco-2 con la leche en polvo en las dietas de adultos jóvenes.

Empleando estos datos, proyectemos ahora su significado en la situación alimentaria de México. En la tabla 1 se indica que si todo el maíz producido fuera

TABLA 1 Efecto que se tendría si el maíz opaco-2 substituyese al maíz normal para las tortillas en México

Anual	*Millones de toneladas*
Cultivo promedio	8
Uso promedio como alimento humano	5.6
Usado en tortillas	4.5
Maíz opaco	2.5

opaco-2, obtendríamos un valor alimenticio mucho mayor por hectárea de maíz a un costo mucho menor, y contribuiríamos grandemente a solucionar las necesidades alimentarias de la gente.

Otra manera de evaluar este valor proteínico aparece en la tabla 2, que muestra el valor económico de la proteína del opaco-2 en comparación con la proteína de la leche.

Desafortunadamente, los aspectos nutritivos favorables del producto del opaco-2 se reducen durante los procedimientos de molienda normales. Pocos molinos comerciales muelen su maíz integralmente, y dependen de los rendimientos de aceite y molido grueso para hacer su negocio redituable. En la tabla 3 se indican las reacciones del maíz opaco-2 bajo las condiciones de molienda e indica por qué los molineros lo objetan.

TABLA 2 Valor del maíz opaco-2 en relación con la leche en polvo descremada

Leche en polvo descremada ≠ maíz opaco
El precio se reconoce
US $ 0.90/kg US $ 0.15/kg
Proteína en leche descremada ≠ proteína en opaco
35% 10%
Peso 35/10 es menor que 90/15 a 3.5 < 6
Esto no reconoce las calorías a partir del maíz.

Más realistamente, debemos considerar
1 parte de leche descremada + 2.5 partes de fuente de carbohidratos de bajo costo (por ej. melaza de azúcar)
US $ 0.90 + 2.5 X US $ 0.18 = US $ 1.35
3.5 kg de opaco = US $ 0.525
El maíz opaco es mejor para compararlo cuando hablamos = calorías = proteína

TABLA 3 Rendimientos típicos de molino en los sistemas de los EUA: maíz normal en relación con opaco-2 (porcentaje del rendimiento)

	Germen	*Quebraduras*	*Harina*	*Alimentación*
Normal	14	48	22	16
Opaco	18	30	36	16

La tabla 4 indica la dilución de la proteína en las fracciones que los molineros comerciales consideran más útiles, y la tabla 5 muestra el cambio de la lisina en el proceso.

La triste verdad que surge de estos datos es que aquellas fracciones de maíz opaco-2 procedentes de la molienda en seco (molido grueso y harina) son menos atractivas desde el punto de vista nutritivo. Sin embargo, la fracción del germen y el alimento para animales son nutritivamente mejores que lo que sucedía antes de que el hombre en su evolución económica descubriera (1) que el maíz del germen del maíz era valioso, y (2) que el aceite era la causa de que toda la pasta se enranciara después de la molienda.

Por tanto los laboratorios de *Best Food* dirigen su investigación hacia el uso del maíz opaco-2 en una forma total como ingrediente de alimentos preparados. El opaco-2 se introdujo como parte de Duryea, un alimento para infantes que primero apareció en Colombia. La forma de pasta integral probablemente no será utilizada en gran escala en otros productos comerciales hasta en tanto haya una mayor producción de maíz opaco-2.

Mientras tanto, nuestra investigación busca la manera de aprender cómo utilizar más eficazmente esta excelente fuente alimenticia cuando el maíz opaco-2 se popularice más y cuando se disponga de más grano.

Analicemos ahora otras maneras de utilizar el maíz opaco-2 recordando que recomendamos siempre emplearlo como grano completo o harina integral. En la tabla 6 se presentan las categorías alimenticias principales, aparte del olote, en las que se usan normalmente los granos, el molido grueso, la pasta o la harina del maíz. Se incluye una gran variedad de alimentos y no hay platillo elaborado actualmente con maíz normal que no pueda hacerse también con opaco-2. Positivamente podemos decir que de "la sopa al postre", pero repetimos que llevará tiempo y esfuerzo enseñar a la gente como usar los nuevos tipos.

Un excelente ejemplo de la utilización del maíz es, por supuesto, la elaboración de tortillas. En países donde se les consume dentro de la dieta básica, este alimento debe ser el punto de partida para la aceptación real de los nuevos tipos de maíz. La figura 3 muestra el procedimiento clásico de hacer tortillas. Usando maíz opaco-2, la mezcla de maíz, cal y agua se coloca en un

TABLA 4 Niveles de proteína en fracciones de maíz opaco-2 después de la molienda

Germen	*Quebraduras*	*Harina*	*Alimentación*
15	7.5	6.4	10

TABLA 5 Distribución de lisina en fracciones de maíz opaco-2 después de la molienda

	Germen	*Quebraduras*	*Harina*	*Alimentación*
Gramos de lisina/100 g	0.85	0.25	0.25	0.58
% de lisina total	37.5	10.5	36.0	16

TABLA 6 Utilización del maíz

Productos	*Forma del maíz*
Sopas[a]	Entero o molido
Panes[a]	Entero o molido
Pastel relleno	Entero o molido
Condimentos	Entero o molido
Cereales	Entero, molido o hecho tiras o fideos
Cereales para infantes	Molido o hecho tiras
Postres	Molido o hecho tiras
Budines	Molido o hecho tiras
Bebidas	Molido o hecho tiras
Dulces	Molido o hecho tiras
Bocadillos	Entero o hecho tiras

[a] Cosas logradas en la comunidad ahora.

recipiente y se pone a hervir; luego se quita del fuego, se le cubre y se deja escurrir como en el maíz normal. El único cambio necesario es eliminar el hervor de 50 minutos. Todo lo demás es igual, y funciona.

Este método es igualmente aplicable en operaciones comerciales para la elaboración de tortillas, harinas para tortillas o fritos de maíz, y permite la elaboración de productos de textura y apariencia similares a los que se hacen con maíz normal y ordinariamente superiores en aceptación con respecto a sabor.

Recomendamos usar métodos simples de reducción para hacer harina (pasta) integral de maíz a partir de maíces más suaves. Los molinos de piedra para masa

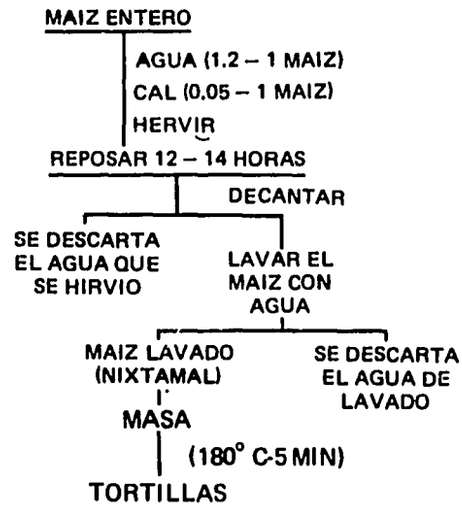


FIGURA 3 Método clásico para preparar tortillas.

trabajan bien. También se pueden obtener buenos resultados haciendo un quebrado inicial en un molino de martillo, seguido por una reducción adicional en pin o micromolinos. Con estos procedimientos se han logrado resultados estupendos, aún sin que se elimine la cáscara del grano. Si se desea una harina más refinada, sin fibra, ésta se puede producir eliminando la cáscara químicamente con un ácido o un álcali. Granos completos tratados de esta manera han sido procesados luego a bocadillos tipo nuez y han tenido alta aceptación por parte del consumidor. Los nuevos enfoques con la utilización de técnicas de extrusión abren amplios campos para el uso futuro del maíz opaco-2 en el sector industrial. Sin embargo, el impulso principal debe darse todavía al nivel de la comunidad. Luego, cuando se produzcan cantidades mayores, la industria estará lista para convertirla en productos que se consuman en las ciudades. Sin embargo, en la actualidad esto no es económicamente viable.

Otro uso para el maíz opaco-2 ha surgido de experimentos efectuados en los Estados Unidos. Un cereal a base de maíz de alta calidad proteínica está siendo usado con éxito como la dieta principal para fenilcetonúricos. Esto fue reportado inicialmente por S. Coburn del Hospital Estatal de Fort Wayne durante el Noveno Congreso Internacional de Nutrición celebrado en la Ciudad de México en septiembre de 1972, y yo tuve el placer de cooperar con él en el programa.

Como resultado de un mero error genético aleatorio, estos niños infortunados (fenilcetonúricos) son generalmente incapaces de metabolizar la fenilalanina a tirosina, una condición que lleva a un severo retardo mental y a patrones de comportamiento deficientes. Es necesario un tratamiento mediante terapia dietética con los alimentos apropiados, a fin de evitar o reducir daños cerebrales, y éste es un procedimiento muy costoso. La preparación a base de maíz de alta calidad proteínica parece promisoria como substituto y a la vez es mucho más barata que los alimentos acostumbrados. Los estudios preliminares también han indicado una marcada mejoría en el comportamiento de los pacientes a los que se les ha suministrado maíz con alta calidad proteínica, lo cual hace pensar que este pudiera ser el mejor tratamiento encontrado hasta ahora para los pacientes confinados por más tiempo.

Surgirán otros usos para el maíz opaco-2, pero repito que debemos dedicar más tiempo y dinero en enseñar a la gente cómo usar las variedades ya disponibles, y preocuparnos menos por las alteraciones genéticas. Mientras más pronto se haga esto, más pronto también millones de personas cuyo alimento básico es el maíz se librarían de la amenaza constante de la desnutrición.

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia).

Parte VII

EVALUACION QUIMICA Y BIOLOGICA DE LA CALIDAD PROTEINICA DEL MAIZ: ASUNTOS Y PROBLEMAS ACTUALES*

Joseph S. Wall y Jerrold W. Paulis**

Ciertamente, el desarrollo de mejores métodos para la evaluación química y biológica de la calidad proteínica de los cereales es de suma importancia para futuros avances hacia el mejoramiento, no sólo del maíz de alto contenido proteínico, sino también de otros cereales.

Desde el excitante descubrimiento de genotipos del maíz con alto contenido de lisina por Mertz, Nelson y Bates (8, 11), ha habido gran número de investigaciones tratando de incorporarlos a linajes con buenas características agronómicas e investigar los beneficios en la alimentación humana y animal. Con un creciente número de materiales genéticos para seleccionar un más alto contenido de lisina y otras características, se requieren métodos químicos menos costosos y más rápidos para la evaluación de la calidad proteínica del maíz. Conforme el maíz con alto contenido de lisina entra a los canales comerciales, necesitamos procedimientos simples para distinguirlo de los otros tipos de maíz, especialmente si llega a predominar el maíz alto en lisina con granos de tipo vítreo.

Sin embargo, las pruebas biológicas también son esenciales para evaluar la utilización actual de la proteína. Conforme uno altera las características y tipos de proteína en el maíz, pueden ocurrir cambios en la digestibilidad de la

* La mención de productos o firmas comerciales no implica que sean endosados ni recomendados por el Departamento de Agricultura estadounidense por encima de otras firmas o productos similares no mencionados.

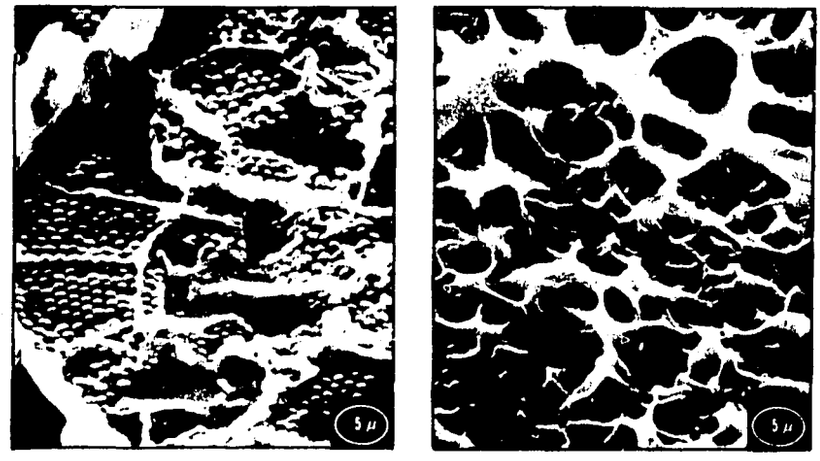
** Northern Regional Research Laboratory. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, Peoria, Illinois.

proteína. Aunque no se han encontrado hasta el momento en las elecciones del maíz alto en lisina, mediante el análisis biológico podrían detectarse posibles niveles perjudiciales de factores antinutricionales tales como inhibidores de la tripsina o compuestos fenólicos que dificultan la utilización proteínica. Además, debemos asegurarnos que al procesar los granos para la alimentación animal y humana no se reduzca el valor nutritivo de la proteína.

Finalmente, para entender mejor estos problemas, debemos apreciar completamente la naturaleza de las proteínas del maíz y comprender las diferencias en proteínas que resultan de la selección genética y que pueden influenciar en su contenido de aminoácidos y en su disponibilidad nutricional. Tal vez un mejor conocimiento de los factores genéticos que regulan la síntesis proteínica en la proteína del maíz, permitirá una mejor dirección en futuros programas de mejoramiento genético.

LOCALIZACION DE LAS PROTEINAS DEL MAIZ

En la figura 1, la observación por medio de micrografías electrónicas muestra diferencias impresionantes en los componentes subcelulares ricos en proteínas en las secciones de endosperma de maíz normal y con alto contenido de lisina. Los gránulos de almidón fueron eliminados mediante un tratamiento



NORMAL ALTO EN LISINA

PROTEINAS DEL MAIZ

FIGURA 1 Micrografías de secciones de endosperma de maíz normal y alto en lisina (*opaco-2*). Los gránulos de almidón fueron removidos al tratar la sección con amilasa.

enzimático para permitir la observación de las proteínas insolubles (21). En una sección de maíz normal, las hebras de la matriz proteínica engolfan un alto número de cuerpos proteínicos prominentes. Mediante la ultracentrifugación de gradiente, nos ha sido posible separar cuerpos proteínicos de la matriz proteínica en homogenados de endosperma inmaduro (1). Basados en el análisis electroforético de aminoácidos y geles de almidón, verificamos que la matriz proteínica está compuesta de glutelina, que es la fracción soluble en álcali de las proteínas del maíz. Como lo dedujo anteriormente Duvick (3), se demostró que los cuerpos proteínicos consistían casi enteramente de zeína (la fracción del maíz deficiente en lisina y soluble en alcohol).

En contraste, los cuerpos proteínicos en la sección del maíz con alto contenido de lisina (figura 1) son tan pequeños que casi son obscurecidos por la mayor cantidad de matriz glutelínica. Las diferencias en las estructuras de partículas subcelulares fueron demostradas por Wolf et al. (22). Estudios anteriores realizados por Mertz et al. (8) y por Mossé y sus colaboradores (10) mostraron que la variación en la calidad de la proteína entre maíz normal y opaco-2 resultaba principalmente en una disminución en la proporción de la zeína con respecto a las proteínas glutelina, albúmina y globulina; pero se reportaron diferencias en la composición glutelínica entre los distintos genotipos. Hasta recientemente, las causas de la variabilidad de la proteína glutelina permanecieron como un misterio debido a su insolubilidad en la mayoría de los agentes dispersores de proteína y a su destrucción en solventes alcalinos.

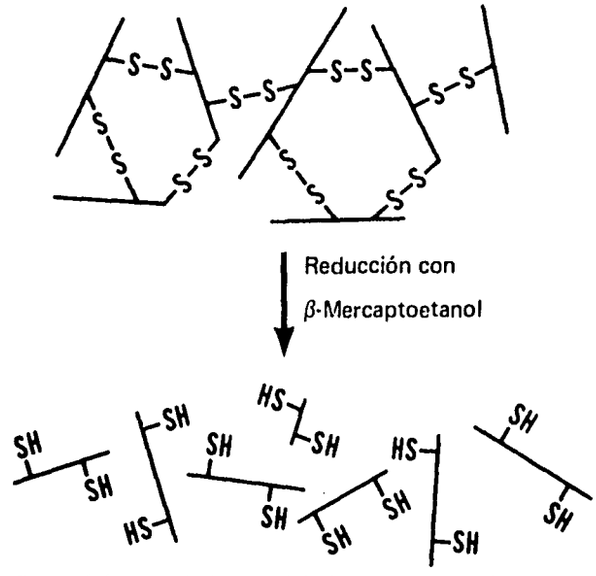


FIGURA 2 Paso del rompimiento del ligamento disulfuro a través de la estructura de la glutelina.

PROTEINAS GLUTELINICAS

La dura e insoluble matriz glutelínica liga los gránulos de almidón y cuerpos proteínicos del endosperma. Foster et al. (4) y Mertz y Bressani (7) demostraron que la mayoría de las proteínas del maíz podían ser solubilizadas no sólo por álcali, sino también por agentes reductores tales como sulfito o mercaptoetanol en la presencia de agentes disociadores tales como los dispersantes. Como se muestra en la figura 2, encontramos que la glutelina está formada por diferentes cadenas de polipéptidos unidas por ligamientos de disulfuros (debido al aminoácido cistina) para formar una matriz tri-dimensional insoluble (12). Los ligamientos del disulfuro fueron hendidos por el agente reductor, β-mercaptoetanol; de esta manera se liberaron las cadenas de polipéptidos y se pudieron estabilizar alcalinizando los grupos sulfidrilo. Los diferentes polipéptidos podían

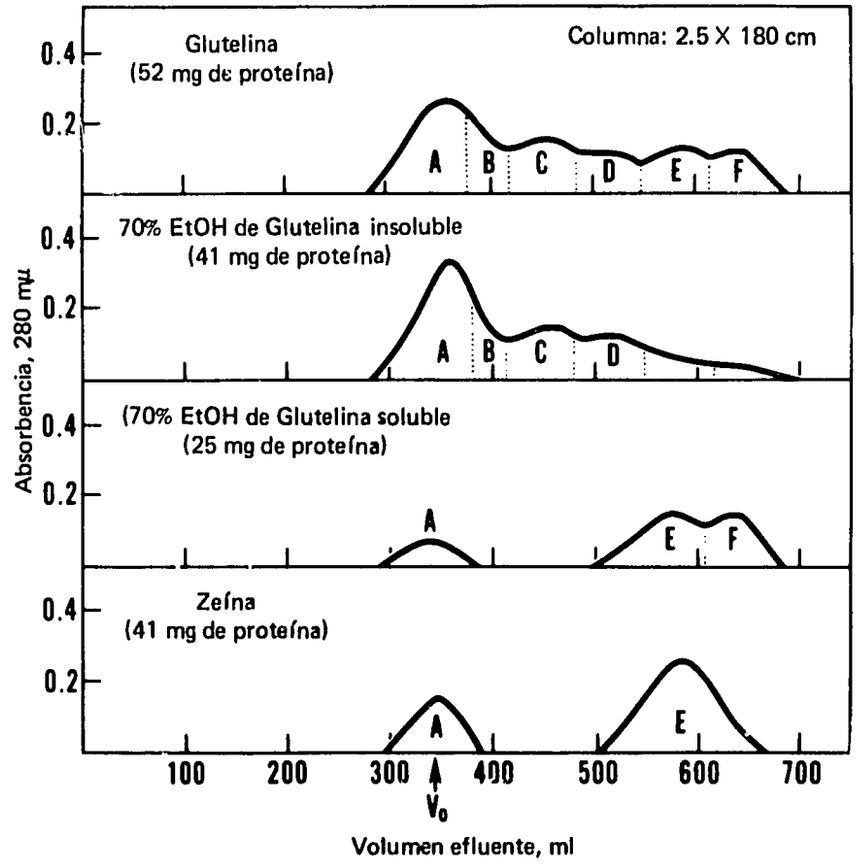


FIGURA 3 Efecto de la extracción con etanol al 70% de proteínas alcalinizadas y reducidas, sobre la cromatografía en Sephadex G-200.

TABLA 1 Subunidades de proteína soluble en alcohol en glutelinas reducidas de maíz normal y opaco-2

Item	*Tipo de proteína*	*Normal*	*Opaco-2*
1	Glutelina en proteína total (%)	46.5	55.2
2	Subunidades de proteína soluble en alcohol en glutelina reducida (%)	14.4	7.8
3	Glutelina soluble en alcohol en proteína total (%) (1 X 2)	6.7	4.3
4	Zeína en proteína total (%)	45.8	24.4
5	Zeína + subunidades de glutelina soluble en alcohol, % de la proteína total (3 + 4)	52.5	28.7

Fuente: Paulis *et al* (14).

entonces separarse mediante la cromatografía de filtración del gel en columnas de Sephadex G-200 con hidrocloruro de guanidina 6M como se ilustra en la figura 3 (13).

Los polipéptidos separados diferían en tamaño molecular, movilidades electroforéticas y composición de aminoácidos. Algunas de las cadenas de polipéptidos más pequeñas se desvanecieron a un volumen cerca del punto de desvanecimiento de la zeína. A diferencia de otros polipéptidos, estos eran deficientes en lisina y tenían bajas movilidades electroforéticas. Podían ser disueltas y extraídas en etanol del 70% como lo son las proteínas de la zeína, pero estas proteínas tenían un contenido más alto de metionina y cistina que la zeína.

Como se muestra en la tabla 1, las subunidades solubles en alcohol constituyen una proporción apreciable de la proteína glutelina del maíz normal (14). Cuando se agregan a la zeína obtenida mediante la extracción directa del machacado con etanol al 70% –0.5% acetato de sodio, esta proteína contribuye aún más al bajo valor nutritivo de la proteína del maíz normal. En contraste, la mayor cantidad de glutelina en el maíz opaco-2 contiene una menor proporción de esta proteína parecida a la zeína (14).

La observación de que una fracción de la glutelina soluble en alcohol puede ser extraída de glutelina reducida, también fue hecha independientemente por Landry y Moreaux (6). Ellos separaron la glutelina reducida aún más a dos fracciones adicionales (una soluble en un regulador alcalino y la otra soluble en el dispersante), sulfato sódico de dodecilato. Las diferencias entre las cantidades de subunidades de la glutelina solubles en alcohol en maíz normal y opaco-2 fueron confirmadas por Sodek y Wilson (17). Es muy posible que el gen opaco-2 no sólo favorece la producción de más glutelina a costa de la zeína, sino que también puede reducir el contenido de los componentes bajos en lisina en la glutelina.

EVALUACION QUIMICA DE LA CALIDAD PROTEINICA

Los cambios en las cantidades relativas de las diferentes proteínas en los genotipos de opaco-2 y harinoso-2 se reflejan en un mejor balance de

aminoácidos esenciales especialmente lisina, triptófano y treonina (8, 11). La manera más obvia de reconocer el grano de maíz en los programas de selección genética con respecto a su calidad proteínica es mediante el análisis directo de uno de los aminoácidos. Dado que la lisina es el aminoácido limitante en las dietas humanas ricas en cereales, mucha atención ha sido dada a su determinación. El analizador de aminoácidos automático, el cual separa los aminoácidos en hidrolizados por cromatografía y los determina por medio de la colorimetría, es sin duda la herramienta más útil para este propósito. Investigaciones recientes en la tasa acelerada del análisis, aplicación automática de muestras y el análisis computarizado de datos han resultado en una capacidad de más de 40 análisis de lisina por día. Mas el instrumento y su mantenimiento son costosos.

Métodos alternativos usados por algunos fitomejoradores para el análisis de la lisina en el maíz incluyen pruebas microbiológicas basadas en el crecimiento de bacterias que requieren lisina (16) y medir la cantidad de CO_2 liberado por la enzima lisina decarboxilasa (20). Análisis llevados a cabo en la proteína mediante la formación de los derivativos di- o tri-nitrofenólicos de la lisina, los cuales pueden ser determinados por medio de la colorimetría, han sido ampliamente explorados. Sin embargo, la solubilidad de las proteínas del maíz se torna problemática cuando uno busca obtener una derivación completa. Subramanian y colaboradores (18) superaron este problema usando enzimas proteolíticas para dispersar la proteína. Concon (2) desarrolló un procedimiento basado en la solubilización en álcali del 95% de la proteína del maíz. Estas técnicas han mejorado la exactitud y aumentado la tasa del análisis colorimétrico de la lisina.

Sin embargo, son deseables métodos aún más simples. Ya que sabemos que el contenido de lisina del maíz está relacionado a su complemento de diferentes proteínas, muchos investigadores han buscado el usar diferencias en las cantidades o las propiedades de las proteínas, como criterio para la calidad proteínica. Por ejemplo, dos grupos de trabajadores han reportado el uso exitoso de absorción del colorante basado en el procedimiento de Udy para el establecimiento de la calidad proteínica (5, 9). Debido a que la cantidad de absorción del colorante es una función del contenido básico de aminoácidos del grano, este procedimiento permite la estimación del contenido de lisina.

En el Laboratorio Regional de Investigaciones del Norte (Departamento de Agricultura norteamericano), se desarrolló una técnica simple para el análisis turbodimétrico rápido de la zeína en extractos de maíz molido: con esta técnica hemos demostrado que existe una buena correlación negativa entre el contenido de zeína y el análisis de lisina (15). El maíz molido (200 mg) es batido con 20 ml de etanol al 70% con un contenido de acetato de sodio al 0.5% durante 60 min. Luego, se agregan 6 ml de una solución de cloruro de sodio al 1.0% a una porción de 2.0 ml del supernatante. La turbidez que se forma debido a la precipitación de la zeína se mide con un colorímetro. Las diferencias entre el maíz normal y el que tiene alto contenido de lisina también pueden ser detectadas visualmente. En la figura 4, la absorción a 590 nm por gramo de proteína es mapeado con respecto al contenido de lisina. Se puede estimar el contenido de lisina a partir de la curva estándar mediante la determinación de la absorción de la solución túrbida. El método tiene un coeficiente de correlación de −0.87 y un error estándar de ± 0.3 g de lisina por 100 g de proteína. Este

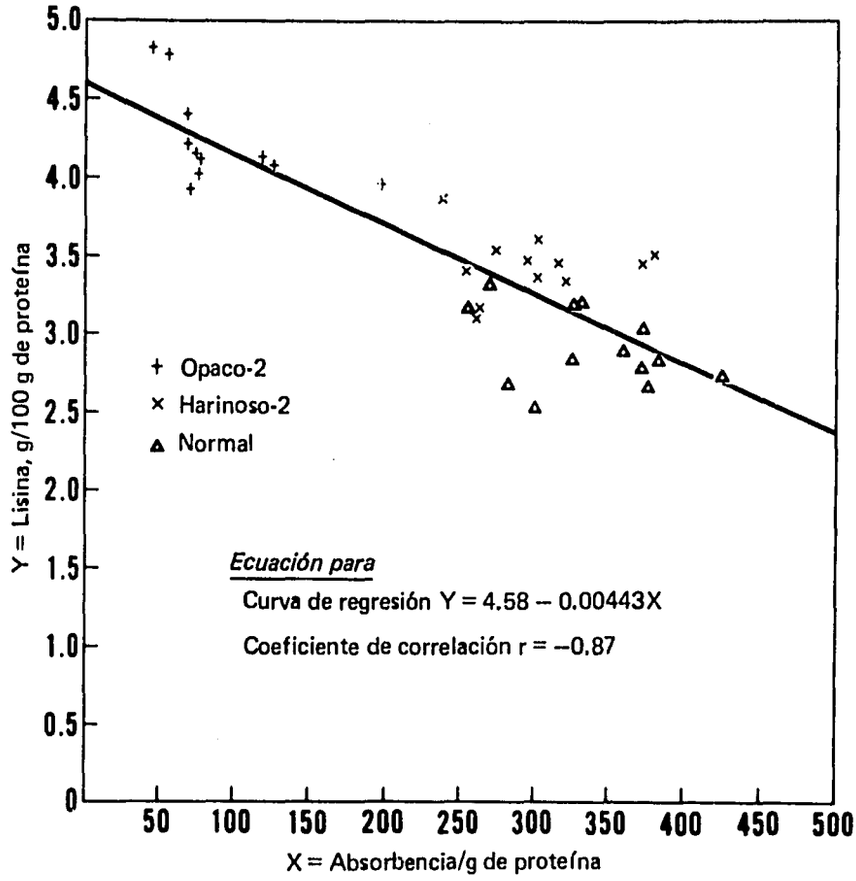


FIGURA 4 Curva de regresión que relaciona la absorción a 590 nm por gramo de proteína con los gramos de lisina por 100 g de proteína en muestras de maíz. Absorción medida en extractos con etanol 70%–acetato de sodio 0.5% enturbiados mediante la adición de sal.

procedimiento simple usa reactivos y equipo poco costosos y tiene gran capacidad. Ofrece una buena aproximación para pruebas o escudriñamiento iniciales.

EVALUACION BIOLOGICA DEL VALOR NUTRITIVO DE LA PROTEINA DEL MAIZ

Como se mencionó anteriormente, un buen balance de aminoácidos no es el único requerimiento para valor nutricional. La proteína del maíz debe ser digerida y sus aminoácidos deben estar biológicamente disponibles. La estructura subcelular del grano de maíz y la solubilidad de las proteínas influencian su

digestibilidad. Por lo tanto, se necesitan experimentos adicionales para evaluar la utilización de la proteína en granos que difieren en composición proteínica y estructura del grano. Sistemas enzimáticos han sido desarrollados para pruebas *in vitro* de la digestibilidad de la proteína que han dado buena correlación con datos *in vivo*. Mas para un estimado real del valor nutritivo, se requieren pruebas con animales de laboratorio. Deben seleccionarse e investigarse cuidadosamente animales y dietas para las pruebas, si deseamos interpretar los resultados debidamente.

Debido a la naturaleza vítrea del maíz dentado o cristalino, el grano debe ser procesado para permitir su uso en productos alimenticios, ya sea macerado en cal para permitir la formación de masa o molido en seco por un equipo moderno y complicado. Cuando el maíz con alto contenido de lisina llegue a estar disponible en forma general, debemos preocuparnos que el procesamiento y la preparación de productos alimenticios no disminuya su contenido nutritivo. Debido a la baja calidad de la proteína del maíz, poca atención se le ha dado en el pasado al mantenimiento de la calidad durante el procesamiento.

Mientras que el método de la molienda seca para remover el germen y el pericarpio es común en la mayor parte del Hemisferio Occidental, llegará a ser más ampliamente usado en otras áreas consumidoras de maíz conforme progrese la urbanización. Además del machacado y la sémola, otros subproductos útiles son producidos, los cuales, en la actualidad están relegados a la alimentación animal. El germen del maíz sin aceite, el cual constituye el 10% de los productos de la molienda, contiene un 20% de proteína que tiene un balance de aminoácidos favorable (19). Sin embargo, el proceso expulsor ampliamente usado para remover el aceite valioso del germen, destruye sus beneficios nutritivos. La reacción con los carbohidratos durante el calentamiento convierte la lisina en una forma no disponible biológicamente.

Como se muestra en la tabla 2, el contenido de lisina, la lisina disponible y la razón de eficiencia proteínica (PER) del germen permanecen altos si el germen es secado lentamente y si el aceite es extraído con solventes a bajas temperaturas. La lisina disponible fue medida por un procedimiento químico, y el PER fue determinado por el crecimiento de ratas en una dieta consistente de 10% de proteínas. El calentar el germen para secarlo disminuye levemente la cantidad de lisina disponible y el crecimiento animal. Pero el uso de temperaturas altas para facilitar la eliminación por expulsión del aceite, destruye mucha de la lisina y del valor nutritivo del germen. Este proceso sería un desperdicio en las áreas en las cuales esta calidad proteínica ayudaría a disminuir las deficiencias proteínicas. El procesamiento del germen para alimentos mediante la extracción

TABLA 2 Efecto del procesamiento en el valor nutritivo del germen del maíz

Tratamiento de la muestra para la remoción del aceite	*Total de lisina*	*Lisina disponible*	*REP*[a]
Secado al aire, extraído con solvente	6.3	5.4	2.30
Secado a máquina, extraído con solvente	5.9	4.9	2.04
Secado a máquina, procesado con expulsión	5.1	3.5	1.54

[a] Basado en la razón de eficiencia proteínica (REP) de la caseína de 2.5. Todas las dietas contenían 10% de proteína (19).

con solventes debe ser recomendado. Este estudio del germen del maíz demuestra claramente la necesidad de las pruebas biológicas de la disponibilidad nutritiva en productos de cereales.

CONCLUSION

Los trabajos estimulados por el descubrimiento del maíz con alto contenido de lisina y el reto de hacerlo ampliamente disponible para su uso en el combate contra la escasez de proteína en el mundo, han acelerado la investigación sobre las proteínas de los granos y sobre los medios químicos y biológicos de evaluar la calidad proteínica. Los trabajos presentados en las siguientes ponencias representan avances significativos en estos campos.

Deseo expresar mi agradecimiento a Uheng Khoo, F. L. Baker, y M. J. Wolf del Laboratorio Regional de Investigaciones del Norte por las micrografías electrónicas de secciones de endosperma del maíz preparadas por ellos (fig. 1).

(En la sección de *Preguntas y respuestas*, hay un análisis de esta ponencia).

BIBLIOGRAFIA

1. Christianson, D. D., H. C. Nielsen, U. Khoo, M. J. Wolf, y J. S. Wall. 1969. Isolation and chemical composition of protein bodies and matrix proteins in corn endosperm. Cereal Chem., 46:372-381
2. Concon, J. M. 1972. The determination of lysine in cereal proteins. A rapid method. *En* G. E. Inglett (ed.), Symposium: seed proteins. Avi Publishing Co., Westport, Conn., págs. 292-311.
3. Duvick, D. H. 1961. Protein granules of maize endosperm cells. Cereal Chem., 38:374-385.
4. Foster, J. C., Y. T. Yang, y N. H. Yui. 1950. Extraction and electrophoretic analysis of the proteins of corn. Cereal Chem., 27:477-487.
5. Kieselwetter, M., C. Lable, y E. Ross. 1968. Estimating lysine content of *Zea mays* utilizing the Udy protein analyzer. Agron. Abst., pág. 60.
6. Landry, J., y T. Moureaux. 1970. Hétérogénéité des glutélins du grain de maïs: extraction sélective et composition en acides aminés des trois fractions isolées. Bull. Soc. Chim. Biol., 52:1021-1022.
7. Mertz, E. T., y R. Bressani. 1957. Studies on corn proteins. I. A new method of extraction. Cereal Chem., 34:63-69.
8. Mertz, E. T., L. S. Bates, y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145:279-280.
9. Mossberg, R. 1969. Evaluation of protein quality and quantity by dye-binding capacity: a tool in plant breeding. *En* New approaches to breeding for improved plant protein. Intern. At. Energy Agency, Vienna, págs. 151-160.
10. Mossé, J., J. Baudet, J. Landry, y T. Moureaux. 1966. Étude sur les protéïnes du maïs. II. Comparaison entre les compositions en acides aminés et les proportions mutuelles des fractions protéïques de grains normaux et mutants. Ann. Physiol. Végétale, 8:331-334.
11. Nelson, O. E., E. T. Mertz, y L. S. Bates, 1965. Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. Science, 150:1469-1470.
12. Nielson, H. C., J. W. Paulis, C. James, y J. S. Wall. 1970. Extraction and structure studies on corn glutelin proteins. Cereal Chem., 47:501-512.
13. Paulis, J. W., y J. S. Wall. 1971. Fraccionation and properties of alkylated-reduced corn glutelin proteins. Biochem. Biophys. Acta, 251:57-69.

14. Paulis, J. W., C. James, y J. S. Wall. 1969. Comparison of glutelin proteins in normal and high-lysine corn types. J. Agr. Food Chem., 17:1301-1305.
15. Paulis, J. W., J. S. Wall, y W. F. Kwolek. 1971. A simple rapid method of estimating lysine in selections from opaque-2 and floury-2 corn breeding programs. Amer. Seed Trade Assn. Ann. Meeting, Corn Sorghum Div., St. Louis, Mo. June 28-29.
16. Snell, E. E. 1957. Microbiological determination of amino acids. Methods Enzymol., 3:477-492.
17. Sodek, L., y C. M. Wilson. 1971. Amino acid composition of proteins isolated from normal, opaque-2, and floury-2 corn endosperms by a modified Osborne procedure. J. Agr. Food Chem., 19:1144-1150.
18. Subramanian, S. S., R. Jambunathan, J. M. Concon, y E. T. Mertz. 1970. Simple methods for determining lysine and tryptophan in high lysine and normal maize. Fed. Proc., Fed Amer. Soc. Exp. Biol. 29:761 (abstr.)
19. Wall, J. S., C. James, y J. F. Cavins, 1971. Nutritive value of protein in hominy feed fractions. Cereal Chem., 48:456-465.
20. White, L. M., y M. S. Gauger. 1967. Simultaneous automated determination of L-lysine and total amino acids in seed hydrolyzates. Automat. Anal. Chem. Technicon Symp., 1:213-218
21. Wolf, M. J., U. Khoo, y H. L. Seckinger. 1967. Subcellular structure of endosperm protein in high-lysine and normal corn. Science, 157:556-557.
22. Wolf, M. J., U. Khoo, y H. L. Seckinger. 1969. Distribution and subcellular structure of endosperm protein in varieties of ordinary and high-lysine maize. Cereal Chem., 46:253-263.

CARACTERISTICAS DE LAS PROTEINAS QUE SE ENCUENTRAN EN LOS MUTANTES ENDOSPERMICOS SENCILLO Y DOBLE DEL MAIZ

P. S. Misra*
E. T. Mertz**
D. V. Glover***

Este informe enfoca las características de una serie de mutantes endospérmicos semi-isogénicos que se derivan de los linajes endocriados del maíz Oh43 y del maíz W22. D.V. Glover anotó la producción al igual que las características genéticas de estos mutantes en programas previos en los que el propósito era el mejoramiento del maíz.

En la tabla 1 se muestra la composición aminoácida de dos mutantes harinosos y de un mutante de fécula modificada que se encuentra en las condiciones genéticas del Oh43, y también presenta la composición aminoácida de un mutante harinoso que se encuentra en las condiciones genéticas del W22. Las columnas 2 y 3 comparan los modelos aminoácidos del mutante semi-isogénico opaco-2 y su duplicado normal. La interrelación observada entre estos dos mutantes es muy similar a la que se encontró y se reportó en 1966 (2) en el W64A endocriado y su mutante espontáneo opaco-2. El grado de lisina en el endosperma del W64A fue de 1.6 g/100 g de proteína mientras que en el mutante espontáneo fue de 3.7 g. El contenido de triptófano fue de 0.3 g en el W64A normal mientras que en el mutante fue de .7 g. Estos valores se aproximan enormemente a los valores que se dan en la tabla 1 para el Oh43 normal y su duplicado opaco-2. De tal manera que parece ser que cuando el endosperma normal se convirtió en su duplicado isogénico opaco-2, los niveles de lisina y de

*Postdoctoral Studies, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.
**Departamento de Bioquímica, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.
***Departamento de Agronomía, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.

TABLA 1 Composición de aminoácidos de endospermas[a] de maíz desgrasado

Endocriados:	Oh43						W22		
Genotipo[b]:	+	o_2	fl_2	o_2fl_2	bt_2	o_2bt_2	+	o_7	o_2o_7
Lisina	1.6	3.5	2.7	2.7	3.3	5.3	2.3	3.8	3.5
Triptófano	0.3	0.8	0.5	0.8	0.7	1.3	0.4	0.7	0.7
Leusina	16.4	12.1	15.4	12.56	12.3	8.3	15.9	12.5	10.7
Isoleusina	4.3	4.3	4.3	4.07	4.1	4.1	4.3	4.3	4.1
Treonina	4.0	4.4	3.9	3.66	4.4	5.5	4.0	4.4	3.4
Metionina	2.4	2.7	3.7	2.17	3.4	2.4	3.2	3.2	2.2
Cistina	2.1	2.1	1.4	2.23	2.0	2.3	2.4	1.9	2.5
Fenilalanina	6.8	6.0	6.1	5.50	5.6	5.2	6.7	5.2	4.0
Tirosina	5.9	5.2	5.1	5.0	5.1	4.9	5.8	4.9	3.9
Valina	5.2	5.9	5.2	5.1	5.6	7.0	5.7	6.7	5.4
Histidina	3.0	3.4	2.9	2.8	3.2	3.6	3.6	4.1	4.1
Arginina	3.4	5.1	5.8	4.3	5.0	7.2	3.7	5.2	4.8
Glicina	3.3	4.9	3.2	3.9	4.6	7.4	4.0	5.2	4.3
Alanina	10.1	8.2	8.9	7.6	8.3	7.5	8.5	7.9	5.5
Serina	6.0	5.4	5.[illegible]	4.6	5.6	5.6	5.4	5.6	3.9
Acido aspártico	7.5	9.5	7.2	8.7	8.1	10.7	6.7	9.4	7.1
Acido glutámico	30.0	23.6	26.4	24.9	23.6	19.0	27.4	25.5	18.5
Prolina	11.3	9.8	9.5	9.4	9.6	8.9	11.5	11.0	10.0
% de proteína	11.8	10.1	12.3	10.4	13.4	12.9	8.5	7.3	7.6

[a] Niveles de aminoácidos como porcentaje del total de proteínas (N X 6.25).
[b] En las tablas 1 a 10: o, opaco; fl, harinoso; bt, brillante; su, azucarado; sh, rugoso.

triptófano alcanzaron más del doble. Otros cambios característicos del mutante opaco-2 se tradujeron en un descenso sustancial en el nivel de leucina, con poco o ningún cambio en el nivel de isoleucina; un aumento en los niveles de alanina, de ácido glutámico y de prolina.

Además de estos cambios en los niveles de aminoácidos cuando se introdujo el gene opaco-2 se observó un descenso en el contenido total de proteína del endosperma. Esta disminución también se observó en la sucesión W64A endocriada.

Los efectos del gene harinoso-2 en las condiciones genéticas del Oh43 se traducen en cambios en los aminoácidos individuales en la misma dirección que la observada con la introducción del gene opaco-2, pero estos cambios no son tan marcados. Además, no existió una disminución en el nivel proteínico del endosperma.

En estudios anteriores referentes al nivel de lisina que se hicieron en el opaco-2 y en el harinoso-2, se tuvo la esperanza de que el mutante doble opaco-2/harinoso-2 tuviera niveles de lisina superiores a los niveles que se encontraron en los mutantes simples opaco-2 y harinoso-2. No obstante, en la forma en que se muestra en la tabla 1, el nivel de lisina es similar tanto en el mutante doble opaco-2/harinoso-2 como en el harinoso-2. Otros aminoácidos se encontraron a nivel de opaco-2 o de harinoso-2, o bien se encontraron en un estado intermedio entre estos dos niveles.

Kenneth S. McWhirter del Departamento de Botánica Agrícola, Universidad de Sidney, Sidney, Australia, nos facilitó el mutante opaco-7 del linaje W22 de endocriados al igual que el mutante doble que contiene opaco-7 y opaco-2. El opaco-7 era una mutación espontánea en este linaje y se emitieron datos preliminares acerca de la composición de aminoácidos como de la distribución de nitrógeno en el endosperma (3).

En la tabla 1 se muestra que los modelos de aminoácidos en el mutante opaco-7 eran muy similares a los modelos de aminoácidos que se encontraban en el mutante opaco-2 de los antecedentes del Oh43. No obstante, el duplicado normal en las series W22 contenía un nivel de lisina y de triptófano más elevado que el que contenía el duplicado normal del Oh43. Esto podría esperarse ya que el duplicado normal del W22 contenía un nivel de proteína mucho más bajo en el endosperma (8.5%), y los niveles de lisina y de triptófano eran proporcionalmente inversos al nivel de proteína. Con la introducción del gene opaco-7 en las condiciones genéticas del W22 normal se observó una reducción proteínica (8.5 a 7.3%).

Los granos de mutante doble que contienen opaco-2 y opaco-7 usados en los estudios de McWhirter no eran isogénicos puesto que se obtuvieron como segregados F3 a partir de las cruzas del opaco-2 del linaje W23L317 con el opaco-7 del linaje W22. Pese a esto, la composición aminoácida que se muestra en la tabla 1 sugiere que no se obtuvo ningún efecto adicional que se relacionara a la lisina y al triptófano. Los dos genes harinosos, el harinoso-2 y el opaco-7, aparentemente no dan un efecto adicional relacionado a la lisina cuando se combinan con el gene opaco-2. En contraste, los mutantes dobles que contienen opaco-2 y cualquier otro gene mutante endospérmico presentan un efecto adicional, tal y como lo indican los estudios realizados con el brilloso-2 en las condiciones genéticas del Oh43.

El gene brilloso-2 (tabla 1, columna 6) produce un modelo de aminoácido muy similar al que se observa con el gene opaco-2. En contraste, el gene brilloso-2 no mostró ninguna reducción en el porcentaje de proteínas del endosperma; por el contrario, se presentó una elevación definitiva en el porcentaje de proteínas (11.8% en el normal, y 13.4% en el brilloso). Sin embargo, la combinación de los genes opaco-2 y brilloso-2, presenta marcados cambios: elevación de la lisina hasta 5.3%; elevación del triptófano hasta 1.3%; la leucina descendió bruscamente hasta 8.3%; elevación de los niveles de arginina, glisina, y ácido aspártico; y un descenso sustancial en los niveles de alanina, de ácido glutámico y de prolina. Dicha combinación también presenta un aumento en el nivel de proteínas del endosperma, con un nivel de 12.9%, el cual es intermedio entre la selección normal y la selección de brilloso-2. Los genes bt_2, bt_1, su_1, sh_1, sh_2 y sh_4 todos dan una reducción drástica (de 60 a 75%) en el rendimiento de carbohidratos y proteínas del endosperma.

EXPERIMENTACION

Para comprender los marcados cambios que ocurren en los modelos de aminoácidos con la introducción de estos genes mutantes, es necesario observar la distribución de proteínas dentro del endosperma. En los últimos dos años, tal

TABLA 2 Secuencia D de la fraccionación Landry-Moureaux

Fracción	*Solvente*	*Tiempo de agitación (minutos)*	*Fracciones proteínicas*
I	NaCl 0.5*M* (4°C)	60	Albúminas
		30	Globulinas
		30	
	Agua	15	
		15	
II	Isopropanol 70% (20°C)	30	
		30	Zeína
		30	
III	Isopropanol 70%	30	
	+ 2-ME 0.6% (v/v) (20°C)	30	Similar a la zeína
IV	Buffer de borato pH 10	60	
	+ 2-ME 0.6% (v/v) (20°C)	30	Similar a la glutelina
		15	
V	Buffer de borato pH 10	60	
	+ 2-ME 0.6% (v/v)	30	Glutelina
	+ SDS 0.5% (w/v)	15	Residuo

Notas: 2-ME, 2- mercaptoetanol; buffer de borato: borato, NaOH, NaClμ0.5; SDS, dodecil sulfato de sodio.

como se señala en la tabla 2, se ha estado usando un método de fraccionamiento desarrollado para este propósito por Landry y Moureaux (1) en Francia.

El endosperma se encuentra finalmente desarrollado y engrosado y una parte de él se mezcla con 10 partes de solvente. Para obtener la primera fracción, al endosperma completamente desarrollado y engrosado se le agregan 10 partes por peso de 0.5 M. de solución de cloruro de sodio, y la mezcla se agita durante 60 minutos a 4°C. Luego la mezcla se centrifuga y se separa el extracto. El residuo se vuelve a tratar con el mismo volumen de solución salina y se agita por otros 30 minutos. La extracción se repite una tercera vez por 30 minutos. Finalmente, el residuo se extrae con el mismo volumen de agua por 15 min, y este proceso se vuelve a repetir durante 15 min. A continuación se combinan los cinco extractos para dar la fracción I. Posteriormente el residuo se trata con 10 volúmenes de isopropanol al 70% a 20°C durante tres períodos de 30 minutos, como se indica en la tabla 2, para dar la fracción II. Luego el residuo se reserva para aislar la fracción III, y así sucesivamente.

La primera fracción contiene las albúminas y globulinas, los aminoácidos libres y pequeños fragmentos péptidos, al igual que cualquier otro componente soluble en solución salina. La segunda fracción contiene la prolamina y la zeína. La tercera fracción contiene las proteínas similares a la zeína que son solubles en alcohol una vez que las ligaduras disulfitos en la proteína han sido reducidas con 2-mercaptoetanol. La cuarta fracción contiene proteínas que poseen algunas de las características de la glutelina. La quinta fracción contiene la verdadera glutelina, la cual es una compleja mezcla de proteínas de elevado peso molecular que pueden ser solubilizadas únicamente por medio de un tratamiento con un agente reductor y un detergente, dodecilsulfato de sodio (SDS) a un pH alcalino.

TABLA 3 Distribución de nitrógeno en endospermas de maíz[a]

Fracción	*Endocriado*:	Oh43						W22		
	Genotipo:	+	o_2	fl_2	o_2fl_2	bt_2	o_2bt_2	+	o_7	o_2o_7
I (salina)		5.8	13.6	9.2	17.0	12.1	22.3	6.9	16.6	17.6
II (zeína)		59.0	26.9	49.1	25.0	26.1	2.9	40.6	20.3	8.7
III (similar a la zeína)		5.8	8.4	9.0	15.2	15.4	5.5	15.3	12.0	15.1
IV (similar a la glutelina)		12.7	14.0	7.6	9.9	8.7	12.2	12.8	18.8	21.3
V (glutelina)		13.8	29.2	22.0	24.8	27.9	48.0	21.0	29.5	33.3
Total de N extraído		97.1	92.1	96.7	91.9	90.2	90.9	96.6	97.2	96.0

[a] Porcentaje de nitrógeno soluble.

RESULTADOS: SERIES OHIO 43

El contenido de nitrógeno de cada una de las cinco fracciones se determina por medio del micro-Kjeldahl, y el residuo que queda después de la extracción también se analiza con el propósito de encontrar nitrógeno.

En la tabla 3 se presenta la distribución del nitrógeno en los endospermas del maíz. En el duplicado normal del Oh43, la fracción salina viene a ser un porcentaje muy pequeño del total (5.8%, mientras que la fracción zeína (fracción II) viene a ser casi el 60% del total de proteína extraída. La fracción similar a la zeína (fracción III) fue menor (5.8%), la fracción similar a la glutelina (fracción IV) fue intermedia (12.7%), y la fracción de glutelina verdadera fue ligeramente más elevada (13.8%). La extracción de nitrógeno en el residuo. En la columna 3 de la tabla 3 se muestran diversos cambios en la distribución de las fracciones proteínicas dentro del endosperma semi-isogénico opaco-2: la fracción salina fue de más del doble; la fracción zeína (fracción II) descendió de 59 a 26.9%; la fracción similar a la zeína (fracción III) aumentó ligeramente (de 5.8 a 8.4%); la fracción IV aumentó ligeramente; y la fracción V fue más del doble (13.8 a 29.2%). En el gene mutante brilloso-2 se observó un modelo similar, a excepción de que parece existir una reversión en las cantidades relativas de las fracciones III y IV. En contraste, la introducción del gene harinoso-2 ocasionó solamente una elevación moderada en el nivel de proteínas solubles en solución salina, un modesto descenso en el nivel de zeína (fracción II), una reducción en la fracción IV, y una elevación en la fracción V, misma que fue intermedia entre la conversión del normal y del opaco-2.

La combinación del gene harinoso-2 mutante con el gene opaco-2 mutante no produce grandes cambios en cualquiera de las fracciones a no ser los cambios observados en el opaco-2. En contraste al opaco-2/harinoso-2, el mutante doble que contiene opaco-2/brilloso-2 presenta un aumento en la fracción I, una eliminación casi completa de la fracción II y un efecto agregado en la fracción V.

DISTRIBUCION DEL NITROGENO EN LAS SERIES W22

En las series W22, el gene mutante opaco-7 que se encuentra en los antecedentes del W22 introdujo cambios que se asemejan a los que se observaron al introducir el gene opaco-2 en los antecedentes del Oh43 (tabla 3). La combinación de los genes opaco-7 y opaco-2 produce una marcada reducción en la fracción II (zeína), desde 20 hasta 8.7% con poco cambio en las otras fracciones. Estos cambios no conducen a un nivel de lisina que sea superior a la elevación que se observa en el gene opaco-2 por sí solo, como se muestra en la tabla 1.

MODELOS ELECTROFURETICOS DE ACRILAMIDA SDS-DETERGENTE

Una posible explicación para esta anomalía se puede encontrar en los modelos gel de acrilamida-SDS que se presentan en la figura 1. Estos modelos

muestran que en todos estos mutantes (a excepción del mutante doble que contiene opaco-2/brilloso-2) existen dos bandas que representan los mayores componentes proteínicos de la zeína. Los estudios realizados en laboratorios han señalado que estos dos principales componentes proteínicos tienen pesos moleculares de aproximadamente 22 000 y 25 000 respectivamente. En el mutante doble opaco-2/brilloso-2, estas dos bandas se encuentran completamente ausentes (figura 1), y el movimiento más rápido de material fue el que se observó hacia abajo del tubo representando los fragmentos de proteína más pequeños con un peso molecular de aproximadamente 10 000. Parece ser obvio que la verdadera zeína se encuentra ausente en el mutante doble opaco-2/brilloso-2, y que el 2.9% del total de proteína observado en esta fracción, fracción II (tabla 3), no presenta zeína. Estos hallazgos indican fuertemente que la introducción de los genes opaco-2 y brilloso-2 en las condiciones genéticas del Oh43 suprime completamente la síntesis de verdadera zeína. Juntamente con la supresión completa de la síntesis de zeína se observa una elevación espectacular en el nivel de glutelina (fracción V). El marcado aumento en la fracción I y V combinado con la desaparición de la zeína se toma en cuenta para el modelo de aminoácidos anormalmente balanceado que se observa en el mutante opa-

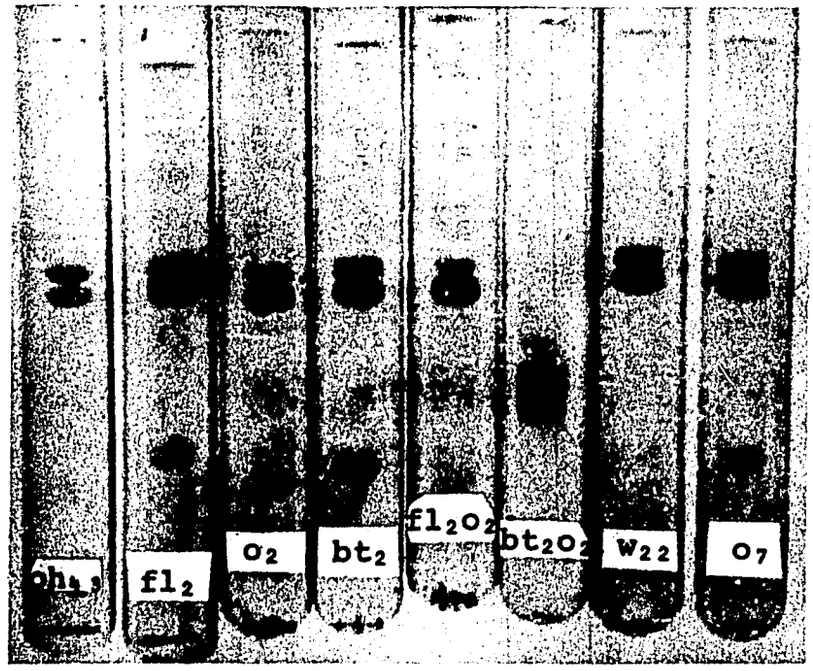


FIGURA 1 Comparación de patrones SDS – acrilamida electrofóresis de zeínas (fracción II) aisladas con 70% de isopropanol, a partir de endospermas desgrasados. El sentido de la migración está orientado hacia el fondo del tubo.

TABLA 4 Distribución de nitrógeno en variedades mutantes de maíz opaco-2 y de almidón modificado[a]

	Endosperma													
Fracción	+	o_2	su_1	sh_1	sh_2	sh_4	bt_1	bt_2	$su_1 o_2$	$sh_1 o_2$	$sh_2 o_2$	$sh_4 o_2$	$bt_1 o_2$	$bt_2 o_2$
I	5.8	13.6	11.9	8.2	12.3	25.7	8.8	12.1	22.7	39.9	25.3	43.3	23.3	22.3
II	59.0	26.9	27.1	43.7	29.4	30.8	36.0	26.1	3.0	1.8	1.2	6.5	2.7	2.9
III	5.8	8.4	21.9	12.3	9.4	7.7	16.4	15.4	9.0	1.6	1.1	3.9	2.5	5.5
IV	12.7	14.0	9.1	14.4	15.0	8.3	8.3	8.7	14.2	16.4	26.1	8.7	13.1	12.2
V	13.8	29.2	22.8	16.3	23.6	23.6	27.4	27.9	45.3	32.2	35.4	26.8	50.2	48.0
N total extraído	97.1	92.1	92.8	94.9	89.8	96.1	96.9	90.2	94.2	91.9	39.1	89.2	91.8	90.9
Lisina (% de proteína total)	1.6	3.5	1.8	1.9	2.7	3.0	2.3	3.3	3.9	4.8	4.2	4.0	4.8	5.3
Triptófano (% de proteína total)	0.3	0.8	0.3	0.6	0.7	0.8	0.5	0.7	0.8	1.2	1.2	1.2	1.4	1.3

[a] Porcentaje de nitrógeno soluble.

co-2/brilloso-2, un modelo que se asemeja estrechamente al modelo ideal de aminoácidos recomendado por la FAO para dietas de niños en edad preescolar.

En la tabla 4 se sintetiza la distribución de nitrógeno observada en seis mutantes endospérmicos semi-isogénicos, en los cuales se sintetizó menos fécula, y sus mutantes dobles se combinaron con el opaco-2 en las condiciones genéticas del Oh43. En los mutantes simples la primera fracción fue variable, pero de todas formas fue más elevada que en el duplicado normal (8.2 a 25.7% comparado con un 5.8%). La fracción II (verdadera zeína) en los mutantes simples fue menor que en el duplicado normal (26.1 a 43.7%, comparado con un 59.0%). En los mutantes simples la fracción III fue más elevada (7.7 a 21.9% comparado con un 5.8%), y la fracción IV osciló desde 8.3 hasta 15%, comparada con un 12.7% en el duplicado normal. La fracción IV en los mutantes simples fue más elevada que en el duplicado normal (16.3 a 27.9%, comparado con un 13.8%). El contenido de lisina en los mutantes simples fue variable, pero todos los valores fueron más elevados que los valores observados en el duplicado normal (1.8 a 3.3% en comparación con un 1.6%). Los niveles de triptófano fueron más elevados en los mutantes simples que en el duplicado normal, a excepción de un solo caso (azucarado-1).

Los mutantes dobles de 6 genes endospérmicos mutantes con opaco-2, (tabla 4) mostraron uniformemente el mismo efecto adicional observado primeramente con la combinación de opaco-2 y brilloso-2. La fracción I mostró un aumento de 22.3 hasta 43.3% con respecto a 59.0% en el normal; la fracción III mostró un aumento del 1.2 a 5.5% con respecto a 5.8% en el normal; la fracción IV mostró valores tanto más elevados como más bajos que el valor del duplicado normal (8.7 a 26.1% con respecto a 12.7%); y la fracción V mostró un nivel uniformemente más elevado que el nivel que se encontró en el duplicado normal (26.8 a 50.2% con respecto a 13.8%). Estos cambios se reflejaron en (1) los valores de lisina los cuales variaron de 3.9 a 5.3% en los mutantes dobles con respecto a 1.6% en el duplicado normal, y (2) en el triptófano el cual varió de 0.8 a 1.4% con respecto 0.3% en el duplicado normal.

Este dato indica que, con la posible excepción del rugoso-4/opaco-2, existía una supresión completa de la síntesis de zeína en las combinaciones de mutante doble. Fue obvio que todos los granos deberían tener un elevado valor nutricional lo cual se deduce de los niveles de lisina y de triptófano que se encuentran en estos seis endospermas de mutante doble.

En la actualidad se están realizando algunos estudios a fin de examinar las fracciones proteínicas en los endospermas en desarrollo del mutante doble que contiene opaco-2/brilloso-2. Se espera encontrar algunos cambios de interés, y se tiene la esperanza de poder lograr alguna clave o guías del mecanismo que suprime completamente la síntesis de zeína en estos mutantes dobles.

COMPOSICION AMINOACIDA DE LAS FRACCIONES LANDRY-MOUREAUX

Se han obtenido datos acerca de la composición aminoácida de las fracciones I a la IV para las mutaciones opaco-2, harinoso-2, brilloso-2 y

opaco-2/brilloso-2 en las sucesiones Oh43 endocriadas, y para la mutación opaco-7 en la sucesión W22 endocriada. Para cada una de las cinco fracciones se hidrolizó una alicuota de un extracto acuoso que contenía 2.5 mg. de nitrógeno, en un volumen final de 100 ml. de 6N HCl para 24 horas bajo reflujo. El ácido hidroclórico se evaporó *in vacuo* en un evaporador rotatorio, y el residuo se disolvió en 10 ml. de buffer diluido a un pH de 2.2. Porciones de un mililitro se aplicaron a las columnas corta y larga del analizador aminoácido automático Spinco.

En la tabla 5 se muestra la composición aminoácida de la fracción I. Esta fracción tuvo un alto contenido de albúminas y globulinas. El contenido de lisina de la fracción primera en el duplicado normal del Oh43 y del W22 fue tan elevada como lo fue el contenido en cualquiera de estos mutantes derivados. Con la excepción del brilloso-2 y de los mutantes dobles que contienen opaco-2 y brilloso-2, los niveles de lisina fueron tan elevados como lo fueron los niveles encontrados en el embrión del maíz. El análisis de triptófano no se llevó a cabo en todas las fracciones de las muestras I; no obstante, el Oh43 normal contiene aproximadamente 0.7% de triptófano y el brilloso-2/opaco-2 contiene aproximadamente 1.2% de triptófano.

Nuestros hallazgos indican que el modelo aminoácido de la fracción I del endosperma del maíz normal, es bastante similar a la misma fracción que se encuentra en los mutantes con alto contenido en lisina. La fracción primera es una fracción muy nutritiva, esto se comprueba por medio de los excelentes niveles de lisina, los niveles adecuados de aminoácidos sulfúricos y de otros

TABLA 5 Composición de aminoácidos en la fracción I[a]

Endocriado:	Oh43					W22	
Genotipo:	+	fl_2	o_2	bt_2	o_2bt_2	+	o_7
Lisina	6.3	5.1	5.8	4.3	3.7	6.1	5.2
Histidina	3.2	2.4	3.3	2.2	2.2	2.5	2.3
Arginina	11.7	6.4	11.8	6.1	7.9	10.4	9.9
Acido aspártico	11.1	9.6	9.2	9.2	7.4	7.9	7.6
Treonina	5.3	4.9	4.2	3.9	3.5	4.2	3.6
Serina	5.8	5.2	4.9	4.7	4.0	4.5	3.9
Acido glutámico	18.5	14.3	13.8	13.7	9.2	10.9	14.8
Prolina	6.4	5.1	5.3	7.4	6.3	4.8	4.5
Glicina	8.2	7.5	7.0	6.9	5.8	6.4	5.9
Alanina	8.8	7.7	7.2	8.5	7.7	7.0	5.8
Cistina	1.6	3.9	0.1	4.2	4.0	0.3	0.1
Valina	6.2	6.8	5.3	6.0	4.7	4.7	4.8
Metionina	2.5	3.0	1.5	1.1	0.8	1.7	1.8
Isoleucina	4.6	3.9	4.3	3.5	3.1	3.9	3.4
Leucina	6.4	4.6	6.1	4.4	4.5	5.4	5.2
Tirosina	4.5	4.2	3.6	4.0	3.6	2.8	3.0
Fenilalanina	4.2	4.5	3.7	3.5	3.1	2.4	3.1
Ganancia total	115.3	99.1	97.1	93.6	81.5	85.9	84.9

[a] Niveles de aminoácidos como porcentaje del total de proteínas (N X 6.25).

aminoácidos esenciales. Los valores de cistina y de metionina fueron variables debido a las pérdidas oxidativas observadas durante la hidrólisis. No obstante, los elevados niveles de cistina y de metionina que se encontraron en el harinoso-2 son de gran importancia ya que se trata de valores mínimos.

En la tabla 6 se muestra la composición aminoácida de la fracción II en los diferentes mutantes y sus duplicados normales. La recuperación de aminoácidos fue satisfactoria en todos los casos, a excepción del caso del mutante doble que contiene opaco-2 y brilloso-2. En éste la recuperación fue menos de la mitad de lo esperado y no fue posible encontrar situaciones de hidrólisis que mejoraran dicha recuperación. En este caso, el material hidrolizado debe ser considerado como un artefacto, ya que no representa a la verdadera zeína. Es posible que el nitrógeno, que contiene otros materiales que no sean proteína, se encontrara presente en esta fracción, lo cual se daría como un resultado del escaso valor de recuperación.

Tal y como se esperó, la lisina fue muy baja en la fracción II de los mutantes y en sus duplicados normales. El grado fue, excluyendo el mutante doble, de 0.1 a 0.5%. La limitada información sobre los niveles de triptófano sugiere que las muestras contenían aproximadamente el mismo grado de niveles en sus aminoácidos. El contenido de arginina en el harinoso-2 fue relativamente

TABLA 7 Composición de aminoácidos en la fracción III[a]

Endocriado:	Oh43					W22	
Genotipo:	+	fl_2	o_2	bt_2	o_2bt_2	+	o_7
Lisina	0.6	0.6	0.5	0.4	0.8	0.5	0.4
Histidina	8.0	0.3	3.3	1.9	3.8	4.8	4.2
Arginina	3.2	3.5	2.4	2.2	2.9	4.8	4.3
Acido aspártico	3.1	5.2	3.9	4.9	1.6	2.8	3.7
Treonina	4.3	3.5	4.3	3.7	4.4	4.0	4.5
Serina	5.2	6.0	5.5	6.3	5.1	4.8	5.6
Acido glutámico	25.7	27.0	30.9	31.8	31.2	29.3	31.1
Prolina	15.6	12.4	16.2	13.5	15.4	17.1	17.2
Glicina	4.5	2.8	4.2	3.6	6.6	4.7	4.3
Alanina	7.5	9.8	8.4	10.1	6.5	8.2	9.2
Cistina	0.4	0.3	0.6	0.5	0.6	0.2	0.3
Valina	4.7	3.8	5.1	4.0	4.6	5.6	5.0
Metionina	4.3	8.9	6.2	9.2	2.5	5.7	8.0
Isoleucina	2.5	3.3	3.1	3.5	1.1	2.3	2.8
Leucina	13.7	16.1	15.5	17.7	10.5	13.9	16.0
Tirosina	4.5	4.0	4.4	5.3	6.9	4.6	5.1
Fenilalanina	4.5	6.8	5.8	6.4	6.2	4.2	5.1
Ganancia total	112.3	114.3	120.3	125.0	110.7	117.5	126.8

[a] Niveles de aminoácidos como porcentaje del total de proteínas (N X 6.25).

la leucina se encontró elevada oscilando entre 19.6 y 21.1%, con una proporción leucina-isoleucina de aproximadamente 5 a 1. En este caso se debe de volver a hacer énfasis de que no se pueden observar diferencias importantes en los modelos de aminoácidos entre las selecciones mutantes y sus duplicados normales.

En la tabla 7 se muestra la composición aminoácida de la fracción III. En esta fracción y en la IV la composición aminoácida no fue muy elevada por lo que su participación en la formación del modelo final del endosperma fue mínima. Sin embargo, ambas fracciones son de gran interés. La fracción III es una fracción de elementos parecidos a la zeína y, como consecuencia de esto, el nivel de lisina fue bastante bajo; no obstante fue más elevado que lo que se observa en las fracciones que contienen zeína verdadera, con una oscilación entre 0.4 y 0.8%. En lo que se refiere al triptófano sólo se efectuó un análisis. El mutante brilloso-2 tenía un contenido de triptófano de 0.1%. El ácido glutámico fue bastante elevado, con un contenido de 25.7 a 31.8%. La prolina también fue elevada, con una oscilación entre 12.4 y 17.2%. Los niveles de metionina que se encontraron fueron raros: en el harinoso-2 fue de 8.9%, en el brilloso-2 fue de 9.2% y en el opaco-7 fue de 8.0%. Puesto que podrían haber existido pérdidas oxidativas en estos aminoácidos sulfúricos, estos valores encontrados fueron mínimos. Los valores de cistina encontrados fueron relativamente bajos (0.2 a 0.6%), pero esto se podría deber a las excesivas pérdidas por oxidación.

La leucina fue bastante elevada en la fracción III, y la isoleucina fue relativamente baja, dando una proporción leucina-isoleucina mucho más desfavorable (mayor que 5 a 1). Esto fue una noticia especial en el caso del

mutante doble que contiene opaco-2 y brilloso-2, en el que el valor real de isoleucina de 1.1% fue tan bajo que dicha proporción leucina-isoleucina fue de aproximadamente 10 a 1. La prolina, al igual que el ácido glutámico, se encontró muy elevada en esta fracción. La prolina osciló entre 12.4 y 17.1%, y el ácido glutámico osciló entre 25.7 y 31.8%. En el duplicado normal del Oh43 se encontró un nivel de histidina muy elevado (8.0%), pero este nivel no se encontró en el duplicado normal de W22. Los modelos aminoácidos de los duplicados normales y de los mutantes con alto contenido de lisina, con ciertas excepciones, no parecen diferenciarse muy marcadamente en la fracción III.

En la tabla 8 se encuentra la composición aminoácida de la fracción IV. En esta fracción de elementos parecidos a la glutelina, el nivel encontrado de lisina fue más elevado, con una oscilación entre 1.4 y 2.9%. El nivel de triptófano en el W22 y en el opaco-7 fue de 0.3%. La histidina fue elevada en la fracción IV, oscilando entre 7.6 y 9.6%. Este nivel normalmente se encuentra en un grado de 3 a 4% tanto en el endosperma como en la semilla total; de tal manera que este hallazgo es anormal. El ácido aspártico se encontró muy bajo (de 2 a 2.4%). El ácido glutámico fue bastante elevado oscilando entre 21.6 y 30.0%; también la prolina se encontró muy elevada, oscilando entre 13.7 y 17.3%. Los contenidos de cistina y de metionina fueron relativamente bajos. También el nivel de leucina se encontró relativamente bajo, con una proporción de leucina a isoleucina de aproximadamente 3 a 1. La fenilalanina se encontró uniformemente baja, marcando desde 1.8 hasta 2.6%. En esta fracción también se encontraron diferencias que no tenían mucha importancia en la composición

TABLA 8 Composición de aminoácidos en la fracción IV[a]

Endocriado:	Oh43					W22	
Genotipo:	+	fl_2	o_2	bt_2	o_2bt_2	+	o_7
Lisina	1.8	1.8	2.9	1.7	1.7	1.4	2.2
Histidina	8.2	8.0	7.6	8.4	8.9	9.6	9.0
Arginina	3.0	3.3	5.7	4.0	6.2	3.3	3.4
Acido aspártico	2.7	3.3	4.0	2.6	2.6	2.2	2.3
Treonina	3.3	3.9	3.9	4.8	4.3	5.2	3.7
Serina	3.7	4.4	4.2	4.0	3.6	3.6	3.5
Acido glutámico	25.1	30.0	22.6	25.0	21.6	23.7	26.3
Prolina	13.7	14.5	13.9	16.8	17.3	17.4	16.3
Glicina	4.2	4.1	5.0	5.5	5.0	4.1	4.3
Alanina	4.1	3.8	4.4	4.2	4.5	3.9	4.0
Cistina	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1
Valina	5.2	5.2	5.8	6.0	6.5	6.0	5.8
Metionina	1.4	1.5	1.5	1.1	1.0	1.1	1.4
Isoleucina	2.4	2.4	2.8	2.5	2.5	2.3	2.4
Leucina	7.9	7.1	8.4	8.6	9.1	8.3	8.3
Tirosina	2.2	2.7	1.8	1.6	2.1	1.5	1.5
Fenilalanina	2.5	2.3	2.6	2.2	2.5	1.9	1.8
Ganancia total	93.5	98.4	97.2	99.1	99.6	95.5	96.3

[a] Niveles de aminoácidos como porcentaje del total de proteínas (N X 6.25).

TABLA 9 Composición de aminoácidos en la fracción V[a]

Endocriado:	Oh43					W22	
Genotipo:	+	fl_2	o_2	bt_2	o_2bt_2	+	o_7
Lisina	6.4	5.7	6.7	7.0	6.9	7.0	6.8
Histidina	3.6	2.8	4.8	3.9	3.7	3.8	3.3
Arginina	7.1	6.5	9.6	11.0	7.6	7.0	7.6
Acido aspártico	9.4	11.2	10.7	8.9	10.0	8.8	9.3
Treonina	5.2	5.4	5.7	4.6	5.6	4.2	5.2
Serina	4.8	5.8	5.4	4.9	5.5	3.5	4.8
Acido glutámico	15.2	19.5	15.7	17.1	15.5	13.0	14.4
Prolina	5.3	6.2	5.6	6.7	6.4	5.3	5.4
Glicina	5.1	5.6	5.5	5.4	5.8	5.0	4.9
Alanina	7.0	8.0	7.3	6.8	7.2	6.8	6.4
Cistina	0.2	0.1	0.0	0.8	0.1	0.5	0.0
Valina	7.0	7.4	7.4	7.2	7.7	7.1	6.8
Metionina	2.4	3.1	3.2	2.4	2.4	4.0	2.4
Isoleucina	5.0	5.1	5.5	4.9	5.2	4.9	4.9
Leucina	10.1	10.4	10.4	10.1	10.1	9.4	9.1
Tirosina	2.4	5.3	3.9	4.9	4.4	2.7	2.9
Fenilalanina	5.6	6.1	5.9	5.6	5.8	5.3	5.2
Ganancia total	101.8	114.2	113.3	112.2	109.9	98.3	99.4

[a] Niveles de aminoácidos como porcentaje del total de proteínas (N X 6.25).

TABLA 10 Variaciones en el contenido de aminoácidos en las fracciones I a V[a]

Fracción	I	II[b]	III	IV	V
Lisina	4.3- 6.3	0.1- 0.5	0.4- 0.8	1.4- 2.9	5.7- 7.0
Histidina	2.2- 3.3	1.0- 2.4	0.3- 8.0	7.6- 9.6	2.8- 4.8
Arginina	6.1-11.8	1.6- 5.2	2.2- 4.8	3.0- 6.2	6.5-11.0
Acido aspártico	7.4-11.1	5.8- 6.8	1.6- 5.2	2.2- 4.0	8.8-11.2
Treonina	3.5- 5.3	3.3- 4.2	3.5- 4.5	3.3- 5.2	4.2- 5.7
Serina	3.9- 5.8	5.7- 6.2	4.8- 6.3	3.5- 4.4	3.5- 5.8
Acido glutámico	9.2-18.5	30.3-33.3	25.7-31.8	21.6-20.0	13.0-19.5
Prolina	4.5- 7.4	10.4-11.2	12.4-17.2	13.7-17.4	5.3- 6.7
Glicina	5.8- 8.2	1.5- 1.9	2.8- 6.6	4.1- 5.5	4.9- 5.8
Alanina	5.8- 8.8	10.2-11.3	7.5-10.1	3.8- 4.5	6.4- 8.0
Cistina	0.1- 4.2	0.1- 0.7	0.2- 0.6	0.0- 0.1	0.0- 0.8
Valina	4.7- 6.8	3.7- 4.9	3.8- 5.6	5.2- 6.5	6.8- 7.7
Metionina	0.8- 3.0	1.7- 4.0	2.5- 9.2	1.0- 1.5	2.4- 4.0
Isoleucina	3.1- 4.6	4.3- 4.9	1.1- 3.5	2.3- 2.8	4.9- 5.5
Leucina	4.4- 6.4	19.6-21.1	10.5-17.7	7.1- 9.1	9.1-10.4
Tirosina	2.8- 4.5	5.4- 6.1	4.0- 6.9	1.5- 2.7	2.7- 5.3
Fenilalanina	2.4- 4.5	6.9- 8.3	4.2- 6.8	1.8- 2.6	5.2- 6.1

[a] Basada en los datos de las tablas 5 a 9. Niveles de aminoácidos como porcentaje del total de proteínas (N X 6.25).

[b] No se incluyen el opaco-2 ni el brillante-2.

aminoácida existente entre el duplicado normal y los mutantes con un alto contenido en licina.

En la tabla 9 se muestra la composición aminoácida de la fracción V. Esta es la fracción de glutelina verdadera y es obvio que el contenido de lisina de esta fracción fue mayor, oscilando entre 5.7 y 7.0%. También el triptófano encontrado fue elevado. En las series de Oh43 el duplicado normal contenía 1.8% de triptófano; el opaco-2 contenía 1.5%; el harinoso-2 contenía 1.7%; el opaco-2/harinoso-2 contenía 1.6%; el brilloso-2 contenía 1.5%; mientras que el opaco-2/brilloso-2 contenía 1.8%.

Si el fitomejorador puede modificar en alguna forma la síntesis en los endospermas de maíz, de tal manera que sólo se produzca la fracción V, entonces se encontrará en disposición de crear un grano de cereal que contenga un modelo ideal de aminoácido.

En la tabla 10 se muestran las tasas de los niveles aminoácidos en las cinco fracciones. La lisina se encuentra elevada en las fracciones I y V, la histidina es elevada en la fracción IV, la leucina y la alanina son elevadas en la fracción II, la metionina es elevada en la fracción III mientras que el ácido glutámico al igual que la prolina son elevadas en las fracciones II, III y IV; la lisina y la glicina son bajas en la fracción II, la leucina es baja en la fracción I mientras que la fenilalanina y la tirosina son bajas en la fracción IV.

SUMARIO

El análisis de los aminoácidos en los endospermas de 3 mutantes harinosos y de 6 mutantes endospérmicos con un contenido fecular modificado, mostraron grandes diferencias en los modelos aminoácidos comparados con los duplicados isogénicos normales. Se obtuvieron los niveles más altos tanto de lisina como de triptófano por medio de la combinación del gene opaco-2 con cualquier otro de los siguientes genes: brilloso-1, brilloso-2, rugoso-1, rugoso-2, rugoso-4 y azucarado-1. Los datos de fraccionamiento proteínico muestran que la síntesis de zeína (con los seis mutantes dobles recién enumerados) en el endosperma se ha suprimido total o casi totalmente.

Los modelos aminoácidos que se encuentran en las 5 fracciones de Landry-Moureaux difieren marcadamente entre sí. Una mejora en la calidad proteínica del endosperma se encontró relacionada a las elevaciones que se operaron en las fracciones I y V, al igual que a los descensos observados en la fracción II. La composición aminoácida en estas fracciones de los duplicados normales fue bastante similar a las encontradas en los mutantes, sugiriendo que las mutaciones mencionadas no producen proteínas nuevas o raras, pero también sugiere que las dichas mutaciones son responsables de los cambios en proporción a las diversas fracciones.

Journal Paper No. 5161, Estación de Experimentos Agrícolas de la Universidad Purdue. Estas investigaciones fueron patrocinadas por la U.S. Agency for International Development bajo la protección de la AID/Csd-2809, en titulada "Herencia y mejoramiento del contenido y de la calidad proteínica del maíz".

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia)

BIBLIOGRAFIA

1. Landry, J. y T. Moureaux. 1970. Heterogenity of the gluteins of the grain of corn: selective extraction and composition in amino acids of the three isolated fractions. Bull. Soc. Chim. Biol., 52:1021.
2. Mertz, E.T., O. E. Nelson, L. S. Bates, y O. A. Veron. 1966. Better protein quality in maize. Advan. Chem. Cer. 57:228.
3. Misra, P. S., R. Jambunathan, E. T. Mertz, D. V. Glovar, H. M. Barbosa, y K. S. McWhirter. 1972. Endosperm protein synthesis in high-lysine maize mutants. Science, 176:1425.

USO DE ANIMALES PEQUEÑOS PARA LA EVALUACION DE LA CALIDAD PROTEINICA DE LOS CEREALES

E. T. Mertz*
R. Jambunathan*
E. Villegas**
R. Bauer**
C. Kies***
J. McGinnis****
J. S. Shenk*****

En su reunión anual de planeamiento, que se efectuó en 1972, los equipos de investigación del maíz de Purdue y de CIMMYT sugirieron que se enviaran grupos de muestras representativas de maíz, trigo, triticales y sorgo, a las universidades que cooperan en el proyecto, donde serían estudiadas a fin de observar la respuesta eficiente de proteínas en diversas especies de pequeños animales de laboratorio. Para este trabajo, CIMMYT proporcionó los maíces opaco-2 con endosperma tanto de tipo duro como de tipo suave, y también proporcionó muestras representativas de trigo y de triticales. La Universidad Purdue proporcionó sorgo y maíz harinoso-2. Las muestras se prepararon en

*Departamento de Bioquímica, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.
**Laboratorio de Calidad Proteínica, CIMMYT, México.
*** Departamento de Nutrición y Alimentos, Universidad de Nebraska, Lincoln, Nebraska.
**** Departamento de Ciencias Animales, Universidad Estatal de Washington, Pullman, Washington.
***** Departamento de Agronomía, Universidad Estatal de Pensilvania, University Park, Pensilvania.

forma estándar y se distribuyeron entre los laboratorios que cooperan en esta investigación. Con muestras idénticas de cereal y de la caseína estándar, se alimentaron ratas pequeñas recién destetadas (Purdue), ratones de campo recién destetados (CIMMYT y Universidad Estatal de Pensilvania), ratones recién destetados (Universidad de Nebraska) y pollos (Universidad Estatal de Washington). E.T. Mertz fue el coordinador en dicho proyecto.

En la tabla 1 se pueden observar dichas muestras cooperativas compuestas: 10 muestras de cereal proporcionadas por CIMMYT y 5 muestras de cereal proporcionadas por Purdue que fueron estudiadas exhaustivamente en rebabas de molino tanto en CIMMYT como en Purdue respectivamente. Todas las muestras fueron analizadas en duplicado por los laboratorios químicos estatales de Purdue con el propósito de corroborar el contenido total de nitrógeno, humedad, grasas, fibrosidad y cenizas. En la tabla 2 se muestran los resultados de estos análisis. El contenido de humedad en las muestras osciló desde un 4.8% en la caseína hasta un 8.9% en la muestra CM-4854. El contenido total de proteína osciló desde un 9.3% en el Oh43 X B14 (harinoso-2) hasta un elevado 91.0% en la caseína del Animal Nutrition Research Council (ANRC). El contenido grasoso osciló desde 0% en la caseína hasta 4.6% en la muestra CM-4855. El contenido fibroso osciló desde 0% hasta 2.9% en la muestra CW-4859. El contenido de ceniza, desde 0.8% en la muestra CM-5844 hasta 2.3% en la caseína, esto se observó en dos muestras de triticales y en una muestra de sorgo.

En base a estos análisis: (1) el contenido total de grasas en la dieta se especificó a 5%, (2) el contenido mineral total más el contenido de cenizas se

TABLA 1 Identificación de muestras de cereales compuestos

Muestra	*Identificación*
CM-4854	CIMMYT Veracruz 181, Antigua
	Gpo. 2x Venezuela 1, maíz normal
CM-4855	CIMMYT Veracruz 181, Antigua
	Gpo. 2x Venezuela 1, maíz opaco-2 (duro)
CM-4856	CIMMYT Veracruz 181, Antigua
	Gpo. 2x Venezuela 1, maíz opaco-2 (suave)
CM-4857	CIMMYT Tuxpeño, maíz opaco-2 (suave)
CM-4858	CIMMYT Tuxpeño, maíz normal (duro)
CM-4859	CIMMYT 7 Cerros, trigo
CW-4860	CIMMYT INIA, trigo
CT-4861	CIMMYT PM-132, triticale
CT-4862	CIMMYT PM-2, triticale
CT-4863	CIMMYT PM-15, triticale
Oh43 X B14(+)	Purdue, maíz normal de cruza simple
Oh43 X B14(harinoso-2)	Purdue, versión harinoso-2 casi isogénica de Oh 43 X B 14
IS-8165	Purdue, sorgo pigmentado
IS 2319	Purdue, sorgo de baja pigmentación
IS-0250421	Purdue, sorgo de baja pigmentación
ANRC caseína	Purdue, la caseína[a] se obtuvo de Animal Nutrition Research Council

[a] Sheffield Chemical Co., Union, N.J.

TABLA 2 Análisis aproximado de los cereales de CIMMYT y Purdue

Muestra	*N total*	*Proteína*[a]	*Humedad*	*Grasa*	*Fibra*	*Ceniza*
CM-4854	1.62	10.1	8.9	3.7	2.3	0.8
CM-4855	1.62	10.1	8.5	4.6	2.2	1.5
CM-4856	1.50	9.4	8.7	4.2	2.3	1.4
CM-4857	1.55	9.7	8.0	4.4	2.5	1.8
CM-4858	1.54	9.6	7.9	4.2	2.3	1.4
Oh43 X B14(+)	1.52	9.5	8.5	4.1	2.5	1.1
Oh43 X B14 (harinoso-2)	1.49	9.3	8.5	4.2	2.4	1.7
CW-4859	1.95	11.1	5.9	1.5	2.9	1.6
CW-4860	1.98	11.3	6.7	1.4	2.6	1.3
CT-4861	2.56	14.6	6.4	1.6	2.6	1.9
CT-4862	2.60	14.8	7.3	1.9	2.7	2.3
CT-4863	2.74	15.6	5.9	1.6	2.5	2.3
IS-8165	1.57	9.8	8.5	2.7	2.5	1.8
IS-2319	1.87	11.7	6.7	4.3	2.0	1.7
IS-0250421	1.86	11.6	6.4	3.0	2.3	2.3
ANRC caseína	14.60	91.0	4.8	–	–	2.3

Fuente: State Chemist Laboratories, Universidad Purdue, Lafayette, Ind.
[a] Maíz, sorgo y caseína: N X 6.25; trigo y triticales: N X 5.7.

especificó en 5%, (3) no se hicieron correcciones para la humedad y (4) el contenido fibroso se ajustó en un grado de 2.0 a 2.9%. Con estos parámetros fijos, la muestra de harinoso-2 estableció el nivel máximo de proteínas al cual todas las muestras deben de ser consideradas como alimenticias: un nivel de 8.8% de proteínas, el cual es ligeramente inferior al nivel de 10% de proteínas que se usa normalmente para determinar la razón de eficiencia proteínica (REP). En la tabla 3 se muestra la composición de las dietas usadas en las pruebas de alimentación en ratas y ratones.

En la tabla 4 se encuentran los valores de aminoácidos obtenidos en Purdue sobre las muestras de maíz compuesto y sobre la caseína ANRC que fueron usadas en estos estudios. Los valores que se encuentran en la tabla 4 concuerdan razonablemente con los valores obtenidos por Villegas en CIMMYT con muestras idénticas (los datos de CIMMYT se encuentran entre paréntesis). Los valores proporcionados por Purdue serán expuestos en esta sección. La muestra del harinoso-2 tenía un contenido de lisina de solamente un 11% más elevado que el contenido de las muestras normales. Los endospermas tanto duro como suave del CM-4855 y del CM-4856 no difirieron significativamente en su contenido de lisina. Los niveles de triptófano en las selecciones normales marcaron de 0.5 a 0.7%, la selección de harinoso-2 contenía 0.7%, y las selecciones de opaco-2 variaron de 0.9 a 1.0%. La caseína tenía un nivel de lisina anormalmente elevado (8.6%) y un elevado nivel de triptófano (1.4%). La tabla 4 muestra que el grado de los niveles de leucina descendió sustancialmente en las selecciones de opaco-2. El contenido proteínico en las selecciones de maíz varió desde 10.1 hasta 11.0%.

TABLA 3 Dietas propuestas con contenido de 8.8% de proteína

Muestra	*Muestra* (%)	*Aceite de semilla de algodón* (%)	*Mezcla mineral*[a] (%)	*Mezcla de vitaminas*[b] (%)	*Almidón de maíz* (%)
CM-4854	87.0	1.8	4.3	1.0	5.9
CM-4855	87.0	1.0	3.7	1.0	7.3
CM-4856	93.5	1.1	3.7	1.0	0.7
CM-4857	90.8	1.0	3.4	1.0	3.8
CM-4858	91.7	1.2	3.7	1.0	2.4
Oh43(+)	92.5	1.2	4.0	1.0	1.3
Oh43 (harinoso-2)	94.6	1.0	3.4	1.0	0.0
CW-4859	79.3	3.8	3.7	1.0	12.2
CW-4860	77.8	3.9	4.0	1.0	13.3
CT-4861[c]	60.2	4.0	3.9	1.0	30.4
CT-4862[c]	59.4	3.9	3.6	1.0	31.6
CT-4863[c]	56.4	4.1	3.7	1.0	34.3
IS-8165	90.0	2.6	3.4	1.0	3.5
IS-2319[c]	75.2	1.8	3.7	1.0	17.8
IS-0250421[c]	75.8	2.7	3.3	1.0	16.7
ANRC caseína[c]	9.7	5.0	4.8	1.0	77.5

[a] Mezcla de sales número 3 Hawk-Oser, Nutritional Biochemicals Corp. Cleveland, Ohio.
[b] Mezcla de fortificación vitamínica para la rata, Número en Catálogo 40060, General Biochemicals Corp., Chagrin Falls, Ohio.
[c] Añadir 2% de celulosa (Cellu Flour o equivalente) para la muestra de caseína y 0.5% para las muestras de triticales y sorgo.

La tabla 5 muestra los niveles de aminoácidos encontrados en las muestras compuestas de sorgo, trigo y triticales. La muestra de sorgo IS-8165 es una variedad altamente pigmentada con un contenido de lisina apenas menor que el observado en las otras dos selecciones de sorgo. Los valores de triptófano obtenidos para el sorgo se obtuvieron por medio de un método calorimétrico. Los valores son uniformemente bajos. Otro método, el cual comprende hidrólisis y un análisis de intercambio iónico, se empleó para demostrar que los valores de triptófano eran superiores al 1% en la mayoría de las selecciones de sorgo, de tal manera que el triptófano no es un aminoácido exclusivo de la proteína del sorgo. La tabla 5 también muestra que los valores de lisina se encontraban ligeramente más elevados en las muestras de triticales que en las muestras de trigo. Los niveles de triptófano se encontraron bastante elevados en trigo y únicamente a niveles satisfactorios en triticales. El grado de leucina era bajo y la proporción leucina-isoleucina era bajo y favorable en el trigo, así como en los triticales. Esto contrasta profundamente con la proporción leucina-isoleucina del sorgo (aproximadamente 3 a 1). Se ha creído que el alto nivel de leucina en el sorgo es causante de la elevada incidencia de pelagra que se presenta en ciertas partes de la India, en las cuales la mayor parte de la toma de proteínas se logra con suministros de sorgo. El nivel proteínico en estos ejemplos varía desde un bajo

TABLA 4 Composición de aminoácidos en muestras compuestas de maíz[a]

	CM-4854 *normal*		*Oh43 X B14* *normal*		*CM-4858* *normal*		*Oh43 X B14* *harinoso-2*		*CM-4855* *opaco-2 (duro)*		*CM-4856* *opaco-2 (suave)*		*CM-4857* *opaco-2 (suave)*		*ANRC* *caseína*	
Lisina	2.6	(2.5)	3.0	(2.3)	2.7	(2.5)	3.4	(3.0)	4.5	(4.0)	4.4	(3.7)	4.7	(4.1)	8.6	(8.3)
Triptófano[b]	0.6	(0.6)	0.7	(0.6)	0.5	(0.7)	0.7	(0.7)	0.9	(1.0)	1.0	(0.9)	1.0	(1.0)	1.4	(1.4)
Isoleucina	3.5	(3.1)	3.6	(3.2)	3.5	(2.9)	3.7	(2.7)	3.5	(2.5)	3.5	(2.1)	3.5	(2.1)	5.2	(4.3)
Leucina	12.7	(13.6)	12.8	(13.9)	13.2	(13.4)	12.3	(11.7)	9.1	(7.8)	8.7	(7.1)	8.6	(7.2)	9.7	(8.9)
Cistina	1.6	(–)	1.9	(–)	1.6	(–)	1.4	(–)	2.2	(–)	1.9	(–)	2.1	(–)	0.1	(–)
Metionina	2.0	(–)	2.7	(–)	2.1	(–)	2.7	(–)	1.7	(–)	1.8	(–)	1.9	(–)	3.0	(–)
Histidina	3.1	(2.9)	2.9	(2.4)	3.1	(2.7)	2.9	(2.4)	3.7	(2.4)	3.6	(2.6)	3.6	(2.9)	3.0	(2.6)
Arginina	4.8	(4.1)	5.1	(4.5)	4.8	(4.1)	5.5	(5.6)	6.3	(6.0)	6.7	(5.1)	7.3	(5.7)	4.0	(3.5)
Tirosina	4.3	(3.1)	4.5	(4.0)	4.4	(3.3)	4.4	(4.0)	3.7	(2.5)	3.7	(2.4)	3.9	(2.6)	5.7	(5.6)
Fenilalanina	4.8	(4.4)	5.1	(4.9)	5.0	(4.1)	5.2	(4.7)	5.2	(3.3)	4.1	(2.9)	4.3	(3.5)	5.3	(4.9)
Treonina	3.3	(3.3)	3.4	(3.4)	3.4	(3.4)	3.5	(3.2)	3.6	(3.3)	3.7	(3.3)	3.9	(3.5)	4.2	(4.2)
Valina	4.7	(4.5)	4.7	(4.4)	4.9	(4.7)	5.0	(3.8)	5.4	(4.5)	5.3	(3.6)	5.4	(3.8)	6.7	(6.2)
Acido aspártico	5.8	(7.0)	6.5	(6.9)	6.2	(7.5)	6.9	(6.8)	8.7	(8.7)	8.9	(8.5)	9.9	(9.1)	7.2	(7.2)
Acido glutámico	22.5	(23.4)	22.6	(22.3)	23.1	(23.7)	22.1	(19.7)	19.8	(17.5)	19.2	(15.9)	20.3	(17.0)	27.1	(23.6)
Prolina	8.9	(8.7)	8.7	(11.5)	9.0	(8.7)	8.5	(9.9)	8.4	(6.8)	8.1	(6.5)	8.0	(6.6)	11.3	(11.7)
Alanina	7.3	(7.7)	7.5	(7.6)	7.7	(8.4)	7.7	(6.9)	6.0	(5.4)	5.9	(5.2)	6.4	(5.6)	3.1	(2.9)
Serina	4.6	(5.1)	4.8	(5.3)	4.6	(5.4)	4.9	(5.5)	4.3	(4.7)	4.5	(4.1)	4.6	(4.3)	5.7	(5.9)
Glicina	3.5	(3.5)	3.7	(3.7)	3.6	(3.6)	4.0	(3.7)	4.6	(4.3)	4.6	(4.0)	4.9	(4.2)	1.9	(1.7)
% de proteína	11.0	(10.5)	10.2	(9.5)	10.5	(10.1)	10.4	(9.6)	10.9	(10.7)	10.7	(11.1)	10.1	(10.2)	88.1	(89.4)

[a] Gramos por 100 g de proteína (valores del CIMMYT entre paréntesis).

[b] Método colorimétrico (Folleto No. 20, CIMMYT), todos los demás, intercambio de iones. Las muestras del CIMMYT no se desgrasaron; las de Purdue sí.

TABLA 5 Composición de aminoácidos en muestras compuestas de sorgo, trigo y triticale[a]

	Sorgo IS-8165		*Sorgo IS-0250421*		*Sorgo IS-2319*		*Trigo 7 Cerros*		*Trigo INIA*		*Triticale PM-2*		*Triticale PM-15*		*Triticale PM-132*		*ANRC caseína*	
Lisina	2.3	(2.2)	2.5	(2.2)	2.5	(2.3)	3.1	(3.1)	3.1	(2.8)	3.4	(3.0)	3.4	(3.4)	3.5	(3.6)	8.6	(8.3)
Triptófano	(0.3)[b]	(–)	(0.6)	(–)	(0.5)	(–)	1.7	(1.6)	1.8	(1.6)	1.1	(1.0)	1.1	(1.1)	1.2	(1.1)	1.4	(1.4)
Isoleucina	4.2	(3.7)	4.7	(3.8)	4.3	(2.6)	3.8	(2.3)	3.9	(2.7)	3.9	(3.2)	3.7	(2.3)	3.8	(2.8)	5.2	(4.3)
Leucina	13.7	(13.9)	15.0	(15.5)	13.9	(13.8)	7.2	(7.2)	7.2	(7.2)	7.2	(6.7)	6.8	(7.0)	6.8	(7.0)	9.7	(8.9)
Cistina	1.0	(–)	1.6	(–)	1.0	(–)	2.0	(–)	2.2	(–)	1.8	(–)	2.0	(–)	1.5	(–)	0.1	(–)
Metionina	1.8	(–)	2.1	(–)	1.6	(–)	1.8	(–)	1.9	(–)	1.9	(–)	1.9	(–)	1.6	(–)	3.0	(–)
Histidina	2.1	(1.9)	2.5	(2.4)	2.1	(1.9)	2.5	(2.3)	2.6	(2.2)	2.6	(2.0)	2.4	(2.2)	2.5	(2.2)	3.0	(2.6)
Arginina	4.1	(3.8)	4.3	(3.4)	4.1	(4.6)	5.8	(5.3)	5.6	(5.0)	6.1	(4.7)	6.4	(5.9)	6.3	(5.8)	4.0	(3.5)
Tirosina	4.4	(4.1)	5.1	(4.2)	4.9	(4.0)	3.6	(2.9)	3.7	(2.9)	3.4	(1.8)	3.3	(2.8)	3.2	(2.1)	5.7	(5.6)
Fenilalanina	5.3	(5.4)	6.1	(5.2)	5.5	(4.8)	4.8	(3.7)	4.9	(3.8)	5.0	(3.7)	4.9	(4.7)	4.8	(4.0)	5.3	(4.9)
Treonina	3.2	(3.2)	3.7	(3.7)	3.3	(3.1)	3.1	(3.4)	3.2	(3.0)	3.2	(2.7)	3.0	(3.0)	3.0	(2.7)	4.2	(4.2)
Valina	5.1	(5.4)	5.9	(5.0)	5.5	(4.0)	4.7	(3.2)	4.8	(3.7)	4.9	(4.2)	4.6	(3.2)	4.6	(3.8)	6.7	(6.2)
Acido aspártico	7.3	(7.4)	7.4	(7.6)	7.5	(8.1)	5.5	(6.0)	5.6	(5.7)	6.5	(5.9)	6.3	(7.6)	6.3	(5.9)	7.2	(7.2)
Acido glutámico	25.6	(23.9)	27.4	(25.1)	25.7	(26.3)	36.0	(38.0)	37.0	(37.1)	33.4	(28.9)	32.4	(34.9)	31.9	(28.9)	27.1	(23.6)
Prolina	7.9	(8.2)	9.1	(10.3)	8.0	(9.8)	9.9	(9.4)	10.0	(9.4)	9.9	(7.7)	10.0	(9.7)	9.8	(8.8)	11.3	(11.7)
Alanina	9.9	(9.6)	10.3	(11.3)	9.7	(9.9)	3.9	(3.9)	3.9	(3.6)	4.2	(3.6)	4.0	(4.4)	4.0	(3.2)	3.1	(2.9)
Serina	4.4	(4.7)	4.9	(5.6)	4.3	(5.4)	5.0	(5.6)	4.9	(5.3)	4.6	(4.0)	4.5	(5.6)	4.4	(4.8)	5.7	(5.9)
Glicina	3.0	(3.0)	3.6	(3.5)	3.1	(3.2)	4.6	(4.8)	4.6	(4.5)	4.5	(4.0)	4.3	(4.8)	4.2	(4.2)	1.9	(1.7)
% de proteína	10.3	(9.6)	12.2	(11.5)	12.7	(11.2)	11.0	(11.1)	11.5	(11.5)	14.9	(16.5)	15.7	(15.0)	14.8	(14.8)	88.1	(89.4)

[a] Gramos por 100 g de proteína (valores del CIMMYT entre paréntesis).

b Método colorimétrico (Folleto No. 20, CIMMYT). Todos los demás, intercambio de iones. Las muestras del CIMMYT no se desgrasaron; las de Purdue sí.

TABLA 6 Valores de razón de eficiencia proteínica en muestras compuestas de maíz[1]

	CM-4854 normal	*Oh43 X B14 normal*	*CM-4858 normal*	*Oh43 X B14 harinoso-2*	*CM-4855 opaco-2 (duro)*	*CM-4856 opaco-2 (suave)*	*CM-4857 opaco-2 (suave)*	*ANRC caseína*
Peso inicial promedio (g)	49.6	49.6	49.6	49.5	49.6	49.5	49.6	49.5
Peso promedio ganado (g)	25.8[b]	31.4[b]	32.6[b]	36.9[b]	82.7[a]	87.1[a]	84.4[a]	85.1[a]
Alimento promedio total consumido (g)	183.7[c]	206.1[c]	214.5[c]	227.3[c]	333.5[b,a]	340.2[a]	336.0[a]	290.2[b]
Razón de eficiencia proteínica	1.59[c]	1.71[c]	1.72[c]	1.83[c]	2.82[b]	2.90[b]	2.84[b]	3.34[a]

Fuente: Datos obtenidos por R. Jambunathan y E. T. Mertz, con la asistencia técnica de L. Tanchoco, Depto. de Bioquímica, Universidad Purdue, Lafayette, Ind.

[1] Duración del experimento: 28 días; 10 ratas machos en cada grupo. Los valores con el mismo superescrito no difieren significativamente entre sí al nivel del 1%.

10.3% en el sorgo y S-8165 hasta un elevado 15.7% en el tritical PM-15. En los exámenes alimenticios el nivel proteínico se ajustó en todos los casos a un 8.8% de la dieta total (ver tabla 3).

PRUEBAS DE ALIMENTACION EN RATAS

En la tabla 6 se sintetizan los resultados obtenidos en Purdue cuando se usaron las muestras de maíz enviadas para alimentar ratas durante 28 días. En estos estudios, para cada cereal se usaron 10 ratas hembras destetadas. Las ratas se encerraron en jaulas individuales con malla y se alimentaron con comida sólida y agua *ad libitum.* Se emplearon recipientes alimenticios especiales, gracias a los cuales se disminuyó la dispersión de la comida y permitieron un registro más exacto del alimento consumido. La tabla 6 muestra que no se encontraron diferencias importantes en la tasa de peso ganada entre las tres muestras de maíz normal y la muestra de harinoso-2 (de 25.8 a 36.9 g). Tampoco se observaron diferencias notables en el porcentaje de peso ganado entre las tres muestras de maíz opaco-2 y el controlado con caseína (82.7 a 87.1 g). Las ganancias obtenidas en los pesos de estos últimos cuatro grupos tuvieron un nivel significativamente más alto que las ganancias de peso obtenidas en los primeros cuatro grupos. Estas tres dietas de maíz normal y la dieta que contiene harinoso-2 muestran una REP que no es específicamente diferente a un nivel de 1% (1.59 a 1.83). Las tres dietas que contienen maíz opaco-2 también mostraron una REP que no fue muy diferente al nivel de 1% (2.83 a 2.90). No obstante, las dietas que contienen maíz opaco-2 presentaron valores REP significativamente más elevados que los valores que presentaron las tres dietas que contenían maíz normal y la dieta que contenía maíz harinoso-2. Se encontraron grandes diferencias en el valor REP que existe entre las tres dietas de maíz opaco-2 y la dieta controlada con caseína. Las dietas que contienen maíz opaco-2 mostraron una tasa REP que consistía en el 87% del valor REP (3.34) obtenido con la caseína ANRC.

En la tabla 7 se sintetizan las ganancias de peso así como los valores REP obtenidos en los estudios de las muestras compuestas de sorgo, trigo y triticales. Esta fue una prueba de alimentación hecha por separado, con una duración de 28 días, usando caseína ANS como una proteína de control. El porcentaje total de peso por animal, logrado gracias al sorgo IS-8165 fue sustancialmente menor que el logrado con el sorgo IS-2319. No obstante, las diferencias en ganancia de peso logradas con los tres sorgos no fueron muy notables para el nivel de 1%. El porcentaje de peso total logrado con el sorgo IS-2319 y con las dos muestras de trigo no difirieron en forma importante. Sin embargo, las tres muestras de triticales fueron significativamente mejores que las tres muestras de sorgo: y los triticales PM-15 y PM-132 fueron significativamente mejores que las dos muestras de trigo. La muestra de triticale PM-2 no fue significativamente mejor que las dos muestras de trigo. El peso logrado con la caseína de control fue de más de dos veces el doble que lo observado en las mejores muestras de triticales, y fue significativamente más elevado que cualquiera otra muestra de grano de cereal de las que se enlistan en la tabla 7.

TABLA 7 Valores de razón de eficiencia proteínica en muestras compuestas de sorgo, trigo y triticale[1]

	Sorgo IS-8165	*Sorgo IS-0250421*	*Sorgo IS-2319*	*Trigo 7 Cerros*	*Trigo INIA*	*Triticale PM-2*	*Triticale PM-15*	*Triticale PM-132*	*ANRC caseína*
Peso inicial promedio (g)	50.6	50.6	50.6	50.6	50.5	50.5	50.6	50.4	50.6
Peso promedio ganado (g)	11.6^{e}	14.4^{e}	$19.6^{d,e}$	$27.0^{c,d}$	$26.7^{c,d}$	$32.7^{b,c}$	38.5^{b}	37.8^{b}	89.6^{a}
Alimento promedio total consumido (g)	$181^{c,d}$	165.2^{d}	171.6^{d}	$193.9^{b,c,d}$	$182.4^{c,d}$	$202.1^{b,c}$	221.9^{b}	213.3^{b}	314.2^{a}
Razón de eficiencia proteínica	0.71^{f}	$0.97^{e,f}$	$1.28^{d,e}$	$1.57^{c,d}$	$1.66^{b,c}$	$1.81^{b,c}$	1.97^{b}	2.01^{b}	3.22^{a}

Fuente: Datos obtenidos por R. Jambunathan y E. T. Mertz, con la asistencia técnica de L. Tanchoco, Depto. de Bioquímica, Universidad Purdue, Lafayette, Ind.

[1] Duración del experimento: 28 días; 10 ratas machos en cada grupo. Los valores con el mismo superescrito no difieren significativamente entre sí al nivel del 1%.

Los valores REP muestran que el REP de la muestra de sorgo con una elevada pigmentación es sensiblemente más bajo que el que se encuentra en el sorgo IS-2319 (0.71 versus 1.28). Los valores REP que se encontraron en las tres muestras de triticales y el de la muestra de trigo INIA fueron notablemente más elevados que los valores REP de las tres muestras de sorgo y que la muestra de trigo de Siete Cerros. Las dos muestras de trigo no difirieron mucho, y no se presentaron diferencias importantes entre las tres muestras de triticales. El valor REP más elevado en este grupo de cereal fue de 2.01 (PM-132), el cual fue notablemente más bajo que el valor REP de la caseína de control, el cual era de 3.22. En suma, el porcentaje de valor REP en los triticales fue de aproximadamente 62% del controlado con caseína. El de las muestras de trigo fue de aproximadamente 52% (lo cual es aproximadamente igual al encontrado en el maíz normal que se presenta en la tabla 6), y las de sorgo variaron de un 25 a un 40% del de control con caseína.

La figura 1 muestra las variaciones REP en animales individuales con dietas que contenían maíz, trigo, triticales y caseína. Las líneas continuas representan 28 días y las líneas salteadas representan 14 días de alimentación con las dietas mencionadas. Estos porcentajes tienden a disminuir en movimiento de las dietas de 14 a 28 días, sugiriendo que se obtuvo una variabilidad más baja entre los animales tal y como si estos animales se hubieran ajustado a la dieta. No obstante, el maíz opaco-2 fue completamente distinto del maíz normal y del maíz harinoso-2. En la tabla 8 se representan los pesos ganados y los REP de las muestras cooperativas de maíz después de transcurridos 14 días. Las tres dietas

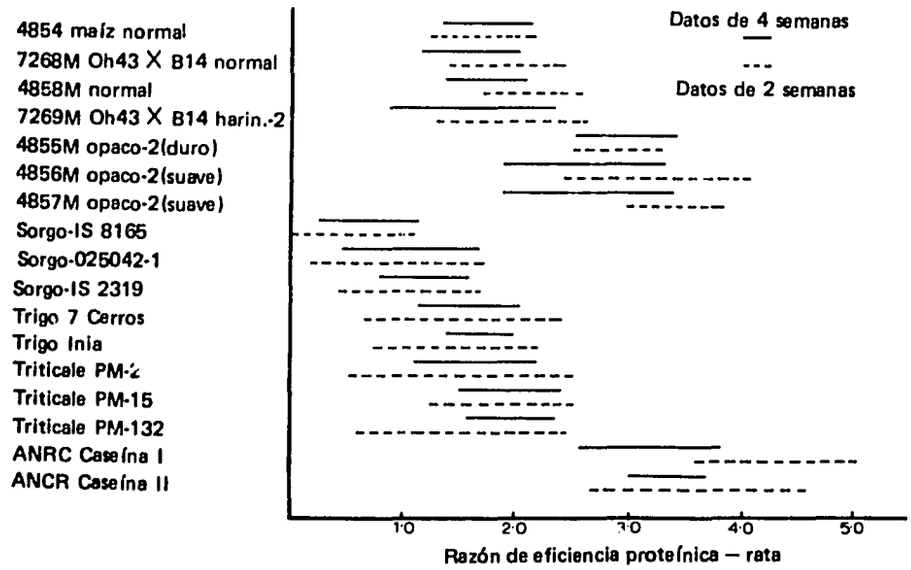


FIGURA 1 Intervalos de razón de eficiencia proteínica en ratas alimentadas con muestras de cereales compuestos. Cada línea o intervalo representa datos de 10 ratas.

con maíz opaco-2 fueron notablemente más elevadas con respecto al porcentaje de peso ganado que las tres dietas con maíz normal y que la dieta con un maíz harinoso-2. Sin embargo, después de transcurridos 14 días las tres dietas que contenían opaco-2 redituaron ganancias sensiblemente menores que las redituadas por la dieta de caseína. Las mismas diferencias se observaron en los REP. Después de 14 días el valor REP para la caseína ANRC se encontraba anormalmente elevado, pero al término de 28 días descendió un punto. La elevación anormal en el valor REP para la caseína observada después de 14 días es inexplicable.

En la tabla 9 se muestran los pesos totales ganados así como los valores REP obtenidos con las muestras compuestas de sorgo, trigo y triticales después de 14 días. El porcentaje de pesos ganados con las dietas de sorgo se encontró sinificativamente más bajo que en los porcentajes de pesos ganados con las tres dietas de triticales. Todas las dietas con cereal mostraron ganancias significativamente más bajas que las de las dietas con caseína ANRC. Los REP de las tres dietas con sorgo se encontraron significativamente más bajos que los REP de las tres dietas con triticales. Una vez más, la dieta con sorgo IS-8165 se encontró significativamente más baja en REP que lo que se encontró en la dieta con sorgo IS-2319. Todas las dietas que contenían cereal presentaron valores REP sensiblemente más bajos que los valores de la dieta con caseína. Las mejores muestras de cereal, las muestras de triticales, contaron valores REP que venían a ser apenas el 52% del valor de la caseína ANRC.

En la tabla 10 se muestra el peso ganado y el REP obtenido con las dietas de maíz compuesto después de haber transcurrido una semana de alimentación. Las tres dietas de maíz normal y la dieta de un maíz harinoso-2 muestran un porcentaje similar en los pesos ganados. Estas ganancias fueron notablemente más bajas que el porcentaje de pesos ganados con las dietas que contenían opaco-2, el cual a su vez no fue notablemente diferente de las controladas con caseína ANRC. Los REP de las tres dietas con maíz normal y la dieta con un maíz harinoso-2 no difirieron sustancialmente; sin embargo, sus valores REP fueron sensiblemente más bajos que los valores REP obtenidos con las tres dietas de maíz opaco-2 y la dieta de caseína ANRC. Al final de la primera semana, los controlados con caseína ANRC presentaron una elevación numérica en el valor REP, pero la diferencia entre ésta y los valores para las muestras de opaco-2 no fueron sustanciales al nivel de 1%. El porcentaje de valor REP obtenido con las tres muestras de opaco-2 fue de 85% del control con caseína ANRC al final de 7 días, comparado con un 87% al término de 28 días.

En la tabla 11 se muestran los pesos ganados así como los REP de las ratas alimentadas con las muestras compuestas de sorgo, trigo y triticales al término de una semana. En esta tabla, los valores que tienen el mismo superescrito no son notablemente diferentes a un nivel de 5%. Al término de una semana, la muestra IS-8165 proporcionó una ganancia de peso que fue notablemente más baja que las ganancias obtenidas con las tres muestras de triticales y las dos muestras de trigo. Las ganancias netas de peso obtenidas con las otras dos muestras de sorgo no difirieron sustancialmente de las dos muestras de trigo y de las dos muestras de triticales. Todas las muestras de cereal estudiadas presentaron ganancias de peso que fueron sustancialmente más bajas que las logradas con el control de caseína ANRC. Los valores REP de las tres muestras de triticales y de las dos

TABLA 8 Valores de razón de eficiencia proteínica en muestras compuestas de maíz[1]

	CM-4854 normal	*Oh43 X B14 normal*	*CM-4858 normal*	*Oh43 X B14 harinoso-2*	*CM-4855 opaco-2 (duro)*	*CM-4856 opaco-2 (suave)*	*CM-4857 opaco-2 (suave)*	*ANRC caseína*
Peso promedio ganado (g)	12.4^{c}	16.6^{c}	17.3^{c}	18.5^{c}	33^{b}	37.5^{b}	38.3^{b}	46.9^{a}
Alimento pron. lio total consumido	83.8^{b}	91.3^{b}	94.4^{b}	94.7^{b}	127.3^{a}	129.2^{a}	133.9^{a}	120.1^{a}
Razón de eficiencia proteínica	1.67^{d}	$2.06^{c,d}$	$2.07^{c,d}$	2.21^{c}	2.96^{b}	3.31^{b}	3.25^{b}	4.38^{a}

Fuente: Datos obtenidos por R. Jambunathan y E. T. Mertz, con la asistencia técnica de L. Tanchoco, Depto. de Bioquímica, Universidad Purdue, Lafayette, Ind.

[1] Duración del experimento: 14 días; 10 ratas machos en cada grupo. Los mismos animales de la tabla 6. Los valores con el mismo superescrito no difieren significativamente entre sí al nivel del 1%.

TABLA 9 Valores de razón de eficiencia proteínica en muestras compuestas de sorgo, trigo y triticale[1]

	Sorgo IS-8165	*Sorgo IS-0250421*	*Sorgo IS-2319*	*Trigo INIA*	*Trigo 7 Cerros*	*Triticale PM-2*	*Triticale PM-15*	*Triticale PM-132*	*ANRC caseína*
Peso promedio ganado (g)	3.9^{e}	$7.0^{d,e}$	$8.4^{c,d,e}$	$11.9^{b,c,d}$	$14^{b,d}$	14.5^{b}	16.1^{b}	16.2^{b}	39.2^{a}
Alimento promedio total consumido (g)	$82.5^{c,d}$	77.9^{d}	79.2^{d}	$83.5^{b,c,d}$	$89.6^{b,c,d}$	$90.7^{b,c,d}$	$93.8^{b,c}$	96.2^{b}	122.4^{a}
Razón de eficiencia proteínica	0.52^{e}	$1.0^{d,e}$	$1.19^{c,d}$	$1.60^{b,c,d}$	$1.73^{b,c}$	1.80^{b}	1.93^{b}	1.89^{b}	3.64^{a}

Fuente: Datos obtenidos por R. Jambunathan y E. T. Mertz, con la asistencia técnica de L. Tanchoco, Depto. de Bioquímica, Universidad Purdue, Lafayette, Ind.

[1] Duración del experimento: 14 días; 10 ratas machos en cada grupo. Los mismos animales de la tabla 7. Los valores con el mismo superescrito no difieren significativamente entre sí al nivel del 1%.

TABLA 10 Valores de razón de eficiencia proteínica en muestras compuestas de maíz[1]

	CM-4854 normal	*Oh43 X B14 normal*	*CM-4858 normal*	*Oh43 X B14 harinoso-2*	*CM-4855 opaco-2 (duro)*	*CM-4856 opaco-2 (suave)*	*CM-4857 opaco-2 (suave)*	*ANRC caseína*
Peso promedio ganado (g)	8.2^{b}	8.6^{b}	8.6^{b}	9.2^{b}	18.0^{a}	18.5^{a}	20.8^{a}	21.1^{a}
Alimento promedio total consumido (g)	42.3^{b}	41.5^{b}	44.6^{b}	43.6^{b}	56.5^{a}	56.7^{a}	58.1^{a}	52.4^{a}
Razón de eficiencia proteínica	2.139^{b}	2.362^{b}	2.163^{b}	2.369^{b}	3.623^{a}	3.680^{a}	4.016^{a}	4.441^{a}

Fuente: Datos obtenidos por R. Jambunathan y E. T. Mertz, con la asistencia técnica de L. Tanchoco, Departamento de Bioquímica, Universidad Purdue, Lafayette, Ind.

[1] Duración del experimento: 7 días; 10 ratas machos en cada grupo. Los mismos animales de la tabla 6. Los valores con el mismo superescrito no difieren significativamente entre sí al nivel del 1%.

TABLA 11 Valores de la razón de eficiencia en muestras compuestas de sorgo, trigo, maíz y triticale

	Sorgo IS-8165	*Sorgo IS-0250421*	*Sorgo IS-3219*	*Trigo INIA*	*Trigo 7 Cerros*	*Triticale PM-2*	*Triticale PM-15*	*Triticale PM-132*	*ANRC caseína*
Peso promedio ganado (g)	1.6^{d}	$4.3^{c,d}$	$4.3^{c,d}$	$6.6^{b,c}$	$7.3^{b,c}$	$7.2^{b,c}$	$7.5^{b,c}$	8.6^{b}	15.2^{a}
Alimento promedio total consumido (g)	41.5^{b}	39.9^{b}	40.1^{b}	39.0^{b}	41.8^{b}	43.4^{b}	42.6^{b}	$43.9^{a,b}$	50.1^{a}
Razón de eficiencia proteínica	0.671^{d}	1.339^{c}	$1.298^{d,c}$	$1.900^{b,c}$	$1.920^{b,c}$	2.035^{b}	1.970^{b}	2.171^{b}	3.345^{a}

Fuente: Datos obtenidos por R. Jambunathan y E. T. Mertz, con la asistencia técnica de L. Tanchoco, Depto. De bioquímica, Universidad Purdue, Lafayete, Ind.

[1] Duración del experimento: 7 días; 10 ratas machos en cada grupo. Los mismos animales de la tabla 7. Los valores con el mismo superescrito no difieren significativamente entre sí al nivel del 5%.

muestras de trigo no difirieron significativamente pero todos fueron más elevados que los valores REP obtenidos con la dieta de sorgo IS-8165. No obstante, después de una semana, el sorgo IS-8165 presentó un REP que no fue sustancialmente diferente del presentado por el sorgo IS-2319; pese a ello, estos dos sorgos fueron notablemente diferentes, en lo que a REP se refiere, al término de 14 y 28 días de alimentación. Al término de 7 días, las muestras de triticales presentaron valores REP de 60% del control con caseína, el trigo aproximadamente un 57%, el sorgo de 20 a 40%, y el maíz normal de aproximadamente un 50%. Estos datos indican que la rata puede usarse con los propósitos de selección con un período experimental tan corto como de siete días, considerando que 10 ratas destetadas fueran usadas por cada tratamiento. Bajo estas circunstancias, se puede obtener una magnífica diferenciación entre los tipos de opaco-2 comparados con maíz normal, sorgo, trigo y triticales con un máximo de aproximadamente 600 g de cada grano de cereal requerido para su evaluación.

PRUEBAS DE ALIMENTACION EN RATONES

Las tasas de eficiencia proteínica se determinaron en las muestras cooperativas de granos en Nebraska usando los niveles sugeridos de proteína, fuente de caseína, suplementos vitamínicos, suplementos minerales y fuentes de aceite (tabla 3). En cada grupo se usaron cinco ratones machos destetados (Swiss-Wistar), y las pruebas de alimentación se efectuaron durante un período de 28 días. En la tabla 12 se muestran los valores REP obtenidos con las muestras de maíz compuesto. Comparados con los valores REP obtenidos en las ratas, la mayoría de los valores REP fueron más bajos para las muestras de granos y para los controlados con caseína. Debido al tamaño pequeño de los grupos, el sustancial nivel del 10% se consideró adecuado para los propósitos de selección.

La muestra de maíz opaco-2 con endosperma duro no tuvo un valor REP que variara sustancialmente del valor que se encontró en la muestra de maíz suave opaco-2. El valor REP del maíz harinoso-2 (como el que se obtuvo en los ratones), fue sustancialmente mejor que el valor REP de su duplicado normal. Este caso no se presentó en los estudios con ratas, en los cuales el valor fue más elevado, pero no tan significante.

En la tabla 13 se muestran los valores REP para sorgo, trigo y triticales. Puesto que todos estos cereales fueron estudiados simultáneamente, en ambas tablas se muestran los mismos valores de control con caseína ANRC. Los valores REP obtenidos en las muestras de sorgo no mostraron una oscilación tan amplia como la que mostraron aquellos valores obtenidos con las ratas. No obstante, los valores REP de estas muestras de sorgo fueron sustancialmente más bajos que aquellos obtenidos con las muestras de triticales. Los valores REP de las muestras de maíz normal (a excepción del 4854) no difirieron en mucho de aquellos valores REP de las muestras de sorgo. Los ratones aparentemente responden más favorablemente a las muestras de sorgo que las ratas. Se obtiene una mayor dispersión de los valores REP entre las muestras de triticales y de trigo cuando éstas son estudiadas en los ratones y estos valores son mayores que cuando son estudiadas en las ratas. Una muestra de opaco-2 (4857 de endosperma suave) no tuvo valores REP que fueran sustancialmente diferentes de los valores REP de las tres muestras de triticales. La mejor muestra de maíz opaco-2 (4855 de

TABLA 12 Valores de razón de eficiencia proteínica en muestras compuestas de maíz[1]

Valores de media	*CM-4854 normal*	*Oh43 X B14 normal*	*CM-4858 normal*	*Oh43 X B14 harinoso-2*	*CM-4855 opaco-2 (duro)*	*CM-4856 opaco-2 (suave)*	*CM-4857 opaco-2 (suave)*	*ANRC caseína*
Peso inicial (g)	15.36	15.33	15.35	15.36	15.40	15.36	15.37	15.36
Peso total ganado (g)	0.08	2.49	2.52	7.33	9.60	6.82	9.02	11.75
Alimento total consumido (g)	56.53	75.65	62.58	94.89	108.39	95.18	106.85	84.43
Razón de eficiencia proteínica	0.02[e]	0.37[d]	0.46[d]	0.88[c]	1.01[b,c]	0.81[c]	0.96[b,c]	1.58[a]

Fuente: Datos obtenidos de la Universidad de Nebraska, Lincoln, Neb. (Departamento de Alimentación y Nutrición y Depto. de Agronomía).
[1] Duración del estudio: 28 días; cinco ratones machos en cada grupo. Los valores con el mismo superescrito no difieren significativamente entre sí al nivel del 10%.

TABLA 13 Valores de la razón de eficiencia proteínica en muestras compuestas de sorgo, trigo y triticale[1]

Valores de media	*Sorgo IS-8165*	*Sorgo IS-0250421*	*Sorgo IS-2319*	*Trigo CW-4859*	*Trigo CW-4860*	*Triticale CT-4861*	*Triticale CT-4862*	*Triticale CT-4863*	*ANRC caseína*
Peso inicial (g)	15.34	15.34	15.35	15.35	15.57	15.36	15.35	15.35	15.36
Peso total ganado (g)	4.49	6.20	5.64	7.35	7.26	11.41	15.37	11.32	11.75
Alimento total consumido (g)	104.58	105.81	101.28	101.04	97.48	113.58	119.88	108.01	84.43
Razón de eficiencia proteínica	0.49[d]	0.66[c,d]	0.63[c,d]	0.83[c]	0.85[c]	1.14[b]	1.46[a,b]	1.19[b]	1.58[a]

Fuente: Datos obtenidos de la Universidad de Nebraska, Lincoln, Neb. (Departamento de Alimentación y Nutrición y Depto. de Agronomía).
[1] Duración del estudio: 28 días. Cinco ratones machos en cada grupo. Los valores con el mismo superescrito no difieren significativamente entre sí al nivel del 10%.

endosperma duro) tenía un valor REP de aproximadamente el 64% del valor del control con caseína, en la que la mejor muestra de triticales (CT-PM2) correspondió al 92% del control con caseína. En suma, los ratones estudiados fueron capaces de distinguir entre el maíz normal y el maíz harinoso-2, y también de distinguir entre el maíz normal y el maíz opaco-2, pero no fueron capaces de distinguir entre el maíz harinoso-2 y el maíz opaco-2 ni tampoco entre el maíz opaco-2 y los triticales. Estas pruebas distinguieron entre el control de caseína y todos los granos de cereal.

PRUEBAS DE ALIMENTACION EN RATONES DE CAMPO

En la tabla 14 se muestran los ingredientes de la dieta que se usaron en el estudio de las muestras compuestas de maíz que se efectuó en CIMMYT y en la Universidad Estatal de Pensilvania. Como se puede observar en las tablas 14 y 15, en la Universidad Estatal de Pensilvania se usó una mezcla de sal diferente, al igual que una caseína diferente. CIMMYT usó los componentes que se muestran en las tablas 1 y 3. La tabla 15 muestra la dieta final usada en experimentos con cereales en ratones de campo, estudios que se efectuaron en CIMMYT y en la Universidad Estatal de Pensilvania. En CIMMYT no se añadió un 2% de aceite de maíz al control con caseína (dieta 8261 de la tabla 14).

TABLA 14 Composición de la dieta en el experimento con el ratón de las praderas[1]

Id en Lab.	*Grano (%)*	*Proteína*[1] *(%)*	*CHO + O*[2] *(%)*	*Fibra*[3] *(%)*	*Vitaminas*[4] *(%)*	*Minerales*[5] *(%)*
CM-4854	70.5	7	65.9	27.1	2	3
CM-4855	71.5	7	92.4	30.6	2	3
CM-4856	71.5	7	62.6	30.4	2	3
CM-4857	71.5	7	63.6	29.4	2	3
CM-4858	76.0	7	63.8	29.2	2	3
CW-4859	65.0	7	64.1	28.9	2	3
CW-4860	61.0	7	64.1	28.1	2	3
CT-4861	47.5	7	66.1	26.9	2	3
CT-4862	48.0	7	65.6	27.4	2	3
CT-4863	44.0	7	65.2	27.8	2	3
Testigo (8261) caseína	–	7	67.0	20.0	2	3

Fuente: Datos proporcionados por J. S. Shenk, Universidad del Estado de Pennsylvania, University Park, Pa.

[1] Proteína = Nitrógeno Kjeldahl X factor.

[2] CHO + O = (proteína + fibra) – 95. Este valor indica energía y aceite fácilmente asimilables.

[3] Fibra = Alfacel + % CWC (H.K. Goering) and P. J. Van Soest. 1970. Análisis de fibra del forraje. *Agr. Handbook 379*, Agr. Res, Serv. USDA, Washington, D. C. + goma de celulosa.

[4] Mezcla fortificante de vitaminas, General Biochemicals, Chagrin Falls, Ohio.

[5] Mezcla de sal, Bernhar-Tomarelli, General Biochemicals, Chagrin Falls, Ohio.

TABLA 15 Niveles de ingredientes en experimento con ratones de pradera

	Muestra %										
Ingredientes	8261	CM-4854	CM-4855	CM-4856	CM-4857	CM-4858	CW-4859	CW-4860	CT-4861	CT-4862	CT-4863
Pasta	8	70.5	71.5	71.5	71.5	73	65	61	47.5	48	44
Mezcla de vitaminas	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mezcla de sal	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Alfacel	18	18	18	18	18	18	20	20	20	20	20
Goma de celulosa	2	2	2	2	2	2	–	–	–	–	–
Carbohidrato	65	4.5	3.5	3.5	3.5	2	10	14	27.5	27	31
Aceite de maíz	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Fuente: Datos suministrados por J. S. Shenk, Universidad del Estado de Pennsylvania, University Park, Pa.

Notas:

Pasta: El porcentaje calculado de cada cereal para suministrar 7% de proteína.
Vitaminas: Mezcla de fortificante de vitaminas, General Biochemicals, Chagrin Falls, Ohio.
Mezcla de sal: Bernhart-Tomarelli, General Biochemicals, Chagrin Falls, Ohio.
Goma de celulosa: Se debe añadir justo a las dietas de maíz y caseína.
Carbohidrato: Mezcla de una parte de dextrina, 1 parte de sucrosa, 2 partes de almidón de maíz.
Caseína: Caseína libre de vitaminas, 14.5% de nitrógeno, Nutritional Biochemicals Corp., Cleveland, Ohio.

En la tabla 16 se muestran los resultados obtenidos después de un período de 5 días de estudio en el ratón de campo destetado con las muestras de maíz compuesto, estos estudios fueron manejados por Villegas y Bauer en CIMMYT. El porcentaje de peso ganado en gramos por día varía desde 0.22 en el 4854 (maíz normal) hasta 0.56 en el control con caseína ANRC. Los valores REP variaron desde 1.30 en el 4854 (maíz normal) hasta 2.37 en el de caseína ANRC.

Debido a las extremas variaciones existentes entre animales de un mismo grupo, no se pueden demostrar diferencias importantes entre las muestras de maíz, a un nivel de 10%. En la tabla 17 se muestran los valores obtenidos con las muestras compuestas de sorgo, trigo y triticales. En estas muestras, el trigo (7 Cerros) tenía un valor REP que era mayor que el de la caseína ANRC, y sólo la muestra de trigo pigmentado contaba con un valor REP que era sustancialmente menor que el encontrado en otros granos de cereal y en la caseína.

Los índices de las tasas proteínicas, enumerados en la figura 2, nos pueden explicar la incapacidad que tienen los animales de estudio para diferenciar entre los diferentes cereales estudiados. En la figura 2 se muestra que el 4854 (maíz normal) contaba valores REP que oscilaban desde 0 hasta 4.0 en diferentes animales; y por casi todos los cereales estudiados existían uno o más animales que tenían valores REP que excedían el valor más alto obtenido con el control de caseína.

La tabla 18 sintetiza las reacciones de los ratones de campo (seis ratones de campo por grupo) obtenidas por J. S. Shenk en la Universidad Estatal de Pensilvania. Desafortunadamente, Shenk no contaba con las muestras de sorgo,

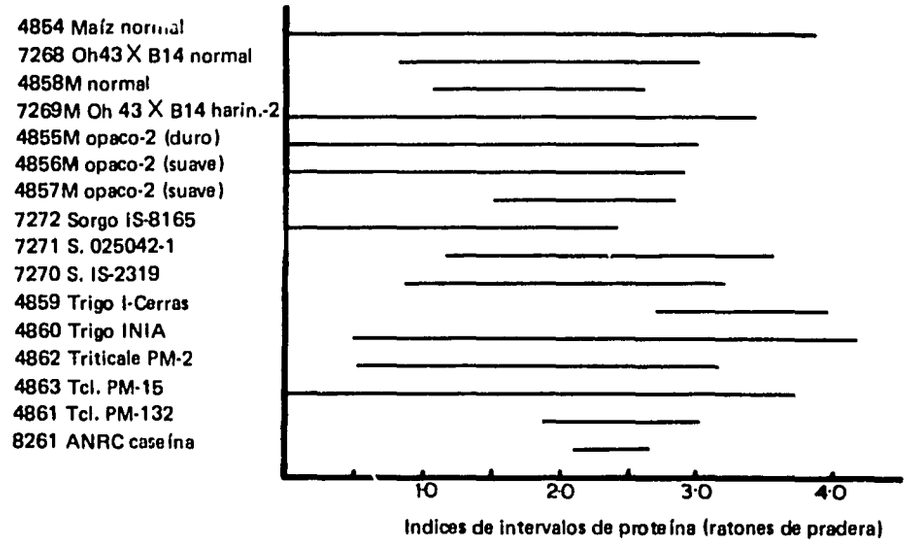


FIGURA 2 La razón de eficiencia proteínica varía en ratones de campo alimentados con muestras de cereales compuestos en el CIMMYT. Cada línea o intervalo representa datos de 6 ratones.

TABLA 16 Indices de proteína de muestras compuestas de maíz[1]

	CM-4854 *normal*	7268 Oh43 X B14 *normal*	CM-4858[2] *normal*	7269 Oh43 X B14 *harinoso-2*	CM-4855 *opaco-2 duro*	CM-4856 *opaco-2 suave*	CM-4857 *opaco-2 suave*	8261 ANRC *caseína*
Peso inicial promedio (g)	13.0	12.1	12.2	12.7	12.7	12.9	12.7	12.6
Peso promedio ganado (g/día)	0.22	0.49	0.45	0.36	0.39	0.45	0.49	0.56
Alimento promedio consumido (g/día) secado al aire	2.5	3.7	3.9	3.2	3.6	3.8	3.6	4.2
Razón de eficiencia proteínica	1.30	1.95	2.00	1.76	1.65	1.62	2.27	2.37

Fuente: Datos obtenidos en el laboratorio de Nutrición Animal del CIMMYT.

[1] Animal de prueba: ratones de pradera de destete (16 a 21 días de edad). Período de prueba 5 días; 5 ratones por grupo. Indice de proteína = gramos de peso corporal ganados por gramos de proteína consumidos.

[2] Cuatro repeticiones.

TABLA 17 Indices de proteína de las muestras compuestas de sorgo, trigo y triticale[1]

	7272 *sorgo* IS-8165	7271 *sorgo* IS-0250421	7270 *sorgo* IS-2319	CW-4859 *trigo* 7 Cerros	CW-4860 *trigo* INIA	CT-4862 *triticale* PM-2	CT-4863 *tricale* PM-15	CT-4861 *triticale* PM-132	8261 ANRC *caseína*
Peso inicial promedio (g)	12.4	12.3	12.3	13.0	12.8	12.7	12.5	12.8	12.6
Peso promedio ganado (g/día)	0.25	0.50	0.39	0.90	0.61	0.49	0.77	0.65	0.56
Alim. prom. total cons. (g/día)(sec. al aire)	3.4	3.9	3.1	5.0	3.8	3.9	3.7	4.7	4.2
Razón de efic. proteína	1.19	2.12	2.12	3.20	2.69	2.01	2.65	2.37	2.37

Fuente: Datos obtenidos en el Laboratorio de Nutrición Animal del CIMMYT.

[1] Animal de prueba: ratones de pradera de destete (16 a 21 días de edad). Período de prueba 5 días; 5 ratones por grupo. Indice de proteína = gramos de peso corporal ganados por gramos de proteína consumidos.

TABLA 18 Indices de proteína para las muestras compuestas de maíz, trigo y triticale[1]

	CM-4854 *maíz normal*	CM-4858 *maíz normal*	CM-4855 *opaco-2 duro*	CM-4856 *opaco-2 suave*	CM-4857 *opaco-2 suave*	CW-4859 *trigo 7 Cerros*	CW-4860 *Trigo INIA*	CT-4861 *triticale* PM-132	4862 *triticale* PM-2	4863 *triticale* PM-15	ANRC *caseína*
Peso promedio ganado (g/día)	0.26^{e}	$0.36^{d,e}$	$0.49^{c,d}$	$0.67^{a,b,c}$	0.80^{a}	$0.69^{a,b}$	$0.69^{a,b}$	$0.59^{b,c}$	$0.67^{a,b,c}$	$0.53^{b,c,d}$	$0.58^{b,c}$
Alimento promedio consumido (g/día) (secado al aire)	$4.57^{c,d,e}$	$4.68^{e,d}$	$4.87^{a,b,c,d}$	$5.12^{a,b,c}$	$5.08^{a,b,c,d}$	$4.98^{a,b,c,d}$	5.57^{a}	$5.41^{a,b}$	$5.05^{a,b,c,d}$	$4.68^{b,c,d}$	3.85^{e}
Razón de eficiencia proteínica	0.87^{f}	$1.08^{e,f}$	$1.41^{d,e}$	$1.89^{a,b,c,d}$	2.28^{a}	$1.98^{a,b,c}$	$1.78^{a,b,c,d}$	$1.59^{c,d}$	$1.90^{a,b,c,d}$	$1.63^{b,c,d}$	2.15^{a}

Fuente: Datos suministrados por J. S. Shenk, Depto. de Agronomía, Universidad del Estado de Pennsylvania, University Park, Pa., 16802.

[1] Duración del experimento: 6 días. Seis ratones de pradera en cada grupo. Valores con el mismo superescrito no difieren significativamente entre sí al nivel del 5%.

de maíz normal y de harinoso-2 provenientes de Purdue. Los datos de la tabla 18 asignan un valor REP de 2.28 al CM-4857 (opaco-2, suave), el cual no es del todo diferente del valor obtenido con el control de caseína (2.15). El CM-4856 (opaco-2, suave) tenía un REP más bajo, pero éste no era notablemente diferente del valor para el control con caseína. No obstante, el CM-4855 (opaco-2, duro) presentó un REP más bajo y esencialmente diferente del REP de control con caseína (1.41 versus 2.15). Las dos muestras de trigo y la muestra de un tritical (4862) tenían valores REP que no diferían sustancialmente de los valores con el control de caseína. No obstante, las otras dos muestras de triticales y las dos muestras de maíz normal presentaron valores que fueron sustancialmente más bajos que los valores obtenidos con el control de caseína. En base a estos datos los ratones de campo reaccionan en una forma mucho más satisfactoria a las muestras de cereal de los experimentos que se efectuaron en la Universidad Estatal de Pensilvania; dichas respuestas fueron más satisfactorias que las logradas en los experimentos de CIMMYT. No obstante, es estos estudios los ratones de campo estudiados no fueron capaces de distinguir entre las muestras de maíz opaco-2, trigo y triticales.

PRUEBAS DE ALIMENTACION EN POLLOS

Ya que los pollos requieren dietas que tengan un nivel proteínico más elevado que el que requieren las ratas, ratones o ratones de campo, J. McGinnis en la Universidad Estatal de Washington usó una dieta con 8% de sus proteínas provenientes de una mezcla de proteínas animales y vegetales cuya combinación bien balanceada con otro 6% de proteínas provenientes del grano de cereal que se pretendía estudiar. Pollos hembras, de un día de nacidos, obtenidos de una fuente comercial, fueron los que se usaron en el experimento. Dichas aves fueron hembras de la raza White Rock, y se separaron en grupos de cinco pollos cada uno. Los pollos fueron hospedados en incubadoras de baterías, con piso enrejado y calefacción eléctrica. Los calentadores de batería fueron dispuestos a aproximadamente 130°F durante la primera semana de experimentos. Al inicio de la segunda semana los calentadores de batería se ajustaron a 90°F, y esta temperatura se conservó hasta el final del experimento, cuando las aves tenían dos semanas de edad. La temperatura del local era de aproximadamente 72°F. Con cada dieta se alimentaron cuatro grupos replegados de cinco pollos. En todos los tratamientos el nivel de proteínas en las dietas se conservó a 14%. En la tabla 19 se muestra la composición de las dietas. En cada dieta, el 6% de proteínas fue suministrado por el cereal en prueba; el monohidrato de glucosa se añadió como un nutriente complementario, de tal forma que la dieta pudiera contener las cantidades y proporciones adecuadas de proteína, a partir de la premezcla y del grano de cereal que sería estudiado. La tabla 20 es una síntesis de los pesos corporales de los pollos alimentados con diferentes granos de cereal. Además de las muestras compuestas proporcionadas por CIMMYT y por Purdue, también se estudiaron preparados de soya, maíz amarillo normal, triticales, centeno rastrero braserillo, el trigo Gaines, trigo con alto contenido proteínico, cebada Hiproli, y cebada pirolina. Cada grano de cereal se estudió como un

TABLA 19 Composición de dietas para pollos

Ingrediente	*% de dieta*
Premezcla	
Preparados de carne y hueso (50% de proteína)	9.39
Preparados de soya (50% de proteína)	2.68
Alfalfa deshidratada	2.01
Maíz amarillo molido	16.76
Fosfato dicálcico (Dynaphos)	2.00
Sal yodatada	0.25
Huellas de mezcla mineral[1]	0.05
Premezcla de vitaminas[2]	0.25
DL-metionina	0.20
	33.59
Material de prueba, monohidrato de glucosa, lisina	64.41

[1] Proporciona lo siguiente, en miligramos por kilogramo de alimento: Mn, 50; Fe, 50; Cu, 5; Zn, 50; I, 1.5; y Co, 0.5.
[2] Proporciona lo siguiente, por kilogramo de alimento: Vitamina A, 5,500 IU; Vitamina D_3, 1,650 ICU; riboflavina, 3.3 mg; cloruro de colina, 500 mg; pantotenato de calcio, 3.3 mg; niacina, 17.5 mg; y etoxiquina (Santoquin), 125 mg. La premezcla de vitaminas se complementó con B_{12} para alcanzar 0.01 mg/kg de alimento.

complemento de la base de proteína bien balanceada, de tal manera que se podría haber esperado que los resultados fueran diferentes de aquellos resultados obtenidos con los otros estudios (en los cuales la única fuente de proteína la comprendían los granos de cereal). Los pesos corporales indican que el tratamiento que contenía preparados de frijol de soya fue notablemente mejor (estudiados a un nivel de 5%) que los otros tratamientos. La caseína ANRC fue notablemente mejor que el CM-4855, maíz opaco-2 (duro), pero no sustancialmente mejor que el CM-4856 ni que el opaco-2 (suave). El maíz normal CM-4854, en calidad de suplemento proteínico, fue notablemente menos efectivo que el maíz opaco-2. No obstante, el CM-4858 (maíz normal), el Oh43 X B14 (maíz normal), y el Oh43 X B14 (maíz harinoso-2) usados como suplementos proteínicos, fueron más efectivos que el CM-4855 y que el opaco-2 (duro). En la segunda serie, a excepción de un tratamiento que contenía caseína como material de estudio, el material de estudio proporcionó un 5.7% de proteína a la dieta. A todas las dietas, con excepción del tratamiento que contenía caseína, se les agregó un nivel de 0.3% de L-lisina, lo cual se considera adecuado en lo que respecta a la lisina (mayores adiciones podrían haber creado un desbalance de arginina). La adición de lisina al opaco-2 (duro) y al opaco-2 (suave) aumentó marcadamente el efecto proteínico suplementario de estos dos cereales y eliminó las diferencias básicas que se observan en ausencia del suplemento de lisina. Con la adición de lisina, estas dos muestras de maíz superaron notablemente a la caseína ANRC en lo que se refiere al suplemento proteínico. La adición de lisina a las dos selecciones de maíz normal proporciona una respuesta positiva, pero la respuesta no es tan marcada como la que se

TABLA 20 Resumen de pesos corporales de pollos alimentados con diferentes granos de cereal

Fuente proteínica[1]	*Peso corporal promedio a las dos semanas de edad (g)*[2]	
	Serie I	*Serie II (complementada con lisina)*
Premezcla	76.0[e,f,g,h]	79.6[i]
Preparado de soya	124.7[a]	122.8[a]
ANRC caseína	97.9[b]	98.0[d,e,f,g]
Maíz amarillo, normal	77.7[d,e,f,g]	86.6[g,h,i]
Triticale rastrero bracerillo	71.2[f,g,h]	88.5[f,g,h,i]
Centeno	70.4[f,g,h]	77.8[i]
Trigo Gaines	74.7[e,f,g,h]	95.1[d,e,f,g,h]
Trigo con alto contenido proteínico	71.2[f,g,h]	94.2[d,e,f,g,h]
Cebada hiproli	85.1[c,d]	101.9[c,d,e]
Cebada pirolina	78.6[d,e,f]	92.6[e,f,g,h]
CM-4854, maíz normal	71.3[f,g,h]	84.5[h,i]
CM-4855, opaco-2 (duro)	81.6[d,e]	114.0[a,b]
CM-4856, opaco-2 (suave)	92.2[b,c]	116.0[a,b]
CM-4858, maíz normal	73.5[e,f,g,h]	86.8[g,h,i]
Oh43(+), maíz normal	72.7[e,f,g,h]	88.5[f,g,h,i]
Oh43 (fl_2) harinoso-2	81.2[d,e]	98.5[d,e,f,g]
CW-4859, 7 Cerros	67.4[h]	93.5[e,f,g,h]
CW-4860, INIA	73.6[e,f,g,h]	111.7[a,b,c]
CT-4861, triticale PM-132	75.1[e,f,g,h]	99.8[d,e,f]
CT-4862, triticale PM-2	68.8[g,h]	100.8[c,d,e,f]
CT-4863, triticale PM-15	74.2[e,f,g,h]	97.5[d,e,f,g]
IS-8165, sorgo	69.0[g,h]	98.7[d,e,f,g]
IS-2319, sorgo	68.5[h]	102.0[c,d,e]
S-0250421, sorgo	69.4[g,h]	106.2[b,c,d]

[1] La premezcla fue provista con 8% de proteína en todas las dietas a las que los materiales de prueba habían proporcionado un 6%.

[2] Cada medio es el promedio de cuatro grupos iguales, de 5 pollos cada uno. Los valores que tienen el mismo superescrito no son significativamente diferentes uno del otro a un nivel de 5%.

observa con el opaco-2. El maíz harinoso-2 muestra una respuesta mejor que la que muestran los maíces normales, dando un efecto suplementario que no difiere notablemente del efecto observado con la caseína ANRC.

Cuando el trigo Siete Cerros (CW-4859) se usó como una fuente suplementaria de proteína, la respuesta fue similar a la respuesta observada con las tres muestras de maíz normal. Esto también fue cierto para la otra muestra de trigo, el INIA (CW-4860). Las tres muestras de triticales también presentaron una respuesta proteínica similar a la observada con las muestras de maíz normal y con las muestras de trigo. Sorpresivamente, las muestras de trigo también presentaron un efecto suplementario aproximadamente igual al efecto de las otras muestras de cereal. Unicamente las dos muestras de opaco-2 presentaron una respuesta superior a las de otros granos de cereal. Al complementar las muestras de trigo con lisina, eleva la respuesta proteínica hasta el grado de la

respuesta que proporciona la caseína ANRC; y con la muestra INIA la respuesta no difirió sustancialmente de las respuestas proporcionadas por los preparados de frijol de soya y por el maíz opaco-2. Las muestras de triticales también presentan una respuesta notable al agregar lisina, pero estas respuestas no fueron mayores que las observadas con el sorgo. Cuando son suplementados con lisina, las muestras tanto de sorgo como de triticales proporcionan valores iguales a los valores de la caseína ANRC, pero menores a los valores de los preparados con frijol de soya.

En la tabla 21 se muestran los valores REP para el mismo grupo de granos de cereal estudiados. El valor REP de la caseína ANRC no difirió sustancialmente del valor de los preparados con frijol de soya, y ambos fueron notablemente superiores como suplementos para el maíz opaco-2 de endosperma duro. No

TABLA 21 Razón promedio de eficiencia proteínica de diferentes granos de cereal dados como alimento a pollos en un medio biológico modificado[1]

	REP promedio de 0 a 2 semanas de edad	
Fuente proteínica[2]	*Serie I*	*Serie II (complementado con lisina)*
Proteínas de la premezcla	$2.20^{c,f}$	2.27^{h}
Preparado de soya	2.99^{a}	3.24^{a}
ANRC caseína	$2.81^{a,b}$	$2.82^{c,d,e,f}$
Maíz amarillo	$2.31^{d,e}$	$2.74^{d,e,f}$
Triticale rastrero bracerillo	$2.16^{e,f}$	$2.47^{g,h}$
Centeno	$2.11^{e,f}$	2.29^{h}
Trigo Gaines	$2.28^{d,e}$	$2.76^{d,e,f}$
Trigo de alto contenido proteínico	$2.12^{e,f}$	$2.70^{d,e,f,g}$
Cebada hiproli	$2.64^{b,c}$	$2.71^{d,e,f,g}$
Cebada pirolina	$2.31^{d,e}$	$2.73^{d,e,f}$
CM-4854, maíz normal	$2.10^{e,f}$	$2.57^{f,g}$
CM-4855, opaco-2 (duro)	$2.45^{c,d}$	3.20^{a}
CM-4856, opaco-2 (suave)	$2.81^{a,b}$	$3.15^{a,b}$
CM-4858, maíz normal	$2.33^{d,e}$	$2.80^{d,e,f}$
Oh43 X B14(+), maíz normal	$2.23^{d,e,f}$	$2.87^{c,d,e}$
Oh43 X B14 (fl_2), harinoso-2	$2.46^{c,d}$	$2.94^{b,c,d}$
CW-4859, 7 Cerros	$2.12^{e,f}$	$2.73^{d,e,f}$
CW-4860, INIA	$2.25^{d,e}$	$3.06^{a,b,c}$
CT-4861, triticale PM-132	$2.31^{d,e}$	$2.89^{c,d,e}$
CT-4862, triticale PM-2	$2.18^{e,f}$	$2.85^{c,d,e}$
CT-4863, triticale PM-15	$2.32^{d,e}$	$2.78^{d,e,f}$
IS-8165, sorgo	2.00^{f}	$2.72^{d,e,f,g}$
IS-2319, sorgo	2.02^{f}	$2.87^{c,d,e}$
IS-0250421, sorgo	$2.09^{e,f}$	$2.88^{c,d,e}$

[1] Cada medio es el promedio de 4 grupos iguales, de 5 pollos cada uno. Los valores que tienen el mismo superescrito no son significativamente diferentes uno del otro.

[2] La premezcla fue provista con 8% en todas las dietas experimentales. El nivel total de proteínas fue de 14%.

obstante, el maíz opaco-2 de endosperma suave (CM-4856) presentó el mismo efecto complementario de la caseína ANRC y los preparados con frijol de soya. Los efectos complementarios de las muestras de maíz normal, la muestra de harinoso-2, las dos muestras de trigo, las tres muestras de triticales y las 3 muestras de sorgo fueron significativamente menores que los efectos de la caseína ANRC y de los preparados de frijol de soya. No obstante, ningún cereal por sí solo en este grupo de cereales fue marcadamente diferente de cualquier otro en lo que se refiere a capacidad de suplementación.

La adición de lisina a los preparados de frijol de soya los hacen notablemente superiores a la caseína ANRC. Esto también se presentó al agregar lisina a las muestras de maíz opaco-2 de endosperma tanto duro como suave. Los elevados valores REP de estas muestras, fueron notablemente mayores que los valores de la caseína ANRC, iguales a los valores de los preparados con frijol de soya. La adición de lisina a otras muestras de cereal brinda un notable aumento en los valores REP de tal forma que ninguno difiere notablemente de la caseína ANRC; la muestra de trigo INIA proporcionó una respuesta tan buena que no existieron diferencias sustanciales entre esta muestra y la muestra de preparados con frijol de soya. Es de sumo interés el notar que existía una notable diferencia en el efecto complementario del opaco-2 de endosperma duro y de endosperma suave cuando la lisina se encontraba ausente, pero la adición de lisina elimina estas diferencias. Por lo tanto, los pollos estudiados aparentemente hicieron una diferenciación entre los tipos de endosperma duro y suave cuando estos granos fueron usados como un suplemento para una base proteínica de 8%.

RESUMEN

Los pesos ganados y los REP de los maíces normal, harinoso-2 y opaco-2, y del sorgo, trigo y triticales, han sido comparados con una caseína estándar en estudios en que se usaron ratas, ratones, ratones de campo y pollos. Con diez ratas hembras destetadas por cada cereal estudiado, en siete días se hicieron aparentes notables diferencias en la cualidad proteínica, con valores comparables a aquellos obtenidos en 14 ó 28 días. Un estudio de siete días con ratas requerirá menos de 600 g de cada cereal. En las ratas estudiadas no se observaron diferencias sobresalientes en el peso ganado ni en la REP que existe entre los maíces opaco-2 de endosperma duro y suave. La REP de 28 días de estos dos maíces componía el 85% del control con caseína comparado con triticales (60%), trigo (50%), maíz normal y harinoso-2 (50%), y con sorgo (40%).

Por cada cereal se estudiaron 5 ratones hembras destetados durante 28 días, y el harinoso-2, el opaco-2, así como los triticales, no mostraron diferencias notables en la REP y presentaron valores que fueron de aproximadamente el 60% del valor con control de caseína. Con cinco o seis ratones campestres destetados por cada variedad de cereal estudiado durante cinco o seis días, los valores REP para las muestras de maíz opaco-2, de trigo y de triticales no difirieron notablemente. Con cinco grupos replegados de pollos de cinco días de nacidos estudiados por cereal (alimentados con 6% de cereal proteínico, además de un 8% de base proteínica balanceada), se obtuvieron valores REP que hacían posible distinguir las dietas de opaco-2 con endosperma duro de los tipos de

endosperma suave. No obstante, los tipos de endosperma duro no fueron diferentes del harinoso-2, trigo o triticales.

Los estudios con pollos muestran la superioridad del maíz opaco-2 sobre el maíz normal, aún después de la complementación con lisina o ambos. Además, la lisina que se usa para complementar el trigo INIA demostró ser marcadamente superior a la lisina con que se complementó el trigo Siete Cerros.

En base a estos estudios cooperativos, los estudios que se efectuaron con ratas hembras destetadas permitieron obtener una mejor diferenciación entre los cereales. Debido a la alta necesidad proteínica de los pollos, éstos se usaron únicamente para testificar el valor complementario de estos granos de cereal cuando son suministrados como alimento en adición de una base proteínica bien balanceada.

Las investigaciones que se efectuaron en Universidad Purdue fueron patrocinadas por la USAID (Agency for International Development), a través del Pacto AID/Csd-2809, intitulado "Inheritance and Improvement of Protein Quality and Content in Maize" ("Herencia y mejoramiento del contenido y de la calidad proteínica en el maíz".)

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia.)

EL SISTEMA INTEGRAL PARA LA SELECCION QUIMICA DEL MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA

Evangelina Villegas*

La calidad proteínica del maíz es de primera importancia desde el punto de vista nutricional. Por lo general, el maíz común tiene poco valor alimenticio, debido principalmente a su contenido no balanceado de aminoácidos y en virtud de su bajo contenido de proteína.

Los buenos resultados obtenidos al incorporar el maíz de alta calidad proteínica en las dietas humanas y de los animales monogástricos, alentaron a quienes intervienen en los programas de mejoramiento de maíz, en diferentes partes del mundo y, sobre todo, en aquellos países donde este cereal es uno de los alimentos básicos, para seguir mejorando la calidad nutricional de los materiales producidos. Sin embargo, en un programa de mejoramiento de cualquier cultivo, no sólo en el de maíz, se manejan cantidades muy grandes de germoplasma. Para seleccionar adecuadamente el material de calidad proteínica superior, el fitomejorador necesita de los servicios de un laboratorio. La incorporación del gene opaco-2 o harinoso-2 a los maíces normales de características agronómicas deseadas implica la identificación rápida de los linajes de calidad superior en el material segregante. Tal programa de mejoramiento requiere que los fitomejoradores y los bioquímicos trabajen en equipo.

*Laboratorio de Calidad de Proteínas, CIMMYT, México.

Los maíces mutantes opaco-2 (op-2) y harinoso-2 (fl-2), cuya proteína es de calidad superior a la del maíz común, fueron identificados a través de evaluaciones químicas del contenido de los aminoácidos en la proteína, hace apenas diez años (4, 8). Los aminoácidos que limitan la calidad nutricional del maíz son lisina y triptófano. Los maíces mutantes con calidad nutricional superior han sido genéricamente designados como maíces de *alta lisina*. Esta designación es correcta, pero el mejoramiento de su calidad se debe al incremento simultáneo de lisina y de triptófano.

Cuando se iniciaron las conversiones de maíces normales a los maíces opaco-2 o harinoso-2 muchos fitomejoradores sólo acostumbraban hacer una evaluación fenotípica seleccionando los granos no translúcidos, lo cual, desafortunadamente, excluía cualquier oportunidad de obtener un tipo de grano mejor con endosperma de mayor dureza y buena calidad proteínica. Estos tipos de grano pueden ocurrir en algunas poblaciones del maíz opaco-2 en las cuales actúan ciertos genes modificadores.

La evaluación química del diverso material genético requiere el uso de métodos analíticos sencillos, rápidos y de costo relativamente bajo, de manera que se pueda analizar un gran número de muestras.

En diversos laboratorios se han usado métodos indirectos para evaluar la proteína. Por ejemplo, de esta manera se ha recomendado efectuar, la determinación de la zeína, que es la fracción proteínica de la proteína del endosperma del maíz, carente de lisina y triptófano. En presencia del gene opaco-2 hay una reducción en el contenido de la prolamina zeína en el endosperma y un consecuente aumento en las otras fracciones proteínicas que no son deficientes en lisina y triptófano (2, 5, 9).

Por otro lado, se ha recomendado evaluar la calidad proteínica utilizando el método de capacidad de absorción del colorante Naranja G en medio ácido, ya que el colorante se asocia con los grupos reactivos básicos de la proteína (lisina, histidina y arginina) (6, 7).

En un intento de ofrecer técnicas sencillas y apropiadas para evaluar y separar un gran número de muestras según su calidad proteínica, en el Laboratorio de Calidad de Proteínas del CIMMYT y en el Laboratorio de Bioquímica de la Universidad de Purdue, se estudiaron y reevaluaron diferentes métodos analíticos que se usan ordinariamente para determinar el contenido de proteína, triptófano y lisina. Después de esta reevaluación se hicieron las recomendaciones para la evaluación rutinaria de las poblaciones y de los materiales segregantes obtenidos como producto de los programas de mejoramiento de maíz.

A continuación, se describe de una manera general la metodología seguida en el Laboratorio de Calidad de Proteínas del CIMMYT (11).

METODOS

Preparación de la muestra para el análisis del endosperma

Para identificar rápidamente los materiales que contienen proteína de calidad mejorada, se aconseja llevar a cabo el análisis en el endosperma de la

muestra. El asdosperma del maíz es deficiente en lisina y triptófano, en tanto que el embrión tiene una composición relativamente constante y bien balanceada de aminoácidos, independientemente de la genealogía de la muestra. Igualmente, cuando se analiza el grano completo, el pericarpio puede dar pigmentos no deseados que interfieren con las determinaciones colorimétricas. Si se desea hacer un análisis en grano completo, hay que tener en cuenta estos factores.

Para la evaluación de familias genéticas,

1. Tomar al azar una muestra de 10 gramos como representativo de cada mazorca.
2. Lavar cualquier vestigio de insecticida con agua destilada si es que las semillas han sido tratadas; si no, omitir este paso.
3. Remojar las semillas en agua destilada durante 30 minutos aproximadamente. Eliminar con pinzas y bisturí el pericarpio y el germen. El resto del grano es considerado como tejido del endosperma. Dejar secar al aire el endosperma durante la noche.
4. Moler el endosperma seco en un molino pequeño de rodillo.
5. Desengrasar con hexano las muestras molidas en un extractor continuo tipo Soxhlet durante 6 horas.
6. Sacar las muestras al aire y pulverizarlas finamente con un amalgamador tipo Wig-L-Bug.

En algunos casos, como por ejemplo cuando una familia de maíz con endosperma duro (tipo normal) se identifica como poseedora de altos niveles de triptófano en la proteína, se recomienda que se analice grano por grano en una submuestra, a fin de identificar si hay segregación dentro de la familia, y si existe, cuáles granos contienen los mayores niveles de triptófano. El procedimiento siguiente no destruye el embrión del grano analizado y, por lo tanto, permite la germinación y el crecimiento de los granos que tengan el mayor nivel de triptófano y que se hayan seleccionado, a fin de llevar a cabo futuros análisis genéticos.

1. Tomar al azar 5 ó 6 granos de cada familia y lavarlos para eliminar cualquier insecticida, y dejarlos secar.
2. Una pequeña porción del esdosperma de diferentes partes del grano se perfora con un taladro eléctrico usando una broca de 1/16 de pulgada.
3. Secar la muestra y pulverizarla finamente con un amalgamador Wig-L-Bug.

Determinación de la proteína

El contenido de nitrógeno puede evaluarse mediante el método de micro-Kjeldahl (1) y el porcentaje de la proteína se calcula usando el factor 6.25.

Reactivos

1. Acido sulfúrico concentrado (38%); (d = 1.84), libre de nitrógeno.
2. Mezcla de catalizadores: 99.0 g de K_2SO_4; 4.1 g de HgO de 0.8 g de $CuSO_4$.

3. Solución de hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio. Disolver 50 g de NaOH y 5 g de $Na_2S_2O_3 . 5H_2O$ en agua destilada y aforar a 100 ml.
4. Solución de ácido bórico al 4%.
5. Solución indicadora de rojo de metilo en verde de bromocresol. Mezclar una parte de solución alcohólica de rojo de metilo al 0.2% con 5 partes de solución alcohólica de verde de bromocresol a 0.2%.
6. Solución de ácido clorhídrico: 0.02N.

Procedimientos

1. Pesar de 30-40 mg de muestra en un matraz de digestión. Anadir 1.0 g de la mezcla de catalizadores y 2 ml de ácido sulfúrico concentrado.
2. Digerir 40 minutos, enfriar y añadir la mínima cantidad de agua destilada para disolver los sólidos formados, enfriar y poner en la boca del matraz una pequeña cantidad de vaselina.
3. Transferir esta solución al aparato de destilación lavando el matraz de 5 a 6 veces con 1-2 ml de agua destilada.
4. Poner un matraz erlenmeyer de 125 ml con 8 ml de solución de ácido bórico y 3 gotas de solución indicadora debajo del condensador, asegurando que la terminal de éste quede dentro de la solución.
5. Añadir al aparato de destilación 8 ml de solución de hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio, y empezar la destilación hasta obtener 50 ml del destilado.
6. Titular con el ácido clorhídrico hasta obtener la formación del color gris o la primera apariencia del color violeta.
7. Efectuar la determinación de un blanco usando la misma cantidad de reactivos y el mismo proceso de digestión, destilación y titulación.
8. Calcular el porcentaje de nitrógeno.

$$\% \text{ nitrógeno} = \frac{(\text{ml HCl en determ.} - \text{ml blanco}) \times \text{normalidad} \times 14.007 \times 100}{\text{mg de muestra}}$$

% proteína = % de nitrógeno X 6.25

Determinación del triptófano

Hernández y Bates (3) observaron que la relación existente entre triptófano y lisina en la proteína del endosperma del maíz es aproximadamente de 1 a 4, de manera que el triptófano se puede usar como parámetro único para evaluar la calidad del maíz.

Para la determinación del triptófano se recomienda el método Opienska-Blauth y colaboradores, modificado por Hernández y Bates (3), el cual se destaca por su exactitud y rapidez, pues permite analizar hasta 75 muestras con duplicado cada día.

Reactivos

1. Reactivo A: se disuelven 270 mg de $FeCl_3 . 6H_2O$ en 0.5 ml de agua destilada y se afora a un litro de ácido glacial. En cada frasco de ácido acético se deba hacer la prueba de desarrollo de color en presencia del triptófano
2. Reactivo B: solución de H_2SO_4 30N.
3. Reactivo C: mezclar los reactivos A y B (1:1 v/v), de 1 a 2 horas antes de usar.
4. Reactivo D: solución de papaína-grado comercial (Papain-Tech. en polvo de Nutritional Biochemical Corp., Cleveland, Ohio). Disolver la enzima (4 mg/ml) en solución reguladora de acetato de sodio, 0.1N, pH = 7.0. La solución de papína debe ser preparada antes de usarla.

Procedimiento

1. Pesar entre 90 y 100 mg de muestra desengrasada y pulverizada en un tubo y añadir 4 ml de solución de papaína. Se tapan los tubos y se agitan cuidadosamente procurando que toda la muestra quede mojada por la solución (también se preparan tubos con solución de papaína únicamente, para usarlos como blancos durante todo el procedimiento).
2. Las muestras son incubadas a 65°C durante la noche (16 horas).
3. Los hidrolizados se sacan del incubador o estufa y se agitan, dejándolos enfriar a la temperatura ambiente, después de lo cual el sobrenadante debe estar claro. (Si el sobrenadante no está claro, se debe centrifugar.)
4. Se pipetea un ml de hidrolizado a un tubo de ensaye que contiene 4 ml del reactivo C. Se agita vigorosamente y se incuba a 65°C durante 15 minutos para que se coloree.
5. Dejar enfriar las soluciones coloreadas y transferirlas luego a tubos de colorímetro calibrados. Las lecturas se hacen en el fotocolorímetro Baush & Lomb Spectronic 20 a una longitud de onda de 545 μm.
6. Se prepara una curva estándar con un rango de 0 a 40 μg/ml de DL-triptófano.
7. El contenido de triptófano de la muestra se calcula a partir de la curva estándard y se reporta en base a la proteína.

Determinación de lisina

La determinación de lisina solamente se hace en aquellos materiales que se han seleccionado porque presentan altos niveles de triptófano determinados mediante procedimientos colorimétricos, o cuando se desea conocer el contenido de lisina además del de triptófano.

Se recomienda el método colorimétrico desarrollado por Tsai (Universidad de Purdue) (10) y modificado por Villegas (CIMMYT) (11). Con este método se pueden analizar hasta 60 muestras por duplicado al día.

Reactivos

1. Solución de papaína (4 mg de papaína por ml de solución reguladora de fosfato 0.03M con pH 7.4).

2. Solución reguladora de carbonatos 0.05 M, con pH 9.0.
3. Solución reguladora de boratos 0.05 M con pH de 9.0.
4. Suspensión de fosfato de cobre. Solución A: pesar 2.8 g de $CuCl_2 . 2H_2O$ y disolverlos en 100 ml de agua destilada. Solución B: pesar 13.6 g de $Na_3PO_4 . 12\ H_2O$ y disolverlos en 200 ml de agua destilada. Mezclar A y B agitando; centrifugar a 2000 r.p.m. durante 5 minutos, y descartar el sobrenadante. Se procura que el precipitado entre en suspensión 3 veces con 16 ml de solución reguladora de boratos, centrifugando cada suspensión. Después del tercer lavado, el precipitado otra vez debe entrar en suspensión con 80 ml de solución reguladora de boratos. Se puede usar este reactivo solamente una semana.
5. Solución de 2-cloro-3,5-dinitropiridina. Preparar justo antes de usar una solución que contenga 30 mg de 2-cloro-3,5-dinitropiridina/ml de metanol.
6. Solución HCl, 1. 2 *N*
7. Mezcla de aminoácidos

Cistina	20 mg	Fenilalanina	40 mg
Metionina	20 mg	Valina	40 mg
Histidina	30 mg	Arginina	50 mg
Alanina	30 mg	Serina	50 mg
Isoleucina	30 mg	Acido aspártico	60 mg
Treonina	30 mg	Acido glutámico	300 mg
Tirosina	30 mg	Leucina	80 mg
Glicina	40 mg	Prolina	80 mg

Pesar 100 mg de la mezcla de aminoácidos y disolverlos en 10 ml de solución reguladora de carbonatos.

Procedimiento

1. Pesar 200 mg de muestra desengrasada y pulverizarla en un tubo de ensaye y agregar 5 ml de solución de papaína. Asegurarse de que toda la muestra esté bien mojada y agitarla 2 veces durante la primera hora de incubación. Preparar blancos con solución de papaína.
2. Incubar a 65°C durante 16 horas. Sacar los hidrolizados del incubador y agitarlos. Dejarlos enfriar a temperatura ambiente y cuando las muestras estén frías, el sobrenadante debe de ser claro; si está turbio hay que centrifugar. (Se puede tomar una alícuota de 1 ml de este hidrolizado para la determinación de triptófano.
3. Pipetear una alícuota de 1 ml en un tubo de centrífuga y añadir 0.5 ml de solución reguladora de carbonatos y 0.5 ml de suspensión de fosfato de cobre.
4. Agitar durante 5 minutos y centrifugar a 2 000 r.p.m.
5. Pipetear una alícuota de 1 ml de sobrenadante en un tubo grande de ensaye y añadir 0.1 ml de solución de 2-cloro-3,5-dinitropiridina. Agitar vigorosamente.
6. Dejar los tubos durante dos horas a temperatura ambiente agitando cada 30 minutos.
7. Añadir 5 ml de HCl-1.2 N a cada tubo y agitar.

8. Añadir 5 ml de acetato de etilo. Tapar los tubos y mezclar su contenido, invirtiendo los tubos 10 veces. Extraer la fase superior con una jeringa que tenga adaptado un tubo de polietileno. Este paso debe repetirse 3 veces.

9. Transferir la fase acuosa a tubos de colorímetro calibrados y leer en el fotocolorímetro "Spectronic 20" a una longitud de onda de 390 μm contra el blanco.

10. Calcular el contenido de lisina de las muestras por comparación con la curva estándar y reportar en base de proteína. Preparar una curva estándar con un rango de 0 a 200 μg de lisina por ml. Solución stock de lisina: pesar 62.5 mg de lisina monohidroclorhídrica y aforar a 20 ml de solución reguladora de carbonatos (2500 μg/ml). Usando la solución reguladora de carbonatos y la solución stock de lisina, preparar soluciones con las siguientes concentraciones de lisina: 0, 250, 500, 750 y 1 000 μg/ml). De cada una de estas soluciones, tomar 1 ml y añadir 4 ml de solución de papaína (5 mg de papaína/ml de solución reguladora de fosfato). Pipetear 1 ml de cada solución a un tubo de centrífuga, añadir 0.5 ml de mezcla de aminoácidos y 0.5 ml de suspensión de fosfato de cobre. Continuar el procedimiento anterior, repitiendo los pasos a partir del indicado en el inciso 4.

DISCUSION

En promedio, el análisis del endosperma da valores colorimétricos de:

1. Maíz normal: alrededor de 0.45 g de triptófano y 1.8 g de lisina por 100 g de proteína (con aproximadamente 9.0% de proteína en la muestra), y

2. Maíz opaco-2: alrededor de 0.85 g de triptófano y 3.6 g de lisina en 100 g de proteína (con aproximadamente 8.0% de proteína en la muestra).

Los valores indicados pueden variar debido al genotipo de la muestra o debido al contenido de proteína en la muestra. Se pueden encontrar valores intermedios de triptófano y lisina en la proteína de los materiales con el gene del harinoso-2, o bien de algunas muestras con endosperma duro.

Si se usan los métodos analíticos antes mencionados para evaluar y separar gran cantidad de muestras de maíz, es fácil coordinar el trabajo del laboratorio con el de los fitomejoradores. Gracias a los informes del laboratorio, los fitogenetistas pueden seleccionar el germoplasmo deseado y acelerar así el programa de mejoramiento.

Mediante el empleo de estas técnicas, en el Laboratorio de Calidad de Proteínas de CIMMYT se logra evaluar aproximadamente 7 000 muestras de maíz al año.

Los mejores materiales, seleccionados por medio de métodos químicos, se evalúan de nuevo: primeramente, se hace un análisis completo de aminoácidos, aplicando la cromatografía por intercambio de iones y, a continuación, los materiales se evalúan biológicamente, utilizando animales de laboratorio para este fin. En CIMMYT esta evaluación se hizo en el ratón de la pradera (Microtus pennsylvanicus). Hasta el presente, hay gran variabilidad en los resultados obtenidos, los cuales llevan a la conclusión que hace falta aprender más acerca de este animal y de la forma en que habría que utilizarlo para efectuar una evaluación apropiada y confiable de los materiales seleccionados en el programa de mejoramiento de maíz.

BIBLIOGRAFIA

1. Association of Official Agricultural Chemists. 1965. Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, 10a. ed. Washington, D. C. págs. 744-745.
2. Fromberg. H. K., W. Christ y W. G. Polliner. 1971. A rapid method based on butanol extraction for selecting high-lysine maize (*Zea mays* L.) Crop. Science, 11:567.
3. Hernández, H. H., y L. S. Bates. 1969. A modified method for rapid tryptophan analysis of maize. CIMMYT Research Bull. No. 13.
4. Mertz, E. T., L. S. Bates, y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145:279.
5. Misra, P. S., R. Barba-Ho, y E. T. Mertz. 1973. Studies on corn proteins. V. Reduced color response of opaque-2 corn protein to the biuret reagent, and its use for the rapid identification of opaque-2 corn. Cereal Chem., 50:184.
6. Mossberg, R. 1969. Evaluation of protein quality by dye binding capacity: a tool in plant breeding. *En* New approaches to breeding for improved plant protein. International Atomic Energy Agency, Vienna, pág. 151.
7. Munk, L., K. E. Karlsson, y A. Hagberg. 1971. Selection and characterization of a high-protein, high-lysine barley from the world barley collection. *En* R. A. Nilan (ed.), Barley genetics II. Pullman, Washington, pág. 544.
8. Nelson, O. E., E. T. Mertz, y L. S. Bates. 1965. Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. Science, 150:1469.
9. Paulis, J. W., J. S. Wall, y W. F. Kwolek. 1971. A simple rapid method of estimating lysine in selections from opaque-2 and floury-2 corn breeding programs. American Seed Trade Association Annual Meeting. Corn and Sorghum Division, St. Louis, Missouri, Junio 28-29.
10. Tsai, C. Y., L. W. Hansel, y O. E. Nelson. 1972. A colorimetric method of screening maize seeds for lysine content. Cereal Chem., 49:572.
11. Villegas, E., y E. T. Mertz. 1971, Chemical screening methods for maize protein quality at CIMMYT. CIMMYT Res. Bull. No. 20.

Parte VIII

RELACIONES COSTO-BENEFICIO CORRESPONDIENTES A LA PRODUCCION Y EL CONSUMO DEL MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA

Per Pinstrup-Andersen*

Según ya se dijo, el maíz opaco-2 tiene una significativa ventaja nutricional sobre el maíz común, tanto en la dieta de humanos como de animales. Merced a su proteína de alta calidad, el maíz opaco-2 ofrece una oportunidad de reducir la desnutrición tan difundida entre las familias de bajos ingresos en los países en vía de desarrollo y causada por la carencia de ciertos aminoácidos esenciales en la dieta. Sin embargo, su calidad nutritiva superior no asegura por sí misma que el maíz opaco-2 llegue a formar parte de la dieta de quienes carecen de proteína de alta calidad. Hay que satisfacer varios requerimientos técnicos, sociales y económicos antes de que se pueda esperar una producción y un consumo autosostenidos del maíz opaco-2.

Este trabajo trata de ciertos aspectos económicos relativos a la producción y al consumo del maíz opaco-2 y tiene como objetivo 1) analizar los beneficios y los costos que acarrea para la sociedad y los particulares la expansión del cultivo del maíz opaco-2; 2) identificar las diferencias entre los beneficios y costos sociales y los privados, y 3) sugerir algunas medidas políticas por medio de las cuales los gobiernos podrían reducir tales diferencias y asegurar que se aprovechen cabalmente los beneficios netos potenciales del maíz opaco-2.

* Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.

En este estudio, después de una breve definición de beneficios y costos sociales y privados, se indican brevemente los beneficios potenciales que ofrece la producción del maíz opaco-2 a los países de Sudamérica. A continuación, se hace un análisis de los beneficios y costos para el consumidor, el ganadero y el productor de maíz, y finalmente se examinan los beneficios y costos sociales así como la posibilidad de que los gobiernos tomen las medidas necesarias para maximizar los beneficios sociales obtenidos de la producción y el consumo de maíz opaco-2.

Puesto que los aspectos económicos de la utilización del maíz opaco-2 en alimentos procesados se considerarán separadamente en este simposio, el presente trabajo abarca únicamente la utilización para el consumo humano directo y para la alimentación de animales.

BENEFICIOS Y COSTOS SOCIALES EN COMPARACION CON LOS PRIVADOS

Los beneficios y costos sociales son los que acarrean la producción y utilización del maíz opaco-2, para la sociedad considerada como un todo en tanto que los beneficios y costos privados se refieren a aquellos que obtienen o sufraga la persona o empresa dedicada a su producción, comercialización y consumo. Como se verá en el análisis que sigue, los beneficios y costos sociales pueden diferir considerablemente de los privados. Los beneficios y costos privados pueden ser tales que será imposible lograr todos los beneficios sociales potenciales a menos que se introduzcan ciertas medidas correctivas.

Beneficios potenciales del maíz opaco-2: el caso de Sudamérica

Aproximadamente el 22% del maíz que se cultiva en Sudamérica se utiliza para el consumo humano directo, en tanto que el 62% se emplea para la alimentación de animales (4).

En algunos países un porcentaje aún más alto de la producción de maíz se destina al consumo humano directo. Tal es el caso de Bolivia (81%), Colombia (72%), y Ecuador (52%). En 1970, el consumo medio de maíz per cápita en Sudamérica se estimó en 20.6 kg. El maíz desempeña un papel importante en la dieta humana de países tales como Bolivia, Venezuela, Paraguay, Colombia y Brasil, y es de muy poca importancia en Uruguay, Chile y Argentina (tabla 1).

La tabla 1 muestra la ingestión estimada de los dos aminoácidos esenciales lisina y triptófano a partir del maíz durante 1970, y la ingestión de estos aminoácidos que habría si todo el maíz común que se usa para consumo humano fuera substituido por el maíz opaco-2.

Según se muestra en la tabla 2, si se mantuviera constante el consumo per cápita de maíz que hubo en 1970 y todo el maíz consumido fuera de tipo opaco-2, las necesidades medias per cápita de lisina serían satisfechas totalmente con este maíz en Bolivia, Venezuela y Paraguay, a la vez que este maíz satisfaría más del 50% de las necesidades totales en Brasil, Colombia, Ecuador y Perú. El maíz opaco-2 satisfaría también más del 90% de las necesidades de triptófano en Bolivia y Venezuela, y más del 50% de las necesidades en Paraguay, Colombia y

TABLA 1 Cantidad de maíz utilizada para consumo humano en Sudamérica, 1970, contenido estimado de lisina y triptófano, y contenido portencial de una cantidad semejante de maíz opaco-2.

			Ingestión de lisina[b] *(gramos per cápita)*		*Ingestión de triptófano*[b] *(gramos per cápita)*	
	Consumo anual[a]					
País	*Total (miles de ton)*	*Kg. per capita*	*Real (maíz común)*	*Potencial (maíz opaco-2)*	*Real (maíz común)*	*Potencial (maíz opaco-2)*
Argentina	122	5.0	13.5	26.3	3.2	6.9
Bolivia	213	43.2	116.6	226.8	27.2	59.2
Brasil	2,111	22.6	61.0	118.7	14.2	31.0
Chile	26	2.7	7.3	14.2	1.7	3.7
Colombia	495	23.4	63.2	122.9	14.7	32.1
Ecuador	130	21.4	57.8	112.4	13.5	29.3
Paraguay	92	38.7	104.5	203.2	24.4	53.0
Perú	261	19.3	52.1	101.3	12.2	26.4
Uruguay	5	1.7	4.6	8.9	1.1	2.3
Venezuela	458	41.7	112.6	218.9	26.3	57.1
Sudamérica	3,913	20,6	55,6	108.2	13.0	28.2

[a] Fuente: FAO (4).

[b] Estimación con base en el siguiente contenido de lisina y triptófano en gramos por kilo de grano completo:

	Lisina	*Triptófano*
Maíz común	2.70	0.63
Maíz opaco-2	5.25	1.37

TABLA 2 Ingestión media estimada de lisina del maíz común e ingestión potencial del maíz opaco-2, comparadas según las necesidades (miligramos/día per cápita)

	Ingestión actual del maíz común		*Ingestión potencial del maíz opaco-2*	
País	*mg/día*	*% de necesidades*[a]	*mg/día*	*% de necesidades*[a]
Argentina	37.5	6.9	73.1	13.4
Bolivia	323.9	59.5	630.0	115.8
Brasil	169.4	31.1	329.7	60.6
Chile	20.3	3.7	39.4	7.2
Colombia	175.6	32.3	341.4	62.8
Ecuador	160.6	29.5	312.2	57.4
Paraguay	290.3	53.4	564.4	103.8
Perú	144.7	26.6	281.4	51.7
Uruguay	12.8	2.4	24.7	4.5
Venezuela	312.8	57.5	608.1	111.8
Sudámerica	154.4	28.4	300.6	55.3

Fuente: Estimados del Cuadro 1.

[a] Estimaciones con base en las necesidades de adultos jóvenes, 544 mg/día.

TABLA 3 Ingestión estimada media de triptófano del maíz común e ingestión potencial del maíz opaco-2 comparadas según las necesidades (mg/día per cápita).

	Ingestión actual del maíz común		*Ingestión potencial del maíz opaco-2*	
País	*mg/día*	*% de necesidades*[a]	*mg/día*	*% de necesidades*[a]
Argentina	8.9	5.3	19.2	11.4
Bolivia	75.6	45.0	164.4	97.9
Brasil	39.4	23.5	86.1	51.3
Chile	4.7	2.8	10.3	6.1
Colombia	40.8	24.3	89.2	53.1
Ecuador	37.5	22.3	81.4	48.5
Paraguay	67.8	40.4	147.2	87.6
Perú	33.9	20.2	73.3	43.6
Uruguay	3.1	1.8	6.4	3.8
Venezuela	73.1	43.5	158.6	94.4
Sudamérica	36.1	21.5	78.3	46.6

Fuente: Estimados del Cuadro 1.
[a] Estimaciones con base en las necesidades de adultos jóvenes, 168 mg/día.

Brasil (tabla 3). De aquí que, dada la carencia de aminoácidos esenciales en las dietas de las familias de bajos ingresos de Latinoamérica, podemos concluir que la introducción del maíz opaco-2 traería consigo un gran beneficio nutricional

Por otra parte, hay que reconocer las limitaciones que tiene este análisis. Los datos del consumo medio nacional no reflejan las diferencias dentro del país y un adecuado consumo medio per cápita puede ocultar el hecho de que haya un alto grado de desnutrición entre los grupos desposeídos. Sin embargo, es lógico suponer que, hasta cierto nivel de ingreso, las cantidades de maíz consumido estén positivamente correlacionadas con los ingresos y cabe notar que el maíz es un producto que es consumido en cantidades relativamente altas por las familias de bajos ingresos en la mayoría de los países de la América Latina. Por lo tanto, se puede considerar que los datos de consumo medio contendrán un sesgo menor en el caso del maíz que en el caso de otros productos, tales como carne, leche, frutas y hortalizas.

Otro factor que no se refleja en los datos promedios es el relativo a las diferentes necesidades de aminoácidos por los niños y los adultos. Sin embargo, también en este caso, los datos para maíz pudieran tener un menor sesgo que los obtenidos para ciertos otros productos, merced a la importancia del maíz en las dietas de los niños pequeños. Finalmente, los datos globales como los utilizados en el análisis anterior frecuentemente se recopilan en condiciones adversas y existe la posibilidad de que no describan la situación real con la debida precisión. Por lo tanto, los datos proporcionados aquí se deben considerar como magnitudes aproximadas y no como cifras exactas.

Beneficios y costos para el consumidor

El análisis anterior se refiere a los beneficios nutricionales potenciales. Los beneficios potenciales para el consumidor se pueden manifestar de dos maneras:

1) a través de una mejor nutrición que da como resultado una mejor salud y una mayor capacidad para obtener ingreso; 2) a través del ahorro que se logra al utilizar el opaco-2 como substituto de otros alimentos más caros como la leche, la carne y el frijol (manteniéndose constante el nivel nutricional).

Al discutir los beneficios para el consumidor es importante hacer una distinción entre los beneficios subjetivos y los "reales". Los beneficios subjetivos son determinados por el consumidor individual en función de sus preferencias, en tanto que los beneficios "reales" se miden por estándares objetivos tales como un aumento de la ingestión de aminoácidos esenciales, o una reducción en la gravedad o frecuencia de enfermedades. Además, hay que distinguir entre los beneficios y los costos para el individuo o privados y los beneficios y costos para la sociedad (beneficios y costos sociales). La disminución en los costos médicos, por ejemplo, pueden reducir los costos sociales pero tienen poca influencia sobre los costos privados. En esta sección sólo se examinarán los beneficios y costos privados, en tanto que los beneficios y costos sociales se analizarán más adelante.

En una economía de mercado libre, se supone que el consumidor toma las decisiones con miras a maximizar los beneficios subjetivos, dentro de los límites de su ingreso. Los beneficios subjetivos pueden diferir mucho de los beneficios "reales". La falta de conocimientos es uno de los factores que pueden originar esta diferencia. Cuando más de la mitad de las amas de casa colombianas entrevistadas prefirieron el maíz común al maíz opaco-2, los dos ofrecidos a precios iguales, esto se debió principalmente a que no sabían cómo preparar el maíz opaco-2 (5). Además las amas de casa desconocían las ventajas nutricionales del maíz opaco-2. En otro estudio (2), se pidió a un grupo de personas que evaluase varios platillos preparados con maíz común y con opaco-2. Aunque no se presentaron análisis estadísticos de los resultados, parece que las personas no encontraron diferencias significativas entre los platillos preparados con uno y otro tipo de maíz. Por lo tanto, aunque los dos estudios no se pueden comparar directamente (la elección que hace el consumidor, al comprar el grano, fue uno de las variables importantes que se omitieron en el segundo estudio), los resultados indican que con una campaña educativa en la que se explicaran los métodos de preparación, se ayudaría mucho a la aceptación del maíz opaco-2, es decir, usando la terminología indicada con anterioridad, aumentarían los beneficios subjetivos derivados del maíz opaco-2 en relación con los beneficios derivados del maíz común.

Es difícil prever qué impacto tendría la información sobre las ventajas nutricionales del maíz opaco-2. En Colombia, los pequeños productores agrícolas y los consumidores urbanos de bajos ingresos poseen conocimientos relativamente buenos acerca del valor nutritivo de los alimentos tradicionales (5). Sin embargo, por lo general no entienden por qué un determinado alimento tiene un mayor valor nutritivo que otro. De aquí que la información que relacione el valor nutricional del maíz opaco-2 con los valores de algunos alimentos bien conocidos, como la leche y la carne, pudiera facilitar considerablemente la aceptación del opaco-2, y por lo tanto reducir las diferencias entre los beneficios subjetivos y los reales de este tipo de maíz. En cambio, la información que haga énfasis en la alta calidad de la proteína probablemente no tendría el efecto o aceptación deseados.

Como ya se dijo, el consumidor no cambia automáticamente de un alimento

bien conocido y nutricionalmente inferior, a un nuevo alimento de mayor valor nutricional, aun cuando el precio de ambos sea el mismo. Según se verá más adelante, hay razón para creer que el maíz opaco-2 tendrá que venderse a un precio más alto que el maíz común pues de lo contrario, su cultivo no será costeable para el productor. En vista de ello, se plantea la cuestión de si son mayores los beneficios subjetivos obtenidos, al cambiar de maíz común a opaco-2, que los costos subjetivos originados por este cambio. ¿Cuánto está dispuesto a pagar el consumidor de bajos ingresos por una cantidad adicional de lisina y triptófano? No lo sabemos.

Mientras esperamos que se investigue más a fondo la relación que haya entre el valor subjetivo del alimento y su valor nutritivo, particularmente con respecto al maíz opaco-2, conviene intentar la estación de algunos beneficios "reales" que obtendría el consumidor del maíz opaco-2. Tal estimación puede hacerse a base de los costos que implica obtener el mismo nivel de nutrición a partir de fuentes alternativas.

Una alternativa podría ser la fortificación del maíz común con lisina y triptófano. Añadiendo 0.3 por ciento de L-lisina y 0.07 por ciento de DL-triptófano, Rosenfield (9) estimó que el costo de fortificación era de US $13.61 por tonelada de maíz. Los precios de los aminoácidos utilizados en el análisis fueron: L-lisina, US $2.20/kg, y DL-triptófano, US $10.00/kg. Actualmente, el precio del maíz en el mercado mundial es de unos US $50.00/ton. Suponiendo que el valor nutricional de este maíz fortificado es igual al del maíz opaco-2, sería justificado desde un punto de vista nutricional que el opaco-2 tenga un precio 27 por ciento mayor que el del maíz común.

En el mercado colombiano el precio de la lisina es de aproximadamente US $6.00/kg, dependiendo el precio exacto de la cantidad que se compra. No se pudo conseguir el precio del triptófano en el mercado colombiano, pero supongamos que el triptófano pudiera importarse a un precio de US $25.00/kg. Actualmente, el precio que obtiene en Colombia el productor de maíz común es de aproximadamente US $90.00/ton. Suponiendo que el precio del maíz opaco-2 tendría que ser 10% mayor que el del maíz común, a fin de compensar las diferencias de rendimiento, el costo adicional para el consumidor sería de US $9.00/ton. El maíz fortificado podría ponerse en el mercado a un precio US $125.00/ton. Por consiguiente, el maíz opaco-2 suministrarría la lisina y el triptófano adicionales a un precio considerablemente más bajo que el fortificado.

Tal vez, en lugar de considerar el más fortalecido con aminoácidos sintéticos, como la "mejor" solución, sería más práctico comparar el valor nutritivo y monetario del opaco-2 con el de otros alimentos disponibles para el consumidor. Un método podría ser el de determinar dietas nutricionalmente adecuadas y de costo mínimo mediante un modelo de programación linear en el cual se utilice el maíz opaco-2 en combinación con los alimentos disponibles.

Beneficios y costos para el ganadero

Mientras que los beneficios y los costos para el consumidor son difíciles de medir debido a las preferencias individuales y a la dificultad de cuantificar los beneficios derivados de una mejor nutrición humana, los beneficios y costos

TABLA 4 Precio máximo del maíz opaco-2 relativo al precio del maíz común y de la pasta de soya que puede pagarse sin reducir la ganancia neta

					Precio máximo del opaco-2 en porcentaje del precio del maíz común si el precio de la pasta de soya es:	
Período	*Dietas comparadas*[a]		a[b]	b[b]	*150% del precio del maíz común*	*200% del precio del maíz común*
Gestación	CMS	y OM	0.767	0.239	113	125
Lactancia	CMS	y OM	0.838	0.176	110	119
Crecimiento	CMS	y OMS	0.665	0.104	82	87
	CMS	y OM	-0.208	0.221	12	23
	CM	y OMS	2.381	-0.067	228	225
	CM	y OM	1.996	0.000	200	200
Terminación	CMS_{16}	y OM	0.810	0.158	105	113
	CM_6	y OM	0.988	0.064	108	112
	CM	y OM	1.363	0.000	136	136

[a] Ver en el texto la explicación de la clave.
[b] Los coeficientes a y b se refieren al modelo $P_0/P_c = a + b(P_s/P_c)$ que se explica en el texto.

relacionados con la utilización del opaco-2 en la producción ganadera, son relativamente fáciles de estimar.

La tabla 4 y las figuras 1 y 2 proporcionan los resultados de un estudio económico que se hizo en Colombia (7) sobre el maíz opaco-2 como alimento para cerdos. El análisis se llevó a cabo usando precios relativos en lugar de los

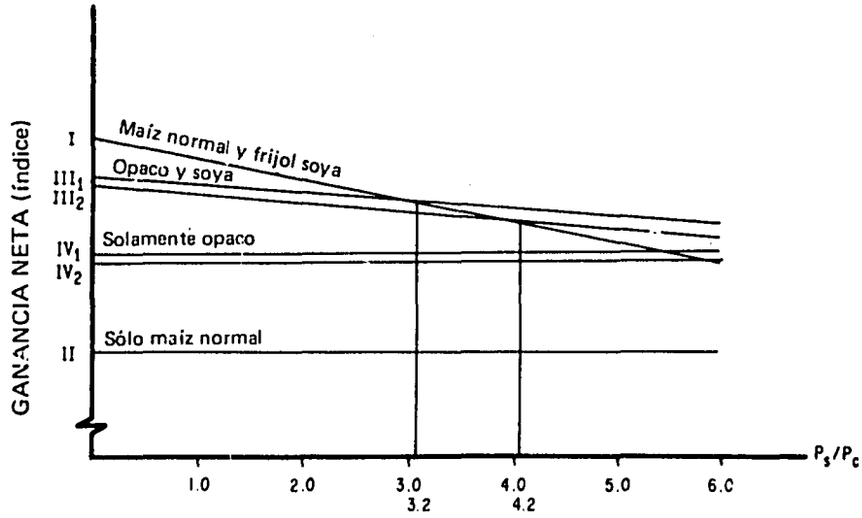


FIGURA 1 Ganancia neta relativa a partir de las varias dietas como una función del precio de la pasta de soya (período de crecimiento).

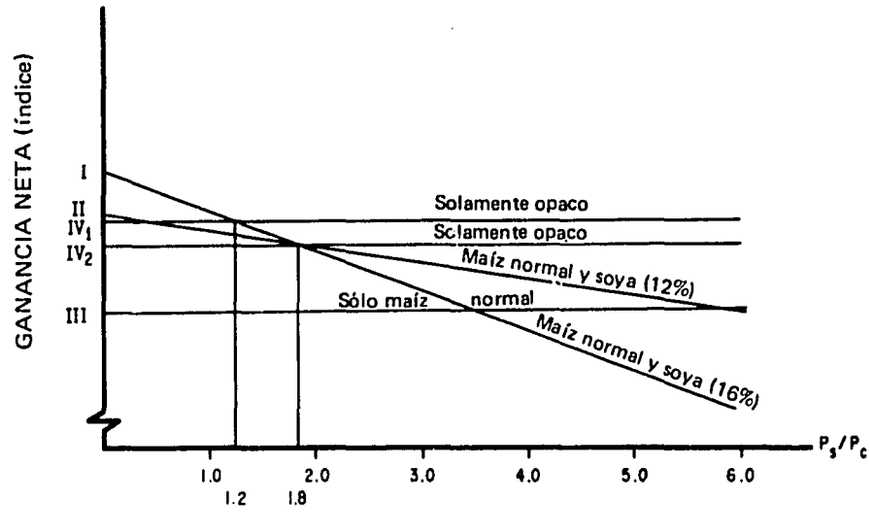


FIGURA 2 Ganancia neta relativa a partir de las varias dietas como una función del precio de la pasta de soya (período de engorde).

precios vigentes en el mercado al tiempo del estudio, a fin de elaborar modelos que pudieran aplicarse con cualquier serie de precios.

Se compararon dietas de maíz común y torta de soya con dietas de maíz opaco-2 para cada uno de los siguientes cuatro períodos: gestación, lactancia, crecimiento (20-50 kg, peso vivo) y engorde (50-90 kg).

Se compararon las dietas señaladas en la tabla 5.

Los datos usados para el análisis económico fueron obtenidos de experimentos de nutrición llevados a cabo por el Dr. Jerome Maner, del CIAT, y sus colaboradores. Los resultados biológicos usados en la evaluación económica se publicaron en diferentes revistas especializadas.

El maíz opaco-2 puede reemplazar al maíz común y todo el suplemento proteínico o parte de él. Por lo tanto, los beneficios y costos relativos de la substitución del maíz común por el opaco-2 dependen no sólo de los valores nutricionales relativos de los dos maíces sino, también, de los precios relativos de los mismos y del suplemento proteínico.

La tabla 4 indica el precio máximo estimado del maíz opaco-2 (en relación al precio del maíz común) al que el productor podría aumentar su ganancia neta substituyendo el maíz común por el opaco-2 en las dietas de los cerdos durante cada uno de los cuatro períodos mencionados. Por lo tanto, si el precio máximo estimado está por encima del precio de mercado del maíz opaco-2, el productor de cerdos que actualmente les da una dieta de maíz común, podría aumentar su ganancia neta haciendo el cambio al maíz opaco-2.

La relación existente entre el precio máximo del maíz opaco-2 y el precio del maíz común y de la torta de soya se expresa como:

$$\frac{P_o}{P_c} = a + b\,\frac{P_s}{P_c}$$

donde:

P_o = Precio del maíz opaco-2
P_c = Precio del maíz común
P_s = Precio de la torta de soya

Los coeficientes *a* y *b* pueden interpretarse como coeficientes de una ecuación de regresión ordinaria. De aquí que, para cada unidad de cambio en P_s/P_c, el coeficiente *b* muestra el cambio resultante en P_o/P_c. (La descripción completa del modelo matemático se encuentra en el estudio mencionado en la Bibliografía, bajo el punto 7.)

El precio máximo del maíz opaco-2 relativo al precio del maíz común que el productor de cerdos estaría dispuesto a pagar puede estimarse directamente de los coeficientes *a* y *b* para cualquier precio de la torta de soya.

La manera de utilizar este modelo se puede ilustrar con un ejemplo hipotético. Supóngase que un productor de cerdos puede comprar maíz común a US $60.00/ton, torta de soya a US $100/ton, y maíz opaco-2 a US $65.00/ton. Dados estos precios de mercado, el porcicultor quiere saber si debe usar una dieta de maíz común-torta de soya o una dieta de opaco-2 durante el período de engorde de sus animales.

El precio máximo que puede pagar por el maíz opaco-2 se puede calcular directamente del modelo $P_o/P_c = a + b\ (P_s/P_c)$ o bien, usando los coeficientes indicados en la tabla 4 y los precios señalados anteriormente: P_o/P_c = 0.810 + 0.158 (100/60) = 1.073. Por consiguiente, el porcicultor puede pagar hasta 7% más por el maíz opaco-2. Pero en el ejemplo el precio de mercado del maíz opaco-2 fue 8% más alto que el del maíz común (65/60), de manera que, dados estos precios, el porcicultor debe usar la dieta convencional de maíz común y torta de soya.

En la tabla 4 se dan los precios máximos estimados del maíz opaco-2, cuando el precio de la torta de soya es igual a 150% y a 200% del precio del maíz

TABLA 5 Comparación de dietas para cerdos

Período		*Dietas comparadas (O, opaco; C, normal)*
Gestación	I.	Maíz normal (74%) y pasta de aceite de soya (23%): CMS
	II.	Maíz opaco-2 (97%) OM
Lactancia	I.	Maíz normal (79%) y pasta de aceite de soya (17%): CMS
	II.	Maíz opaco-2 (96%): OM
Crecimiento	I.	Maíz normal (81%) y pasta de aceite de soya (16%): CMS
	II.	Maíz normal (96%): CM
	III.	Maíz opaco-2 (90%) y pasta de aceite de soya (6%): OMS
	IV.	Maíz opaco-2 (96%): OM
Acabado	I.	Maíz normal (81%) y pasta de aceite de soya (16%): CMS_{16}
	II.	Maíz normal (91%) y pasta de aceite de soya (6%): CMS_6
	III.	Maíz normal (96%): CM
	IV.	Maíz opaco-2 (96%): OM

común. Si el precio de la torta de soya es 150% del precio del maíz común, le conviene al porcicultor substituir el maíz común por el opaco-2 durante la gestación, siempre y cuando el precio del opaco-2 no exceda del 13% sobre el precio del maíz común. De acuerdo con los datos, durante la lactancia el opaco-2 debe reemplazar al maíz común y a la torta de soya únicamente si el precio del opaco-2 no excede el 10% sobre el precio del maíz común. Si el precio de la torta de soya es lo doble del que tiene el maíz común, conviene usar el opaco-2 a un precio hasta de 25% mayor que el maíz común durante la gestación y hasta de 19% mayor durante la lactancia.

Si se dispone de un suplemento proteínico a un precio razonable, no parece económico reemplazar al maíz común por el opaco-2 durante el período de crecimiento (20-50 kg). Sin embargo, si no se dispone de dicho suplemento (es decir: si la dieta consiste únicamente de maíz común), los costos de alimentación se pueden reducir considerablemente mediante la utilización del maíz opaco-2. Durante el período de engorde (50-90 kg), conviene desde el punto de vista económico reemplazar una dieta de maíz común-torta de soya (16%) por una dieta de opaco-2, si el precio de este maíz no excede el 5% sobre el precio del maíz común y la pasta de soya se puede adquirir a un precio igual al 150% del precio del maíz común. Si la dieta no incluye torta de soya, el maíz común debe ser reemplazado por el opaco-2, a menos que el precio de este último sea de más de 36% sobre el precio del maíz común.

El análisis anterior se hizo con el propósito de estimar el precio máximo del maíz opaco-2 que podría pagar el porcicultor sin reducir su ganancia neta, y para ello se usaron determinados precios relativos de torta de soya y maíz común.

Otro método de análisis sería establecer ciertas relaciones de precios entre el maíz opaco-2 y el maíz común, y estimar la ganancia neta relativa obtenida con diferentes dietas como una función del precio de la torta de soya. Las figuras 1 y 2 muestran la relación existente entre las ganancias netas relativas obtenidas con cada una de las dietas que se usaron en los períodos de crecimiento y engorda y el precio de la torta de soya. Se consideran dos alternativas con respecto a los precios del opaco-2 y del maíz común: 1) precio del opaco-2 igual al del maíz común, y 2) un precio 10% superior. En estas figuras cada línea se refiere a una dieta. Los números del I al IV se refieren a los números asignados a las dietas en la tabla 5. Las líneas marcadas III_1 y IV_1 en la figura 1, y la línea IV_1 en la figura 2, representan las dietas de opaco-2 cuando el precio del opaco-2 es igual al del maíz común, en tanto que las líneas marcadas III_2 y IV_2, en la figura 1, y IV_2, en la figura 2, representan la situación en que el precio del opaco-2 es 10% superior al del maíz común.

Para maximizar las ganancias netas, el porcicultor debe seleccionar la dieta representada por la línea superior, dado el precio de la pasta de soya. De aquí que se usaría la dieta I (maíz común y torta de soya) durante el período de crecimiento, a menos que el precio de la torta de soya fuese 320% superior al del maíz común. Si el precio de la torta de soya fuera tan alto, la dieta de maíz común debería ser reemplazada por maíz opaco-2 y torta de soya, en el caso de que el precio del opaco-2 fuese igual al del maíz común. Si fuera 10% más alto, no convendría usarlo, excepto cuando el precio de la torta de soya fuera 420% superior al del maíz común.

Si el maíz opaco-2 se consiguiera al mismo precio que el maíz común, se usa-

ría la primera dieta durante el período de engorde, cuando el precio de la pasta de soya fuese 20% superior al del maíz común. Si el precio del maíz opaco-2 es 10% más alto que el precio del maíz común, no conviene usarlo excepto cuando el precio de la torta de soya es 180% superior al del maíz común.

El análisis indica que resulta provechoso reemplazar al maíz común por opaco-2 durante los períodos de gestación, lactancia y engorde excepto en los casos en que se dispone de un suplemento proteínico muy barato, o cuando el precio del opaco-2 es mucho más alto que el precio del maíz común. Al parecer, el uso del maíz opaco-2 durante el período de crecimiento no ofrece ninguna ventaja económica, excepto cuando no se dispone de un suplemento proteínico o cuando éste tiene un precio muy alto.

Se debe señalar que los datos usados para el análisis anterior representan los resultados de experimentos llevados a cabo con cerdos de raza pura, en condiciones de buen manejo. No se sabe hasta dónde los resultados son válidos en el caso de cerdos criollos y condiciones de crianza inadecuadas. Más aún, se debe hacer hincapié en que el análisis no pretendió estimar ganancias netas absolutas de la producción porcina, sino sólo las ganancias netas relativas asociadas con las dietas de opaco-2 y maíz común.

Los resultados encontrados en este análisis son semejantes a los que se obtuvieron en Brasil (2). En el análisis brasileño, se encontró que si se dispusiera de un suplemento proteínico a un precio razonable, el maíz opaco-2 no constituiría el alimento más económico durante el período de crecimiento. Al comparar una dieta de opaco-2 con un concentrado comercial a base de maíz, se estableció que el porcicultor podría pagar hasta 18% más por el opaco-2 que por el maíz común durante el período de engorde, dados los precios existentes del suplemento proteínico. Comparado con una dieta de maíz común sin suplemento proteínico, se estimó que sería económicamente justificado usar el opaco-2 durante el período de crecimiento, a menos que su precio fuera mayor del 236% con respecto al precio del maíz común, y durante el período de engorde a menos que su precio excediera en un 125% o más al precio del maíz común.

Beneficios y costos para el productor

Los beneficios y costos para el productor de opaco-2 se pueden considerar en función de tres variables: 1) el precio esperado de la producción y del almacenamiento en la finca; 2) el precio esperado del maíz opaco-2 en la finca, y 3) el grado de riesgo e incertidumbre relacionado con tales expectativas. Al igual que en las secciones anteriores, este análisis tiene como objetivo el establecer una comparación entre el maíz opaco-2 y el maíz común. Por ello, se presentan en él los valores relativos y no los valores absolutos de costos, precio, riesgo, e incertidumbre.

Costos relativos. Excepto en el caso en que los precios de la semilla son muy altos, aparentemente no hay razones para pensar que el costo de producción por unidad de superficie, relativo al maíz opaco-2 diferirá del que se relaciona con el maíz normal. Empero, si la capacidad de rendimiento del opaco-2 está por debajo de la capacidad de los mejores híbridos normales, como

parece ser el caso en Colombia, el costo de producción por unidad del producto será mayor para el maíz opaco-2. Igualmente, el costo del almacenaje del maíz opaco-2 en la finca también tenderá a exceder el del maíz común, dado que el opaco-2 parece ser menos resistente a los ataques de insectos (5).

Para el agricultor que actualmente cultiva una variedad local de baja capacidad de rendimiento, la adopción del maíz opaco-2 probablemente significaría un aumento considerable en los rendimientos, desde luego, siempre y cuando el híbrido de opaco-2 fuese adecuado para las condiciones ecológicas específicas. En este caso, el costo de producción por unidad de producto tendería a reducirse. Sin embargo, los costos disminuirían aún más si se introdujera un híbrido normal de mayor rendimiento.

Precio relativo. El precio del maíz opaco-2 relativo al del maíz común será probablemente determinado por los factores específicos de oferta y demanda, así como por medidas gubernamentales de política agrícola. Se piensa que los costos relativos de producción, el riesgo y la incertidumbre constituirán los factores más importantes de la oferta. Si se prevé que el maíz opaco-2 rinda menos que el maíz común o si se percibe que el riesgo y la incertidumbre sean mayores, el productor de maíz estará dispuesto a cultivar opaco-2 sólo a un precio lo suficientemente alto para poder compensar estos factores adversos. Los factores más importantes que determinan el precio por parte de la demanda serían probablemente las preferencias relativas del consumidor, los precios de los productores substitutos disponibles, la capacidad adquisitiva del consumidor y la razón de substitución técnica entre el maíz opaco-2 y otros productos disponibles. Este último factor se refiere principalmente a la demanda de maíz opaco-2 para piensos de animales y alimentos procesados.

Si el comprador de maíz, siendo un consumidor, productor de ganado o firma elaboradora de alimentos, prefiere el opaco-2 sobre el maíz común, quizás esté dispuesto a pagar un sobreprecio por el maíz opaco-2. De aquí que se pudiera establecer un precio mutuamente satisfactorio y se suponga entonces una producción autosuficiente. Si no se prefiere el maíz opaco-2 y sus rendimientos son inferiores, es improbable que sin la intervención del gobierno se pueda establecer un precio mutuamente satisfactorio.

Riesgo e incertidumbre. El cambio del maíz común al opaco-2 puede incrementar el riesgo y la incertidumbre del productor por tres razones: 1) el maíz opaco-2 parece ser menos resistente a los ataques de los insectos: 2) es posible que cuando se introduzca el maíz opaco-2 no tenga un mercado bien establecido, y 3) el hecho de que es un nuevo producto tiende a aumentar los riesgos. Aunque no se pueden poner cifras de costo monetario general sobre estos factores de riesgo e incertidumbre, es probable que el agricultor cambiará hacia la producción de un producto de mayor riesgo únicamente si espera que las ganancias compensen el riesgo y la incertidumbre adicionales.

Con base en lo expuesto, podemos concluir que puede ser difícil promover una producción de opaco-2 a gran escala y autosuficiente entre los agricultores que conocen un híbrido normal de mayor rendimiento esperado o menor riesgo subjetivo, a menos que su precio sea mayor que el del maíz común. La magnitud de la diferencia de precio que se necesita, sería determinada por las diferencias del rendimiento, magnitud de riesgo y la incertidumbre, y el comportamiento de evasión del riesgo del productor. El mercado permitirá el precio diferencial

necesario sólo si la diferencia en la preferencia del comprador es lo suficientemente grande. Si éste no es el caso, se necesitará cierta intervención gubernamental para asegurar la producción y la utilización autosostenidas del maíz opaco-2.

Hasta ahora el análisis se ha referido a la producción comercial. Los beneficios potenciales para el agricultor de subsistencia son los del productor y los del consumidor combinados. El agricultor de subsistencia que actualmente cultiva una variedad local con un bajo potencial de rendimiento, puede aumentar su producción y mejorar la calidad de su dieta a través de la introducción del maíz opaco-2. Por tanto, además de conseguir una mejor dieta, este agricultor pudiera producir una cierta cantidad de maíz para el mercado. Pero una vez que este productor tiene la semilla híbrida, su mejor alternativa con respecto al opaco-2 no es la variedad local, sino un híbrido de maíz común que puede superar en rendimiento al opaco-2. El agricultor de subsistencia afronta las mismas decisiones que el productor comercial y que el consumidor, y un resultado posible sería que él produzca suficiente maíz opaco-2 para su propio consumo, y obtener así los beneficios del consumidor, y producir para el mercado ya sea maíz común o el opaco-2 dependiendo de los rendimientos y precios relativos, y así maximiza la ganancia neta del productor.

Intervención gubernamental. En tanto que los beneficios y costos para las personas y firmas implicadas en la producción, mercadeo y consumo del maíz opaco-2 pueden ser relativamente fáciles de estimar, no hay una medida única de los beneficios y costos para la sociedad. Una medida para facilitar la introducción del maíz opaco-2 sería el hacer del conocimiento público el efecto que tendría sobre la nutrición humana por unidad de recursos usados. Esta medida debe incluir: 1) el costo relativo del uso de otros alimentos para obtener efectos similares en la nutrición humana, y 2) el efecto de éstos en el empleo, los ingresos y la distribución del ingreso.

Si la meta de la sociedad es mejorar la calidad proteínica en la dieta que tienen las familias de bajos ingresos, se podrían considerar varias estrategias alternativas. Además de promover el maíz opaco-2 estas estrategias podrían incluir: 1) el mejoramiento de la calidad proteínica de otros alimentos básicos, tales como la yuca y el arroz; 2) la expansión de la producción y consumo de alimentos con alto contenido proteínico, las leguminosas de grano, la carne y la leche por ejemplo; 3) la fortificación de alimentos; y 4) el mejoramiento de la utilización de los alimentos con que se dispone en la actualidad por medio de la educación del consumidor, la distribución del ingreso, etc.

La selección de estrategias entonces se basaría en los resultados relativos obtenidos con estas estrategias por unidad monetaria. Los factores más importantes para lograr el éxito son: 1) el aumento de la disponibilidad de la proteína de alta calidad y bajo costo en una forma aceptable para el consumidor y, 2) el incremento del ingreso real para las familias de bajos recursos por medio del aumento de los salarios que obtienen y una reducción de los precios en los alimentos.

Para las variedades de maíz opaco-2 harinoso, es probable que se necesite intervención gubernamental para cerrar la brecha entre los beneficios netos privados y sociales. Si se desarrollara un maíz tipo cristalino con alto contenido

de lisina y con una alta capacidad de rendimiento, la necesidad de que el gobierno interviniese sería muy poco probable (5).

POLITICAS GUBERNAMENTALES

Como se mostró antes, el efecto nutricional potencial de la substitución del maíz común por el opaco-2 en Sudamérica parece ser bastante grande en realidad. A esto se le puede llamar beneficio social. Sin embargo, y como se dijo antes, es posible que el consumidor no estuviera dispuesto a reemplazar el maíz común por el opaco-2, particularmente, si el precio del opaco-2 es superior al del maíz común (4). Si el precio del opaco-2 no es mayor que el del maíz común, sería posible que el productor no se mostrara dispuesto a cambiar. Estos factores se deben a las relaciones beneficio-costo privadas. De esta manera, quizás se requiera la intervención del gobierno para: 1) asegurar que el precio de garantía del maíz opaco-2 en la finca sea lo suficientemente alto como para permitir su producción, y 2) informar al consumidor acerca del valor nutricional del maíz opaco-2 y las maneras de superar las diferencias en las características culinarias. Durante las fases de introducción, también se puede necesitar la acción gubernamental al afrontar cierto riesgo e incertidumbre, tanto en la producción como en el mercadeo.

Probablemente, la intervención gubernamental más eficiente en la mayoría de los casos sería un programa de precios de garantía que estableciera precios mínimos razonables tanto al nivel de la granja como al nivel de ventas al menudeo, junto con una campaña orientada hacia la educación del consumidor. [Los resultados de un estudio reciente en Colombia (4) sugieren que la promoción inicial de la producción y consumo del maíz opaco-2 se puede ver afectada en forma adversa por el rechazo de las instituciones de mercadeo a manejar el opaco-2. La duda o rechazo se debe principalmente al riesgo y la incertidumbre con respecto a la demanda por parte del consumidor. Un precio mínimo al nivel de menudeo podría reducir drásticamente ese riesgo e incertidumbre.] El costo de este programa dependería principalmente de la diferencia en rendimiento entre el opaco-2 y el maíz normal y en la disposición y habilidad de los consumidores para pagar un sobreprecio por el maíz opaco-2, una vez que se hayan percatado de las diferencias con respecto a las características nutricionales y culinarias. En el caso de Colombia, suponiendo que el precio del maíz opaco-2 que se necesita en la finca es 10% más alto que el precio del maíz normal y aún suponiendo que el consumidor compraría maíz opaco-2 sólo si su precio fuese igual al del maíz común, el costo anual que tendría que absorber el gobierno para sostener un programa de precios de garantía, si todo el maíz para consumo humano fuese opaco-2, sería de 4.3 millones de dólares (4, pág. 11).

Antes de concluir, se debe mencionar otra medida de política agrícola gubernamental. Siempre y cuando se pueda saber que los beneficios sociales netos que resultan de la substitución del maíz normal por el opaco-2 son grandes pero no se pueden percibir del todo, debido a que los beneficios subjetivos netos privados son mayores para el maíz normal debido a los rendimientos relativos, preferencias del consumidor, etc., el gobierno tal vez decidiera prohibir la

producción y la distribución de semilla de maíz normal. Antes de que se introduzca esta medida, el gobierno debe asegurar la disponibilidad de híbridos o variedades de maíz opaco-2 adecuados para todas las regiones productoras de maíz en el país.

Las posibles consecuencias de esta medida deben estudiarse cuidadosamente antes de introducirlo. Si los consumidores están dispuestos a pagar un precio considerablemente más alto por el maíz normal que por el opaco-2, el agricultor puede decidirse a cultivar una variedad local y producir su propia semilla. El resultado en este caso sería una reducción drástica de la cantidad total de maíz producido. Sin embargo, si a los consumidores les es indiferente consumir opaco-2 o maíz normal, la superficie que actualmente se cultiva con híbridos y variedades normales mejoradas probablemente se sembrará con maíz opaco-2, y el efecto neto en la producción se determinará por el rendimiento del opaco-2. El autor no está sugiriendo que toda la producción y distribución del maíz común sea prohibida en los países donde se dispone de suficiente semilla de opaco-2, sino que menciona esto más bien como una medida de política agrícola que se podría tomar en consideración.

BIBLIOGRAFIA

1. Arroyave, G. 1971. Consideraciones sobre requerimientos de proteínas y aminoácidos. *En* Moisés Béhar y Ricardo Bressani (eds.), Recursos proteínicos en América Latina. INCAPL-1, Guatemala, págs. 259-267.
2. Pardo, F., et al. 1972. Aceptabilidad del maíz opaco-2 en Colombia. Inst. Colombiano de Bienestar Familiar, Bogotá.
3. Patrick, G. F., y E. Batista de Oliveira. 1968. Possible economic impacts of high-lysine corn in human and animal nutrition. VII Brazilian Corn Conf., Viçosa, Brazil, agosto 18-23.
4. Perspective study of agricultural development for Latin America. 1972. FAO, PSWAD/01.
5. Pinstrup-Andersen, P. 1971. The feasibility of introducing opaque-2 maize for human consumption in Colombia. Centro Intern. Agr. Trop. Tech. Bull. 1.
6. Pinstrup-Andersen, P. 1971. El mercado de maíz opaco-2 en países latinoamericanos. Primer Seminario Alto Nivel Mercadeo Agropecuario, FAO, Quito, Ecuador, Sept. 2-Oct. 1.
7. Pinstrup-Andersen, P., y Rodrigo, Mera. La rentabilidad de reemplazar el maíz común por el maíz opaco en la dieta de cerdos. CIAT, Agr. Econ. Program.
8. Poey, F. 1971. Desarrollo y utilización del maíz con los genes opaco-2 y harinoso-2. *En* Moisés Béhar y Ricardo Bressani (eds.), Recursos proteínicos en América Latina. INCAPL-1, Guatemala, págs. 259-267.
9. Rosenfield, D. 1968. Amino acid fortification of stable foods. Conf. Protein Foods Caribbean, Georgetown, Guiana, Julio 29-Agosto 1.
10. What will the pay-off be on high-lysine corn? Agr. Sci. Rev. (3rd quart.), 1968.

POSIBILIDADES TECNICAS Y ECONOMICAS PARA MEJORAR LA CALIDAD PROTEINICA DE LOS ALIMENTOS MEDIANTE FORTIFICACION Y SUPLEMENTACION

Martin J. Forman
e Irwin Hornstein*

La comida se selecciona y los platillos se preparan conforme a estándares subjetivos individuales de sabor, olor y textura que se consideran como "buenos". Es axiomático que la gente come, no se nutre.

Dichos estándares están determinados por la cultura del grupo y las experiencias del individuo. Los patrones de alimentación que prevalecen en una cultura determinada no garantizan que los alimentos sean particularmente nutritivos. Los hábitos alimentarios están profundamente arraigados y son difíciles de cambiar, particularmente si la necesidad del cambio se presenta como una abstracción cuyos beneficios están en el futuro, y cuando las relaciones de causa y efecto no se perciben fácilmente.

Sin embargo, los hábitos alimentarios suelen cambiar, y bajo suficiente tensión, estos cambios pueden ser relativamente rápidos. Los patrones de consumo de alimentos pueden cambiar rápidamente cuando una familia empobrecida se traslada de un ambiente rural a uno urbano, o cuando se introducen cultivos alimenticios básicos que son fáciles de cultivar, tienen alto rendimiento y son baratos. Así, la yuca puede reemplazar a un cereal; la alimentación con leche materna puede cesar porque la madre tiene que regresar a trabajar poco tiempo después del parto, etc.

* Oficina de Nutrición, Agency of International Development, U.S. Department of State, Washington, D. C.

Estos cambios súbitos pudieran tener, nutricionalmente, grandes efectos, de manera que hagan más urgente la necesidad de mejorar la calidad nutricional de las nuevas dietas. El fitogenetista, el nutriólogo o el especiaiista en dietética que se preocupa por el desnutrido y el pobre, acepta la premisa de que la calidad nutricional debe mejorarse en cultivos y alimentos con un impacto mínimo en los hábitos alimenticios existentes. Los estudios en torno al maíz opaco-2 subrayaron estos puntos; pocos pagarán más por una proteína bien balanceada en el maíz (una abstracción), y menos todavía aceptarán el maíz que es nutricionalmente excelente, pero considerado estéticamente desagradable a la vista o al paladar. Por ello la tarea del fitogenetista se convierte en introducir a los cultivos una mejor calidad nutricional sin aumentar su costo ni afectar su aceptación.

El tecnólogo de alimentos dedicado a la fortificación afronta sus propios problemas. El debe encontrar, en el proceso que va de la finca al consumidor, algún punto donde pueda intervenir, y de nuevo, esta intervención debe dar como resultado un alimento que sea compatible en su precio y sabor con los alimentos que se consideran como aceptables.

ESTRATEGIAS PARA EL MEJORAMIENTO EN LA NUTRICION

No existe un desarrollo científico y tecnológico suficiente, ni hay la suficiente experiencia real, que permita derivar conclusiones con respecto a los méritos relativos de los programas de fitomejoramiento y fortificación como estrategias alternativas para mejorar la nutrición. Sólo las circunstancias específicas determinarán si una u otra estrategia, la combinación de ambas, o ninguna de ellas, ofrece el enfoque más adecuado para resolver un problema nutricional determinado en un grupo social específico residente en una región dada.

La experiencia que se tiene hasta la fecha sugiere que, independientemente del enfoque, un intento serio de combatir la desnutrición requiere: a) el reconocimiento a nivel nacional de la existencia de un problema de desnutrición; b) una conciencia del efecto de la desnutrición en el desarrollo, y c) el compromiso, por parte del gobierno, de participar activamente en el trabajo encaminado a resolverlo. Los esfuerzos aislados y sin coordinación, dependientes más bien de las energías y las destrezas específicas de un individuo o de un grupo, pueden llevar hacia proyectos venturosos que involucran al fitomejoramiento y la fortificación. Si bien dichos proyectos pudieran ser venturosos, su efecto será limitado si el gobierno no se compromete a incorporar los resultados de esos esfuerzos a programas más amplios.

Sin embargo, los gobiernos no se pueden comprometer realistamente a menos que se puedan estimar la factibilidad y los costos que acarrean las soluciones propuestas para mejorar la nutrición, y hasta que se pueda realizar una evaluación de la efectividad potencial de dichas soluciones.

Varias universidades y los centros internacionales de investigación agrícola (financiadas, además de otras instituciones, por las principales fundaciones y la AID) están estrechamente involucrados en el desarrollo de nuevas variedades. La

Oficina de Nutrición de la AID, por su parte, respalda varios proyectos en el campo de la fortificación.

Los trabajos de fortificación se han elaborado con el fin de estimar la factibilidad, el efecto nutricional y el costo, es decir: se hicieron con el fin de suministrar la información que pudiera ser utilizada para iniciar la programación nutricional a escala nacional.

Los proyectos de fortificación de AID que se tienen en marcha se relacionan con trigo, arroz y yuca. Los proyectos se prepararon con el propósito de mejorar la calidad proteínica de estos alimentos básicos mediante la adición de concentrados de aminoácidos y/o proteínas, así como minerales y vitaminas. Los proyectos se describen brevemente a continuación.

Fortificación del trigo

En el sur de Túnez se tiene un proyecto piloto cuyo objetivo es estimar el efecto de la suplementación del trigo con vitaminas, hierro y lisina. El área de trabajo es pobre y el ingreso familiar mensual promedio es de 30-40 dólares. Las comunidades incluidas en el estudio limitan con el Desierto del Sahara. La precipitación pluvial es menor de 100 milímetros al año y sólo es adecuada para una agricultura incipiente. Se estima la mortalidad infantil en un 20% del total de los nacimientos; la mayoría de estas muertes ocurren en los primeros meses de vida. Ordinariamente los bebés son alimentados con leche materna hasta que tienen 2 años de edad y luego consumen la dieta usual de ios adultos.

El trigo es el alimento básico de estas comunidades. Este cereal suministra más del 60% de la ingestión diaria de calorías y más del 70% de la ingestión diaria de proteínas. Los productos de trigo que se consumen se elaboran con el trigo que se muele en el norte de Túnez. Todos los aspectos de molienda, distribución y venta del trigo son controlados por el gobierno.

Doce comunidades cuya población suma unas 16 000 personas (de los cuales 3 000 son niños de edad preescolar), se dividieron en 3 poblaciones de estudio. Un grupo recibe trigo sin fortificar; un segundo grupo recibe productos de trigo, suplementados con vitaminas y hierro, y el tercer grupo recibe productos de trigo fortificados con lisina, vitaminas y hierro.

Los diversos nutrimentos fortificantes son premezclados en los Estados Unidos. Los dos tipos de premezcla con y sin lisina se envían a Túñez. Las premezclas se entregan a los molinos apropiados en Túnez, donde se fortifica el trigo según tasas predeterminadas. Las bolsas de productos enriquecidos se identifican mediante un código de color. Luego se envían a almacenes donde los compran los comerciantes de las comunidades. Estos comerciantes sólo pueden comprar productos marcados con un color determinado, y no están advertidos del suplemento nutricional que la bolsa contiene, sino sólo de que el color indica que se trata de un producto de calidad mejorada. Todos los productos de cereales han sido fortificados desde mediados de junio de 1971.

La composición de la mezcla de fortificación se muestra en la tabla 1. El costo de los ingredientes es de cerca de 8.40 dólares por tonelada. El costo de la lisina es de un 80% del costo total. Si una tonelada métrica de harina se valora en

TABLA 1 Composición de la mezcla de trigo fortificado usada en un estudio de Túnez.

Nutrimentos	*Aumento en harina (mg/Kg)*
Vitamina A	52.0 (13,000 I.U.)
Vitamina D	1.3 (2,600 I.U.)
Tiamina	9.63
Riboflavina	5.94
Niacina	67.63
Hierro	59.25
L-lisina	3,000

200 dólares aproximadamente, el costo de los ingrediente para fortificar la harina de trigo aumenta el precio en un 4.2%. Sin embargo, la fortificación con hierro y vitaminas alcanza un 0.5% de dicho aumento.

Hegsted ha encontrado que la proteína aprovechable del trigo aumenta de 3.20 a 5.34% al ser fortificada con 0.2% de lisina HCl. Esto equivale a un aumento de 2.14 gramos de proteína por cada 100 gramos de harina de trigo. Sobre esta base, el costo de las proteínas utilizables es aproximadamente de 10 centavos de dólar por libra. El costo de este ingrediente es por supuesto sólo una parte del costo total. Hay que considerar el costo de a) equipo *extra,* b) adiestramiento de los técnicos, y c) seguimiento del producto fortificado. Si suponemos que esto aumenta el valor en un 50%, el costo de 0.51 dólares por kilo, por obtener proteínas aprovechables, es todavía una cifra satisfactoria.

Fortificación del maíz

En Guatemala se tiene en marcha un proyecto de fortificación de maíz. El Dr. Bressani discutió este proyecto previamente. A diferencia del proyecto tunecino donde el trigo se procesa en una planta central y luego se distribuye, la fortificación del maíz se lleva a cabo al nivel de la comunidad. El estudio se realiza en 2 comunidades: Santa María Cauque (comunidad con maíz fortificado) y Santo Domingo Xenacoj (comunidad testigo). Santa María Cauque tiene alrededor de 1 500 habitantes. Las condiciones de vida en ambas comunidades son un tanto primitivas, y se caracterizan por una elevada tasa de desnutrición, enfermedades infecciosas y retardo de crecimiento. La selección de estas 2 pequeñas comunidades y la disponibilidad de una gran cantidad de datos lineales acumulados durante los 8 ó 9 años previos sobre incidencia de infecciones, pesos al nacer, morbilidad, etc., permiten las comparaciones programadas para medir el efecto de la fortificación. De este modo:

1. Se dispone de datos lineales para la comunidad del tratamiento de fortificación. Estos datos permitirán que se pueda comparar a los niños nacidos

en Santa María Cauque durante 1964 y 1971 y durante 1972 y 1976. Estas comparaciones abarcarán: crecimiento fetal, crecimiento postnatal, ingestión distética, mortalidad infantil, morbilidad e infección de Shigella.

2. Estas mismas comparaciones se harán entre los niños de Santa María Cauque que viven con familias que se alimentan con (a) maíz fortificado o (b) con maíz testigo.

3. Los niños que nacen en la comunidad de tratamiento y en la comunidad testigo durante el período 1972-1976 se compararán con respecto a su crecimiento fetal, crecimiento postnatal y mortalidad infantil.

El procedimiento de fortificación en la comunidad es sencillo. Las mujeres o los niños llevan el nixtamal a la comunidad donde se muele y se pesa. Si la mezcla se fortifica, la mezcla de fortificación se mide según el volumen y se añade al nixtamal. La mezcla se vacía en el depósito del molino mecánico y luego se muele. Luego se recoge la masa, se reemplaza en el depósito y se lleva a casa. En el proceso, la única intervención es la introducción de cambios pequeños del equipo y la adición del suplemento.

En este caso, la mezcla de fortificación consta de harina de soya (50% de proteína), lisina, minerales y vitaminas. La mezcla fortificante se añade a un nivel de 8% por peso de maíz seco al nixtamal. La mezcla aumenta el contenido de proteína del maíz a aproximadamente un 12% y suministra la lisina y el triptófano y las vitaminas y minerales que faltan en la dieta de la región.

La mezcla de fortificación para esta prueba de campo se prepara en los Estados Unidos. El precio del primer lote de la mezcla de fortificación fue de 0.57 dólares por kilo, sin incluir el transporte. A un 8% de concentración, el costo adicional del maíz es de unos 0.04 dólares por kilo de maíz.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la soya se puede sembrar y procesar en Guatemala, y que se puede mezclar y empacar en las propias comunidades. Empleando soya local y vitaminas importadas, el costo de la mezcla fortificante es de unos 0.22 dólares por kilo. A un 8% de concentración, el costo adicional sería de unos 0.018 dólares por kilo.

Fortificación del arroz

Luego de un estudio piloto de un año, preparado a fin de desarrollar la metodología, se seleccionaron 29 comunidades de la región de Chiang Mai, en Tailandia, para estudiar a fondo la fortificación en el arroz. Las comunidades tienen un total de unos 13 500 habitantes, de los cuales 1 600 son niños entre los 6 meses y los 6 años de edad.

Por cualquier criterio clínico, el estado nutricional de las comunidades es pobre. El arroz proporciona aproximadamente el 80% de las calorías consumidas. Las encuestas dietéticas y clínicas indican que las dietas son muy bajas en riboflavina, en tiamina y en vitamina A. Se ha reportado un gran número de casos de anemia, tanto en niños como en mujeres.

Las comunidades se dividieron en cinco grupos, a saber:

1. Sin tratamiento, testigos solamente.

2. Testigos de placebú (innocuos), y gránulos placebú (innocuos) fortificantes añadidos al arroz; con centros de asistencia durante el día.

3. Granos de fortificación de arroz (GFA) que contienen tiamina, riboflavina, vitamina A y hierro; con centros de asistencia durante el día.

4. Granos de fortificación que contienen lo que se indica arriba, más lisina y treonina; con centros de asistencia durante el día.

5. Granos de fortificación como los del Grupo 4; sin centros de asistencia.

La mezcla de fortificación utilizada en este estudio se añade en la forma de un gramo de arroz sintético (GFA) al nivel de 1% al arroz cuando éste sale del molino del pueblo. Se han construido recipientes para el GFA, y se han anexado a cada uno de los molinos empleados en este estudio.

Los nutrimentos del GFA completamente fortificados son los siguientes: 20% de L-lisina HCl; 10% de L-treonina; 0.05% de tiamina; 0.6% de riboflavina; 0.7% de vitamina A; 0.2% de hierro derivado de $FePO_4 \cdot 4H_2O$.

Hubo cierta renuencia a añadir riboflavina porque afectaría el color de GFA. Si fuese objetable esto, la gente podría darse cuenta y descartaría el GFA. Sin embargo, es grande la necesidad de riboflavina y a partir de mayo de 1972 se le ha incorporado al GFA, sin que aparentemente afecte sobre la aceptación.

La vitamina A se añade como el acetato en una solución de aceite. A cada gramo de GFA se le ponen 2 370 UI. La vitamina sufre una reducción de la actividad durante el procesamiento y almacenaje. Los datos disponibles indican que el almacenamiento del GFA por 90 días a 30° C, da como resultado una pérdida combinada del 45%. Por ello, el GFA utilizado contiene alrededor de 1 300 UI de vitamina A por gramo.

Se toman, independientemente, varias medidas de vigilancia para verificar si el GFA se añade y se consume apropiadamente. Entre otras medidas se tienen: a) registros por parte de los molineros, b) verificaciones de los molinos, c) verificación visual en casas y en los centros de asistencia a fin de localizar los granos colorados de riboflavina, y d) análisis de harina en base a la tiamina.

Es difícil estimar el costo de un programa de fortificación en Tailandia. El costo de los ingredientes para la fortificación con minerales y vitaminas es mínimo (menos de 70 centavos de dólar por tonelada de arroz) y, si se añade otro dólar por los costos misceláneos, el aumento en el costo del arroz será de sólo 1%.

Lo que aumenta el costo en forma notable es la adición de lisina y, particularmente, de treonina. Se puede suponer que la lisina se puede adquirir a 2.20 dólares por kilo, pero es difícil hacer una estimación precisa del costo potencial de la treonina; en este momento parecería razonable un futuro precio de 17.60 dólares por kilo. El costo de los aminoácidos por tonelada de arroz sería entonces de unos 12 dólares por tonelada, lo cual incrementaría el costo del arroz en otro 8%.

Un aumento del 10% en el costo, basado en el costo de los ingredientes, es alto. Sin embargo, si aumenta en forma notable la demanda de aminoácidos, estas cifras parecerán sospechosas. Habrá que ver lo que pasa con la industria química si la demanda se hace evidente.

Fortificación de yuca

En Brasil se evalúa la fortificación de la yuca con soya. Por nuestra parte, hemos enfocado la cuestión de la fortificación de la yuca desde un punto de vista

más pragmático. Los objetivos del proyecto son: (1) poner en el mercado del área metropolitana de Río de Janeiro una harina de yuca fortificada; (2) verificar su costo real; (3) estimar su aceptación, y (4) determinar las necesidades de la introducción de yuca fortificada en gran escala.

En la última década se ha acelerado la migración de gente que procede de áreas rurales improductivas hacia las ciudades. El motivo es la búsqueda de mejores oportunidades de empleo. Miles y miles de personas entran a las ciudades y al sistema de mercado comercial. Teniendo ingresos marginales, compran lo que les es más familiar, barato y llenador: la yuca. Esto ha causado una mayor comercialización del producto. Se vende suelta en las calles y en bolsas de polietileno en los mercados grandes. Esta comercialización en gran escala proporciona el punto de intervención necesario para emprender la fortificación.

Granfino, una firma grande, quizás la mayor, de procesamiento y empaque de yuca ha convenido llevar a cabo la prueba preliminar de mercado. Los estudios preliminares indican que una mezcla de yuca y soya es aceptable. Durante el próximo año tendremos un panorama más claro de la practicabilidad de este enfoque.

COMPARACION ENTRE FITOMEJORAMIENTO Y FORTIFICACION

Según lo que se ha dicho, parece que el enfoque de fortificación tiene objetivos y problemas semejantes a los del "fitomejoramiento para lograr una mejor nutrición". También parece que ambos enfoques tienen ventajas y desventajas inherentes. Los factores que se deben considerar al estimar la *viabilidad* ya sea del fitomejoramiento o de la fortificación para mejorar la calidad proteínica, se pueden presentar como sigue:

Consideraciones en cuanto a la practicabilidad

Fitomejoramiento

1. ¿Cuál es la posibilidad de incorporar una mejor calidad proteínica en los principales cultivos alimenticios? (Por ejemplo, el mejoramiento de la proteína en la yuca puede ser difícil de lograrse.)
2. ¿Depende el mejoramiento de los cultivos de un programa de investigación a largo plazo o sólo basta con incorporar las características genéticas disponibles?
3. ¿Se dispone de instituciones y personal adiestrado para llevar a cabo el programa?

Fortificación

1. ¿Existe un cultivo básico que sea la principal fuente de calorías?
2. ¿Cuáles son los alimentos que se pueden fortificar?
3. ¿Se dispone de fortificantes potenciales en las localidades interesadas, o se tienen que importar?

4. ¿Se procesan los alimentos en un solo centro o en molinos dispersos por las comunidades rurales?
5. ¿Se pueden identificar los puntos de intervención apropiados?
6. ¿Los alimentos se muelen (por ejemplo, nixtamal o harina de trigo), o se consumen enteros?
7. ¿Se puede beneficiar al grupo objetivo mediante la fortificación?
8. ¿Qué fracción del alimento fortificado llegará al grupo objetivo?

Criterios de aceptación

Fitomejoramiento. ¿Presentarán problemas las nuevas variedades al agricultor, el procesador o el consumidor? El agricultor puede encontrar que los rendimientos son bajos y que la resistencia a las plagas y a las enfermedades es muy reducida. El procesador puede descubrir que para la nueva variedad se requieren modificaciones al equipo existente. El consumidor puede considerar indeseables los cambios en la apariencia, textura y las características para la preparación del alimento en el hogar.

Fortificación

1. Los problemas de aceptación son mínimos si la calidad proteínica se mejora mediante fortificación de los aminoácidos.
2. La aceptación se puede volver un problema más grave si se agregan concentrados de proteína. ¿Se puede agregar suficiente concentrado como para tener efectos sobre la nutrición sin menoscabar la aceptación? Si no, ¿se puede desarrollar una tecnología adecuada para incorporar el concentrado suficiente y así lograr el efecto deseado?

Ventajas inherentes

Fitomejoramiento

1. El alcance del proyecto puede ser del 100% tanto en las áreas rurales como en las áreas urbanas *si* se desarrolla una variedad que sea aceptable por completo. Es concebible que el abastecimiento alimentario de toda una región puede mejorarse sin necesidad de efectuar cambios en el proceso o en los sistemas de distribución y sin costo alguno para el agricultor o el consumidor.
2. Una vez que se produzcan las variedades más satisfactorias, el programa de fitomejoramiento requerirá menos esfuerzo y recursos para perpetuar el programa.

Fortificación. La fortificación permite la adición de una amplia variedad de nutrimentos, es decir: minerales, vitaminas, lípidos, aminoácidos, concentrados proteínicos, etc. Se debe dar gran importancia a la habilidad para incorporar otros nutrientes. La utilización adecuada de la calidad proteínica mejorada puede depender del balance apropiado de vitaminas y minerales en la dieta.

Desventajas inherentes

Fitomejoramiento

1. Para derivar beneficios potenciales de las nuevas variedades, los agricultores de subsistencia pueden ser requeridos para adoptar nuevas prácticas agronómicas tales como la irrigación, los fertilizantes y los pesticidas.
2. El agricultor puede rehusarse a aceptar correr un riesgo desconocido por obtener un posible beneficio, también desconocido.
3. Si la nueva variedad constituye un híbrido, el agricultor de subsistencia puede rehusarse a comprar semillas cada año.
4. Las nuevas variedades que requieren cultivarse en gran escala pueden aumentar la desigualdad de la distribución del ingreso y afectar los cultivos en general. Luego, las nuevas variedades pueden acelerar la migración de los agricultores de subsistencia hacia las ciudades y causar un cambio en los cultivos, que podría ser perjudicial. Por ejemplo, en la India se aumenta la producción de trigo a expensas de las leguminosas.

Fortificación

1. La cobertura potencial del proyecto es limitada en las áreas rurales.
2. La fortificación es cara en términos de costo per cápita al alcanzar al grupo objetivo.
3. Un programa de fortificación no está delimitado. El fortificante debe ser añadido tanto tiempo como sea necesario a fin de mejorar el alimento básico.

OTRAS CONSIDERACIONES

Tanto en el fitomejoramiento como en la fortificación, la solución del problema científico-tecnológico de aumentar el valor nutritivo constituye únicamente el primer paso importante. Para que estos resultados se traduzcan en programas que tengan efecto sobre el consumidor, será necesario asegurar que sean fáciles de llevar a cabo, es decir: que haya una manera real de intervenir en el sistema alimentario. En el caso de la fortificación, esta manera quiere decir la disponibilidad de instalaciones centrales de procesamiento.

Finalmente, el producto resultante debe ser aceptable para los procesadores y para los consumidores en términos de sus características de procesamiento, sabor y costo. Hasta ahora, la fortificación con aminoácidos, concentrados proteínicos o granos de arroz simulados no ha presentado problemas insolubles del cambio de las características de procesamiento, ya que los nutrimentos se incorporan durante la molienda o inmediatamente después, como es el caso de los granos sintéticos de arroz.

De modo semejante, las características de gusto, que abarcan el sabor, el olor y la textura, no se han alterado en el caso del trigo, el maíz y el arroz, y hasta ahora parece que los productos son aceptados por el consumidor. Con respecto a la yuca, las pruebas preliminares de gusto llevadas a cabo con un

panel, indican que el uso de la soya como fortificante no conlleva problemas de sabor, pero debemos esperarnos a realizar una prueba más extensa bajo condiciones más típicas, antes de que se pueda determinar la aceptación real.

En todos estos productos, se reconoce que las interrogantes con respecto a su aceptación en términos de gusto y de características para el proceso serán contestadas sólo después de que se logre una difusión amplia del producto bajo las condiciones de vida reales, y éste es precisamente uno de los objetivos principales de los ensayos de campo mencionados antes.

Al estimar la aceptación, el factor costo es más complicado. Los datos sobre costos, elaborados hasta ahora, son preliminares y consisten básicamente de estimados de los costos de los ingredientes, mezclado, e inversiones de capital (equipo). Los costos administrativos y de operación no se han determinado adecuadamente, aunque no se espera que esto sea una tarea enorme.

Sin embargo, cuando esto se haga todavía habrá algunas complicaciones. ¿Cómo se va a absorber este costo? Al parecer hay dos posibilidades: subsidio gobernamental o transferencia del costo al precio que pagará el consumidor. De ambas, la última es la opción más apegada a la realidad. ¿Pero qué significará esto en términos de llegar a los grupos sociales que más necesitan una mejor nutrición? Si se les da la opción de comprar productos fortificados a precios más altos, o productos sin fortificar a precios más bajos, el consumidor de bajos ingresos pudiera ser inducido a escoger el producto de baja nutrición y bajo precio. Si el gobierno requiere que *todos* los alimentos básicos se fortifiquen, no se tendrá este problema, pero el nuevo y más alto costo pudiera tener el efecto de causar mayores compras de alimentos básicos de bajo precio y calidad inferior, en tanto que el nuevo producto compite con otras mercancías de alto costo.

Los cálculos de los costos deben también considerar la cuestión de las divisas extranjeras. Si hay que importar continuamente los fortificantes como aminoácidos sintéticos, vitaminas y minerales, el gobierno puede rehusarse a añadir a su pasivo del intercambio comercial aún una cantidad mínima ya que en este respecto la fortificación puede ser más costosa que lo que indica el pequeño aumento porcentual en el costo del producto que paga el consumidor.

RESUMEN

En síntesis, el programa de fortificación ha aumentado hasta el punto en que se llevan a cabo ensayos de campo a fin de determinar una posibilidad real. Tales respuestas vendrán en el curso de los próximos dos años. Es probable que se establezca dicha posibilidad para dos o posiblemente tres productos, pero el grado con que se emprendan los programas de fortificación dependerá de varios factores, entre las cuales figura la ventaja relativa de utilizar las nuevas variedades desarrolladas mediante el fitomejoramiento genético. Por esta razón, urge que los nutriólogos y los fitogenetistas mantengan un diálogo y un intercambio de información continuos. Es también esencial que los productos del fitomejoramiento sean examinados en términos de su viabilidad, potencial nutricional y aceptación en lo que se refiere a gusto, características de procesamiento y costo. Un diri-

gente puede decidir la implementación de un programa propuesto en términos de las ventajas que percibe únicamente, aunque más tarde sepa que había mejores soluciones. Los que abogan por el cambio presentarán alternativas junto con las evidencias de sus costos relativos y sus consecuencias. Tal enfoque será un prerrequisito para poder tomar una buena decisión.

(En la sección de *Preguntas y Respuestas,* hay un análisis de esta ponencia.)

PROGRAMAS NACIONALES DE PRODUCCION PARA INTRODUCIR MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA EN LOS PAISES EN DESARROLLO

Ernest W. Sprague*

Espoleada por las necesidades de un mundo hambriento de proteínas, la investigación sobre maíz ha avanzado con rapidez durante los últimos 10 años. Fitomejoradores, bioquímicos y nutriólogos han combinado esfuerzos para desarrollar variedades e híbridos de maíz que sean nutritivos, económicos y disponibles para todos. Desde que Mertz, Bates y Nelson señalaron la mayor calidad nutritiva del maíz opaco-2 en 1963, el potencial de esta fuente de alimento de alta calidad proteínica se ha estudiado rigurosamente y con éxito creciente.

En los últimos años han convertido numerosas poblaciones de maíz genéticamente diversas y variables con su carga inherente de modificadores, y han hecho selecciones en muchos ambientes con respecto a una amplia gama de características a fin de suministrar la base germoplástica para el desarrollo de variedades e híbridos de alta calidad proteínica. En la actualidad, los ensayos cooperativos internacionales de los nuevos materiales —llevados a cabo en 54 sitios de 24 países de Asia, Africa y América— indican que muchas variedades se aproximan con rapidez a los estándares comerciales.

* CIMMYT, México.

La rapidez de los avances de la investigación sugiere que ahora debemos emprender, a nivel global, una campaña efectiva para impulsar la adopción y la producción de las nuevas variedades de maíz, y así compartir sus beneficios con los países subalimentados del mundo. Empero, debemos planear bien. Si bien no hay un cartabón que se ajuste a las necesidades de cada país, se pueden proponer algunos lineamientos generales. Las experiencias venturosas en algunos países y regiones se pueden adaptar a otras áreas. Asimismo, se espera que las experiencias adversas de algunos países se puedan aprovechar para no repetir errores.

Un factor parece cierto: si el mundo ha de aprovechar el potencial del maíz de alta calidad proteínica, debe haber un flujo continuo de materiales genéticos hacia y entre los programas nacionales de maíz. Hay que definir más claramente los esfuerzos nacionales y se deben brindar más oportunidades a los científicos nacionales de participar a nivel internacional, para que así tengan más acceso a los mejores materiales y mejor información.

El siguiente bosquejo de los requerimientos de un programa de maíz ilustra algunos puntos de enfoque para los programas nacionales. Se señalan las limitaciones de organización y las estructurales, y la sección final se dedica a esquemas de formación de personal.

EL PAPEL DE LOS PROGRAMAS NACIONALES

El éxito de la promoción del maíz de alta calidad proteínica dependerá de la eficacia comunicativa de los investigadores y de su habilidad para convencer a los programas nacionales de la importancia del cultivo. Nosotros los científicos, al seguir nuestro enfoque conservador y tradicional, a menudo hemos sido comunicadores deficientes, por lo menos cuando nuestros esfuerzos se miden a escala masiva. Tendemos más a relacionar nuestros hallazgos con otros investigadores que a preocuparnos por aplicar la información al nivel de la producción.

Confrontamos ahora el desafío de reorientar nuestro pensamiento y estudio hacia necesidades más globales. Primero debemos persuadir a los planificadores gubernamentales y a quienes formulan las políticas, de que se comprometan de manera firme en favor de programas de investigación y producción. Luego, en ciertos países, debemos urgir a que se dé alta prioridad a la planeación y organización de programas de maíz.

Sin embargo, históricamente los gobiernos no han otorgado alta prioridad a la producción de alimentos sino hasta que sus pueblos confrontan condiciones de casi-hambruna, o hasta que el costo de la importación de alimentos hace que la producción autosuficiente sea la alternativa política y económica más atractiva. El compromiso del gobierno es esencial; sólo con su apoyo se puede organizar un programa nacional efectivo dentro de los recursos económicos del país.

LIMITACIONES DE LOS PROGRAMAS DE INVESTIGACION Y PRODUCCION

Por lo general, los programas nacionales están limitados por varios factores entre los que figuran: (1) carencia de personal calificado de investigación y

producción, y (2) falta de una estructura organizacional que en forma eficaz genere la tecnología y la difunda en la producción al nivel de la finca.

Según se bosqueja posteriormente en este trabajo, la mayoría de los países requerirá de un mínimo de 10 a 15 años para tener el personal técnico que los haga autosuficientes en sus necesidades de investigación y producción. A menudo, las demandas de personal, requerirán que una gran proporción de los agrónomos recién graduados ingresen al sistema de producción de un solo cultivo (maíz). No es frecuente que los gobiernos aprecien el costo y el tiempo necesarios para dotar de personal a una institución agrícola. Es más común que los planeadores gubernamentales encuentren más fácil estimar metas de producción que planear un programa de investigación y producción eficaz, junto con el personal técnico necesario para lograr las metas de producción.

Otros factores que habrán de considerarse son los siguientes:

1. Los presupuestos para los programas nacionales, aunque de extrema importancia, rara vez son el factor limitante inicial. De igual manera, el crédito es raramente el primer factor limitante para acelerar la producción, aunque a menudo se torna en restricción conforme la producción aumenta.

2. Los precios razonables y estables de los insumos de producción y del cultivo cosechado son extremadamente importantes. En muchos países la relación entre el costo del fertilizante y el precio del grano no constituye un incentivo económico suficiente. Sin este incentivo, los mejores esfuerzos de investigación y producción podrán hacer bien poco para acrecentar la producción.

3. La indisponibilidad de fertilizantes y otros productos agroquímicos en el lugar y tiempo adecuados puede ser una dificultad. A menudo estos productos son controlados por instituciones oficiales y sus servicios varían de un país a otro. Los sistemas actuales rara vez funcionan bien. Muchas de las fallas de la planeación se deben a la asesoría inapropiada del sector agrícola, de manera que no se anticipan abastecimientos suficientes, en particular conforme la producción aumenta con rapidez.

4. Con frecuencia no se entienden ni la agricultura ni los cambios que tienen lugar o que podrían ocurrir. En mi opinión, cada país debería tener un competente economista de producción que pudiera comunicarse eficazmente con el personal agrícola y con los planeadores a nivel nacional.

NUEVOS ENFOQUES

1. En el CIMMYT tenemos la firme convicción de que los planeadores deben alejarse de los sistemas tradicionales de organización agrícola estructurados en torno a las disciplinas académicas. Consideramos que los antiguos sistemas deben reorganizarse en equipo orientados hacia los cultivos. Históricamente, los cultivos industriales tales como el hule, que han sido investigados por equipos técnicos orientados hacia un solo cultivo, han tenido más éxito que los cultivos alimenticios, los cuales por lo general no han sido estudiados por equipos interdisciplinarios. La producción de maíz en los Estados Unidos ha sido muy exitosa, tal vez porque las compañías norteamericanas de semillas han puesto a sus propios equipos de investigación y producción a trabajar en un solo cultivo.

2. Hay que encontrar modos de reunir equipos eficaces de investigación y producción. Los extensionistas y el personal de producción debe también orientarse hacia el cultivo. Por ejemplo, los técnicos pueden dedicar su tiempo al maíz durante el ciclo de este cereal y más tarde a algún otro cultivo que se siembre en rotación con el maíz. Es esencial que se permita que los extensionistas dediquen todo su esfuerzo a aumentar la producción, en lugar de que distraigan su trabajo en las numerosas responsabilidades que tradicionalmente se les asignan.

En algunos países, al servicio de extensión ingresan los técnicos menos calificados o quienes poseen el récord académico más bajo. Los más calificados van a la investigación. Igualmente, los extensionistas por lo general reciben los sueldos más bajos y tienen menores oportunidades de ascenso. Hay que eliminar estas discrepancias si los esfuerzos de extensión han de ser efectivos.

El concepto de contar con especialistas en un campo dado no es común en la mayoría de los sistemas nacionales de extensión. En mi opinión, el papel del especialista es fundamental, y habrá que asignar a este tipo de especialistas a que trabajen en estrecha colaboración con el personal de campo del servicio de extensión.

3. Hay que evaluar los planes piloto con respecto a sus contribuciones potenciales de un nuevo material, valor o concepto. En el pasado, algunos de los proyectos han tenido éxito, pero en general no se han integrado a un programa verdaderamente nacional y, por tanto, han tenido poca influencia sobre la producción total del país. A menudo han sido ejercicios caros e improductivos. *No hay nada que substituya al compromiso con programas nacionales.*

4. En los países en vías de desarrollo se deben utilizar variedades de maíz, no híbridos, a menos que exista una industria semillera privada capaz de producir y vender semilla de alta calidad. Son pocos los casos de entidades gubernamentales dedicadas a la producción y venta de semillas híbridas, que hayan probado ser eficientes.

Esta situación no debe ser sorprendente. Las variedades se pueden desarrollar más rápidamente que los híbridos, y para la época en que se tienen y se multiplican los linajes y las cruzas simples, y se tienen los híbridos listos para la venta, bien pueden mejorar más aún las variedades. Así, la ventaja de rendimiento, que por lo general se supone para los híbridos, se pierde a menudo.

Los programas de semilla híbrida presentan una desventaja más en cuanto a que se requiere de tantos técnicos calificados para desarrollar la semilla como para formar los híbridos. Cuando se dispone de tan poco personal capacitado, ningún país puede darse el lujo de asignar sus recursos a la producción de semilla híbrida.

5. En algunos países no existen esquemas de certificación de semillas ni políticas cuarentenarias y de lanzamiento y distribución de variedades; en otros, estas políticas son tan estrictas que retardan la producción. En mi opinión, los aumentos de la producción deben recibir la más alta prioridad: la certificación de la semilla y las políticas de distribución no son necesarias si se emplea un programa adecuado de pruebas. Desafortunadamente, a muchos países en desarrollo se les alienta ahora a que desarrollen e implanten reglamentos de control de semilla, lo cual puede ser un empleo inadecuado del tiempo, los recursos y el personal.

ESQUEMA DEL PERSONAL

Luego de describir algunas de las limitaciones, así como algunos nuevos enfoques para los programas nacionales de producción de cultivos, hagamos ahora la descripción del modelo que bosqueja la estructura y funciones del personal para tales programas (véase la tabla 1).

Una estación experimental central y cuatro estaciones regionales satisfarán las necesidades de investigación de la mayoría de los países. Se necesitarán 20 científicos en la estación central y 6 en cada una de las estaciones regionales, lo cual hará un total de 44 personas. De éstas, por lo menos 6 deberán tener un doctorado; 1, una maestría en ciencias; y las 28 restantes el grado de ingeniero agrónomo o equivalente. Además, deberá haber cinco especialistas con maestría en ciencias para desempeñar labores de extensión. Uno será asignado al centro de operaciones y los restantes a las cuatro estaciones regionales.

El coordinador tendrá la responsabilidad de organizar todas las actividades de investigación y producción en el centro de operaciones y en las estaciones regionales. Será también un investigador activo en el equipo y pudiera tener adiestramiento en cualesquiera de las disciplinas. Deberá entender y poner en práctica el concepto de una verdadera labor de equipo. (Mi concepto de equipo es un grupo de gente que trabaja junta, no un grupo de gente que está "cooperando". Cuando la gente coopera, generalmente mantiene sus propios intereses especiales, y su cooperación quizás implica solamente la previsión de un insecticida o la ayuda en la toma de datos. El concepto expresado aquí implica un

TABLA 1 Esquema para un programa nacional

	Cuadro técnico para la sede		
1 Coordinador	Doctorado	2 Asistentes de investigación	Ing. Agr.
1 Fitomejorador	Doctorado	1 Fitopatólogo	Doctorado
1 Fitomejorador asociado	Maestría	2 Asistentes de investigación	Ing. Agr.
3 Asistentes de investigación	Ing. Agr.	1 Entomólogo	Doctorado
1 Agrónomo de investigación	Doctorado	2 Asistentes de investigación	Ing. Agr.
(Un equipo sin programas por disciplinas particulares)			
	Esquema del personal técnico en la sede		
	1 Agrónomo especialista en producción		Maestría
	2 Asistentes de investigación		Ing. Agr.
	1 Economista agrícola		Doctorado
	1 Asistente de investigación		Ing. Agr.
	1 Especialista en la materia		Maestría
	Esquema del personal técnico en las estaciones regionales		
	1 Agrónomo de investigación		Maestría
	2 Asistentes de investigación		Ing. Agr.
	1 Agrónomo especialista de producción		Maestría
	2 Asistentes de investigación		Ing. Agr.
	1 Especialista en la materia (extensión)		Maestría

grupo de gente con un capitán. El entomólogo, por ejemplo, no necesita ensayos especiales sobre entomología. Podrá hacer evaluaciones de insecticidas como parte del programa general de manejo de la producción del cultivo. En casos raros tal vez tuviera la necesidad de probar nuevos productos químicos.)

Habrá que estructurar un programa sencillo y efectivo que pueda ser llevado a cabo por el personal disponible, puesto que en muchos países el programa tendrá que iniciarse con unos cuantos técnicos, inadecuadamente adiestrados conforme aumenta el personal y se mejora su capacidad, el programa podrá emprender actividades de investigación más compleja.

En las etapas iniciales, cuando no se dispone de personal local adiestrado, se puede traer a un extranjero bien capacitado que tenga la preparación necesaria para ser *coordinador*. Este técnico podría ser muy valioso y podría acelerar el avance del programa nacional.

El programa debe empezar por probar variedades y progenies de alta calidad proteínica suministradas por los programas nacionales e internacionales más avanzados. Parece probable que bien se pueden identificar variedades que se cultiven con éxito en muchos países. De los miles de familias (progenies) que se probasen, hay cierta certeza de que algunas serán superiores y adaptables a las condiciones ecológicas locales. Dichas familias podrían conjuntarse en una variedad.

Para identificar con éxito variedades y progenies, las estaciones experimentales deben contar con las facilidades de prueba que se requieran. Se necesitarán ensayos de rendimiento cuidadosa y expertamente llevados a cabo, de manera que suministren las condiciones bajo las cuales los materiales superiores puedan expresar su potencial genético cabal. Las pruebas de variedades y progenies pueden hacerse en la estación sede y en todas las estaciones experimentales regionales.

La investigación agronómica puede comenzar por evaluar las prácticas de manejo, inclusive respuesta a fertilizantes, dosis de aplicación de insecticidas, población óptima de plantas, fechas de siembra, y otros factores específicamente útiles. Además, el equipo de producción empezaría pruebas de las dos o tres mejores variedades, a dos o tres niveles de las variables de producción, según lo determine la estación experimental. Las pruebas regionales en fincas deben ser llevadas a cabo con agricultores que colaboren en sus propios terrenos.

Mediante un programa de pruebas regionales en fincas, el agricultor podría participar en la selección de variedades superiores. Así, en el programa de pruebas, él podría ver cuáles niveles de fertilizante y cuál variedad podrían tener más éxito en su propio terreno. Es de extrema importancia que el agricultor se interese y se autoconvenza merced a su propia participación. Los días de demostración al tiempo de la cosecha con la ayuda de agricultores vecinos ayudarían a difundir la información y a mostrar los resultados de un buen programa de producción.

El extensionista ayudaría a identificar agricultores que colaboren y a encontrar apoyo para el programa de pruebas en las fincas. También organizaría al personal de extensión, a fin de establecer parcelas extensas de demostración, de por lo menos media hectárea. Las parcelas de demostración y producción constituirían un "aparador" de la mejor variedad y del uso de las prácticas óptimas económicas.

En cada una de las parcelas de demostración se podrían organizar días de demostración al tiempo de la cosecha. Si el conjunto o "paquete" tecnológico está bien estructurado, el agricultor que sembró la parcela se entusiasmará y podrá tornarse él mismo en un excelente "extensionista". Puesto que la parcela de demostración y producción sería de por lo menos media hectárea, la parte central podría servir para producir semilla. El especialista en maíz de extensión y el resto de los extensionistas deben participar en la cosecha y explicar la razón por la cual hay que conservar solamente la semilla del centro de la parcela. Esta semilla se podría vender luego a los agricultores vecinos.

UN SISTEMA DE FLUJO CONTINUO

El proceso, o sistema de flujo, de la prueba de variedades y progenies en las estaciones experimentales, las pruebas de fincas y las parcelas de demostración y producción, es continuo con nuevos materiales y nuevos agricultores. Es de extrema importancia que todos los pasos se manejen con precisión y éxito. De esta manera se podrán mover con rapidez dentro de la zona cantidades relativamente grandes de la nueva semilla.

La estación experimental tendrá que multiplicar grandes cantidades de semilla genéticamente pura de cualquier variedad que entre a las parcelas de demostración. Puesto que no se sabe de antemano cuál variedad será la mejor, todas las variedades del programa de pruebas en campos de agricultores deberán multiplicarse simultáneamente en las estaciones experimentales.

La figura 1 ilustra el sistema de flujo de materiales y tecnología entre la estación sede, cuatro estaciones regionales, cinco sitios de prueba en fincas operados desde cada estación, y cinco parcelas de demostración ubicadas en la vecinidad de cada ensayo regional. Este trabajo puede llevarse a cabo con el personal que se ennumera en el esquema presentado antes. Se podrían establecer lotes de producción, demostración y multiplicación de semilla a un ritmo de 125 por ciclo en los primeros años del programa. En años subsiguientes, estas cifras probablemente serán insuficientes para satisfacer las demandas internas de los países.

Según se indicó, los extensionistas deben adiestrarse más y participar más. Se pudieran entrenar varios especialistas en producción de maíz a la vez que se capacita al personal de investigación, y luego asignarlos a través de la zona productora de maíz del país. Por lo menos debe haber un especialista por cada división administrativa o por cada región del país. Su responsabilidad sería la de organizar al personal de extensión que trabaja en su región para que organice demostraciones y explicar a los agricultores las ventajas de las nuevas variedades de maíz de alta calidad proteínica. Junto con el especialista organizaría programas de adiestramiento para el personal de producción, conducidos por el equipo de investigación de las estaciones experimentales.

Aunque investigadores y extensionistas advierten el valor de la proteína de alta calidad, podría ser difícil explicar este concepto a los agricultores. El valor de la proteína de calidad en la dieta familiar no se percibe en corto tiempo. Por tanto, cualquier variedad que entre a producción debe ser superior en rendimien-

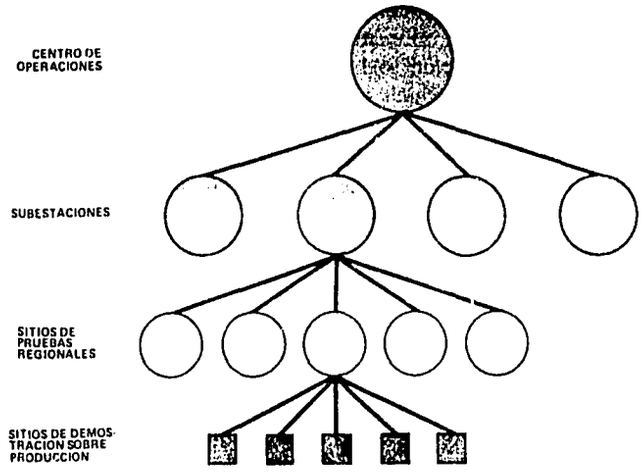


FIGURA 1 Diagrama del sistema de flujo y tecnología.

to a la variedad que ordinariamente se siembra, además debe ser de apariencia aceptable.

En algunos países, un método que pudiera servir para convencer a los agricultores del valor de las nuevas variedades, incluiría pruebas de alimentación de cerdos. Sabemos que los cerdos alimentados con maíz normal por el agricultor medio, alcanzan un peso de mercado alrededor de los 10 meses. Sin embargo, si se les alimenta con igual cantidad de maíz con alta calidad proteínica, los cerdos alcanzarán ese peso en menos tiempo. Por consiguiente, se podrían iniciar programas de alimentación de cerdos en fincas de agricultores donde se establecen parcelas de demostración. Si el agricultor alimenta la mitad de sus cerdos con maíz de alta calidad proteínica y la otra mitad con maíz normal, pronto verá el valor alimenticio de los nuevos maíces. Esta demostración tan simple podría ser uno de los métodos de enseñanza más útiles para promover el cultivo de las variedades de alta calidad proteínica.

ADIESTRAMIENTO

Para que un programa nacional sea venturoso, es esencial que se organice un programa escalado de capacitación de personal, simultáneamente con los programas de investigación y producción.

Como ejemplo, utilicemos el esquema de personal propuesto. Supongamos que en un país hay seis regiones productoras de maíz importantes y que hay un especialista en producción de maíz a cargo del trabajo de extensión del maíz.

Contando el equipo de investigación y producción, habría 55 personas que participan en la tarea de acelerar la producción. Todas estas personas, independientemente del grado académico que tengan, necesitan un adiestramiento en servicio de nueve meses para que entiendan cabalmente las posibilidades y enfoques de un programa eficiente de investigación y producción.

Si uno supone que el grado de ingeniero agrónomo o su equivalente se puede obtener en el propio país, la formación secuenciada del personal en un período de 14 años deberá incluir aproximadamente el siguiente número de personas dentro de cada uno de los niveles anotados en la tabla 2.

Se puede notar que el programa de capacitación de personal es ambicioso. En algunos países, será muy difícil movilizar gente con la suficiente rapidez para satisfacer este calendario. Sin embargo, al concluir este calendario de capacitación, el programa debe estar en posibilidad de satisfacer la demanda nacional de investigación y producción. Sin embargo, los gobiernos deben entender que en virtud de renuncias, ascensos y otras causas, se perderá hasta un 25% del personal original, a medida que el programa evoluciona. Por ello, habrá que adiestrar más gente y se necesitará un período más largo de tiempo.

Para resumir, se necesitarán 505 meses-hombre de adiestramiento en servicio y 75 años-hombre de capacitación a nivel de grado y postgrado para satisfacer las necesidades de personal que se describieron. A los costos actuales, esto necesitará de aproximadamente un millón de dólares para financiar dicho programa.

Además, debe desarrollarse un programa local de adiestramiento para el personal de extensión del cual se habló al principio de este trabajo. El número dependerá del tamaño del país, el tamaño de las fincas y la velocidad con la cual el país desea acelerar su producción.

La satisfacción de las necesidades de personal es apenas el comienzo. Hay que considerar las oportunidades contínuas para mejorar el personal joven. Igualmente, serán esenciales las oportunidades para que el personal veterano salga a continuar sus estudios, a fin de evitar que el programa se estanque.

TABLA 2 Programa de capacitación de personal

Año:	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*
Adiestramiento en servicio	10	10	10	10	10
Maestría	2	4	4	4	4
Doctorado	0	0	0	2	4
Año:	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
Adiestramiento en servicio	5				
Maestría	4	4	4	4	4
Doctorado	4	4	4	4	2
Año:	*11*	*12*	*13*	*14*	15
Maestría	4	4	4	2	–
Doctorado	0	0	0	0	–

El sistema descrito en este trabajo no pretende ser un modelo "absoluto", sino que suministra un bosquejo donde se describe la función de un programa que podría ser exitoso. Aunque el bosquejo se formó en torno al maíz con alta calidad proteínica, no es específico para el maíz. El modelo es igualmente aplicable a programas nacionales sobre otros cultivos.

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia).

Parte IX

AVANCES LOGRADOS EN EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DE OTROS CEREALES

H. Doggett*

El título de este trabajo me recuerda el intento de un grupo de distinguidos científicos por clasificar los sorgos cultivados con base a las características botánicas. Formaron 70 clases, y las entradas de la "clase 70" fueron todos los cultivos que no se incluyeron en las otras 69 clases. Esta ponencia tal vez es un poco parecida a su "clase 70"; es difícil hacer comentarios generales que se apliquen igualmente a todos los cereales bajo estudio.

Quisiera subrayar la importancia de *todos* los cereales en la nutrición humana directa, sin mermar de manera alguna el énfasis que debe ponerse en su valor indirecto como alimento para ganado. Se ha señalado que la avena ha sido en gran parte ignorada como alimento humano y que merece un mayor esfuerzo para mejorarla como cereal alimenticio en el mundo en desarrollo. El Gobierno Canadiense financía las investigaciones sobre triticale en el CIMMYT, para usarlo primordialmente como alimento humano.

A muchos de nosotros nos preocupan los millones de gentes del mundo en desarrollo que subsisten con el producto de su pequeña parcela y cuyo insumo principal es el trabajo familiar. A menudo, este insumo es debilitado por los parásitos y la desnutrición. No puede haber Revolución Verde para ellos hasta que no se consigan insumos adicionales. El único enfoque factible parecería el de aumentar la efectividad de su trabajo mediante mejor nutrición y la producti-

* International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Hyderabad, India.

vidad de su labor a través de variedades y prácticas agronómicas mejores. Una vez que los agricultores produzcan un excedente para el mercado, podrán adquirir insumos, y entonces, la Revolución Verde estará a su alcance. Con respecto a este antecedente, el mejoramiento con respecto a calidad proteínica tiene que tomar su lugar como un solo componente del programa de mejoramiento.

Una base evidente para la clasificación entre los cultivos cerealícolas es la que se relaciona con el control genético de las estructuras de los aminoácidos en las proteínas. Por ejemplo, en la cebada se han descubierto uno o más genes que producen grandes cambios en la estructura de los aminoácidos. Pudiera haber muchas diferencias de comportamiento entre los genes de proteína para la cebada y para el maíz, y aún así es probable que para ambos se apliquen los mismos tipos de programas de mejoramiento. Hasta que se descubran genes similares en otros cereales, el mejoramiento de calidad proteínica habrá de depender de la acumulación de genes, cada gene con un pequeño efecto favorable. Es posible que se necesitaran varios ciclos de selección recurrente para lograr pequeños cambios en la estructura de los aminoácidos, y los cambios profundos necesitarían de un largo tiempo.

Dado que los recursos son limitados, es muy importante que los fitomejoradores establezcan sus prioridades correctamente al intentar mejorar la nutrición de la población del mundo en desarrollo mediante el uso de mejores variedades de cultivos. Llamo la atención de nuevo a lo que se ha expresado en otras ponencias, con la esperanza de que los trabajos presentados en esta obra puedan ayudar a aclarar nuestras ideas sobre los objetivos del fitomejoramiento según se relacionan con cereales en particular. Algunas consideraciones básicas son:

1. Cuando las calorías son insuficientes, la proteína se usa para satisfacer los requerimientos de energía del metabolismo básico. Por tanto, se necesitan suficientes carbohidratos para suministrar calorías suficientes (el concepto de porcentaje neto de proteínas calorías en la dieta). Uno de los principales objetivos del fitomejoramiento debe seguir siendo el rendimiento por unidad de superficie.

2. La energía metabolizable para algunos cereales pudiera ser tan baja como dos tercios de la energía bruta disponible en el grano. Luego, el siguiente factor por considerar es el posible mejoramiento del porcentaje de energía metabolizable en el grano.

3. Los niveles de proteína aprovechable varían considerablemente entre los granos de cereales. Esto se puede determinar en gran parte por los aminoácidos limitantes, normalmente lisina. Hay tres aspectos de esto: (a) el mejoramiento con respecto a un mayor contenido de proteína, que se debe relacionar con la producción total de proteína neta aprovechable por unidad de superficie con carbohidratos adecuados para suministrar las calorías requeridas; (b) el mejoramiento de la estructura de los aminoácidos de la proteína, concebido como la proteína aprovechable neta por unidad de superficie y relacionado con el rendimiento de carbohidratos por unidad de superficie; y (c) la digestibilidad de la proteína, esto es, factores (aparte de los aminoácidos limitantes) que influyen en la utilización después de que la proteína es producida en el grano, tales como los taninos en el sorgo.

4. El problema se torna entonces en cómo los fitomejoradores deben establecer las prioridades de rendimiento, porcentaje de energía metabolizable, por-

centaje de proteína, porcentaje de proteína neta aprovechable y estructura mejorada de aminoácidos en la proteína.

5. Finalmente, ¿estamos en lo cierto al pensar sólo en los cereales? En varias regiones del mundo se ha desarrollado una dieta a base de cereales y leguminosas de grano. Por ejemplo, estas dietas incluyen maíz y frijol en Latinoamérica, y mijo y sorgos con nueces de mambara en Africa (paulatinamente, las nueces de mambara han sido reemplazadas por cacahuates). Estamos pensando en una dieta al alcance del agricultor de subsistencia. Hay una buena evidencia de que tales cultivos mezclados dan una mayor producción de alimentos por unidad de superficie y de trabajo, y que los problemas de plagas y malezas se pueden disminuir mediante su empleo.

Necesitamos preguntarnos si el mejoramiento de los cereales es siempre la prioridad principal. Las leguminosas de grano no han recibido mucha atención hasta ahora. ¿No deberíamos dedicar algunos de nuestros esfuerzos a mejorar los rendimientos de las leguminosas de grano, y a trabajar sobre las subsistencias inhibidoras y tóxicas que sobreviven a los procesos de cocción normal? Por lo general, en la dieta cereales-leguminosas, el aminoácido limitante es la metionina. La lisina está presente a menudo en suficiente cantidad. Con respecto a la dieta del agricultor de subsistencia, ¿tenemos la razón al concentrar nuestros esfuerzos en el mejoramiento del nivel de lisina en los cereales? ¿No sería más importante tratar de mejorar la cantidad de metionina, sea en cereales o en leguminosas, o en ambos? Tal vez se deban orientar más trabajos fitotécnicos hacia una dieta constituida por mezclas de cultivos y al desarrollo de tipos más adecuados para sistemas de asociaciones de cultivos.

Es posible que en años anteriores hayamos dado muy poca atención a la dieta cereales-leguminosas. El Programa del Instituto Internacional de Investigación sobre Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT) comenzará este trabajo tanto con cereales como con leguminosas. Los amplios problemas de prioridad en nuestro trabajo de fitomejoramiento serán una de las preocupaciones principales.

COMPONENTES DE CALIDAD NUTRITIVA DEL GRANO DE SORGO

J. D. Axtell*
D. L. Oswalt*
R. C. Pickett**
E. T. Mertz***
R. Jambunathan****
G. Srinivasan****

Los problemas nutricionales en el sorgo son semejantes a los de otros cereales en muchos aspectos, pero también difieren en algunos aspectos importantes. La calidad proteínica del grano de sorgo está limitada por su bajo contenido de lisina la cual refleja el alto contenido de prolamina del endosperma y el tamaño relativamente pequeño del embrión en términos de su proporción respecto al grano maduro.

Al parecer, la disponibilidad de la proteína también está limitada en algunos genotipos de sorgo por la presencia de compuestos polifenólicos no identificados que se localizan en la capa superior (testa) del grano. Estos compuestos pigmentados no han sido bien definidos desde el punto de vista químico y genéricamente se les refiere como "taninos". No sabemos bien en que forma influyen estos compuestos de tanino pigmentados sobre la calidad nutricional del sorgo. Nuestra hipótesis actual es que las proteínas de la semilla se hacen complejas o se ligan con los compuestos de tanino durante la maceración o la molienda del grano completo, y que las proteínas complejas son mucho menos aprovechables por los animales monogástricos.

* Programa del Sorgo Purdue-AID, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.
** Departamento de Agronomía, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.
*** Departamento de Bioquímica, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.
**** Postdoctoral Student, Universidad Purdue, West Lafayette, Indiana.

En esta ponencia se presentan algunos de los datos y la evidencia experimental que apoyan estas observaciones generales, y describir brevemente el estado de nuestros esfuerzos por mejorar la calidad nutricional del sorgo.

COMPOSICION DE AMINOACIDOS

La composición media de proteína y aminoácidos de 522 linajes obtenidas de las variedades de sorgos cultivadas se presenta en el tabla 1. El contenido medio de proteína de estos linajes es de 12.6 por ciento y el contenido medio de lisina (expresado como porcentaje de la proteína) es de 2.1 por ciento. En la figura 1 se muestra una estimación mejor del contenido de aminoácidos, desde el punto de vista nutricional, al comparar el contenido de aminoácidos esenciales en el sorgo con los requerimientos de la rata. Esta figura ilustra la deficiencia de lisina y el excesivo contenido de leucina en el sorgo. El contenido de metionina es bajo, pero si se considera el contenido de cistina de 1.5 por ciento, el contenido general de aminoácidos sulfurados se aproxima a los requerimientos de la rata. El contenido de triptófano del sorgo, según la base de nuestra actual evidencia, parece ser adecuado, lo cual contrasta con el bajo contenido de aminoácido del maíz normal.

TABLA 1 Composición de proteína y aminoácidos del grano de sorgo[a]

Composición	*Media*	*Desviación estándar*
Proteína	12.61	1.89
Lisina	2.14	0.35
Histidina	2.01	0.20
Arginina	3.59	0.44
Acido aspártico	7.83	0.77
Treonina	3.26	0.21
Serina	4.52	0.32
Acido glutámico	23.22	1.99
Prolina	8.16	0.89
Glicina	3.07	0.27
Alanina	9.89	0.71
Cistina[b]	1.50	–
Valina	5.35	0.31
Metionina[b]	1.80	–
Isoleucina	4.08	0.25
Leucina	14.27	1.21
Tirosina	4.50	0.32
Fenilalanina	5.19	0.37
Triptófano[c]	1.31	0.14

[a] Promedio ponderado de 522 linajes.

[b] Promedio ponderado de 3 linajes.

[c] Promedio ponderado de 9 linajes.

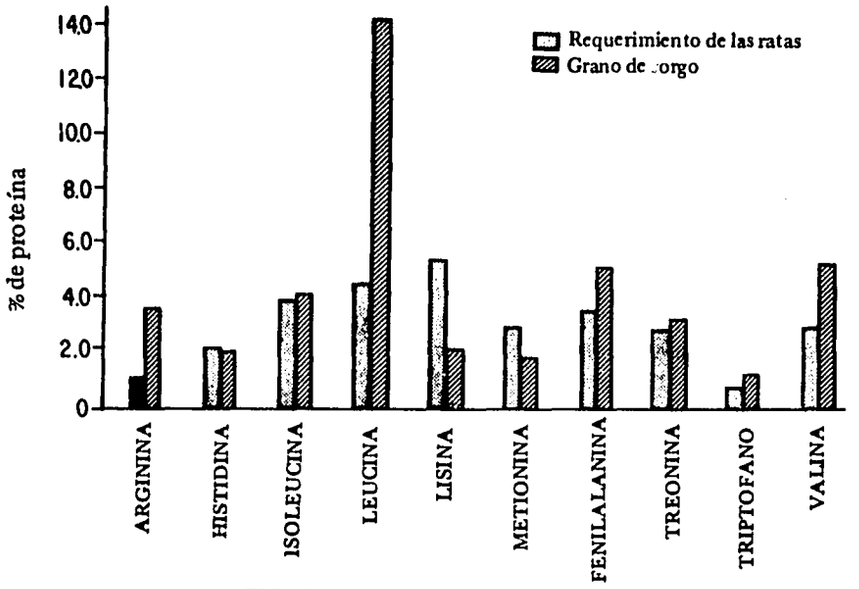


FIGURA 1 Aminoácidos esenciales.

FRACCIONAMIENTO DE LAS PROTEINAS DEL GRANO COMPLETO Y ENDOSPERMA

Hace poco, en la Universidad Purdue, Jambunathan y Mertz (3) realizaron el fraccionamiento de las proteínas del sorgo mediante el procedimiento de Landry y Moureaux (4). Este procedimiento solubiliza la mayor parte del nitrógeno del sorgo y da cinco diferentes fracciones de solubilidad. En la tabla 2 se muestran los resultados del fraccionamiento del grano completo de dos linajes de sorgo de

TABLA 2 Distribución de nitrógeno en granos completos (la lisina como porcentaje de la proteína está entre paréntesis)[a]

Fracción	*Bajo contenido de tanino*	*Alto contenido de tanino*
I (Salina)	16.1 (5.8)	4.9 (3.1)
II (Isopropanol)	14.5 (0.3)	4.2 (0.4)
III (Isopropanol + 2-Mercaptoetanol)	18.6 (0.1)	17.7 (0.2)
IV (Buffer de borato + 2-Mercaptoetanol)	6.3 (2.3)	16.2 (2.9)
V (Buffer de borato + 2-Mercaptoetanol + sulfato de sodio dodecil)	32.1 (2.8)	52.6 (1.3)
Total de nitrógeno extraído	87.5	89.9

[a] Porcentaje de nitrógeno soluble.

bajo contenido de tanino y dos de alto contenido de tanino. El porcentaje medio de nitrógeno de cada fracción para los linajes con bajo y alto contenido de tanino se muestra en la primera columna, con el contenido medio de lisina expresado como porcentaje de la proteína para cada fracción entre paréntesis. De esta información se pueden obtener dos conclusiones. Primera: la distribución de la proteína en varias fracciones presenta diferencias distintivas entre los linajes con alto contenido de tanino y en los de bajo contenido de tanino. Esto sugiere que la presencia de taninos altera la solubilidad de la proteína del sorgo, tal vez reuniéndose o formando complejos con la proteína. La idea es apoyada por la observación de que la primera fracción en las muestras con alto contenido de tanino tuvo un bajo contenido de proteína, aunque se podía esperar que fuese razonablemente alto, puesto que la fracción I representa las albúminas y globulinas que son indispensables para la germinación y sustento de la planta.

Segunda: dentro del sorgo con bajo contenido de tanino, o sorgo normal, el contenido de proteína de las fracciones II y III, es alto, pero el contenido de lisina en estas proteínas es muy bajo. En el caso de las fracciones de endosperma que se presentan en la tabla 3, las diferencias en el contenido de proteína entre las muestras de sorgos de alto y bajo contenido de tanino son menos pronunciadas, probablemente porque parte del tanino que contenía capas de la testa se eliminó con el pericarpio cuando el endosperma se separó del grano completo. En el endosperma, la proporción de proteína con bajo contenido de lisina en las fracciones II y III es mayor que en las fracciones de grano completo según se esperaba, puesto que éstas principalmente son proteínas de reserva.

RESPUESTA DE CRECIMIENTO DE RATAS EN RELACION CON EL CONTENIDO DE LISINA Y TANINO

Dado que la lisina es el principal aminoácido limitante en el sorgo, se desarrolló un experimento, a fin de verificar la respuesta de crecimiento de ratas alimentadas, con raciones de sorgo suplementadas con clorhidrato de lisina para llenar los requerimientos de las ratas más un exceso de 25 por ciento. Los

TABLA 3 Distribución del nitrógeno en el endosperma del sorgo (la lisina como porcentaje de la proteína está entre paréntesis)[a]

Fracción	*Bajo contenido de tanino*	*Alto contenido de tanino*
I (Salina)	7.3 (5.1)	2.9 (3.0)
II (Isopropanol)	16.8 (0.3)	11.3 (0.3)
III (Isopropanol + 2-mercaptoetanol)	32.4 (0.2)	27.6 (0.3)
IV (Borato buffer + 2-mercaptoetanol)	7.8 (1.2)	10.9 (2.4)
V (Borato buffer + 2-mercaptoetanol + Sulfato de sodio dodecil)	25.3 (3.6)	40.4 (3.0)
Total de nitrógeno extraído	89.5	92.9

[a] Porcentaje de nitrógeno soluble.

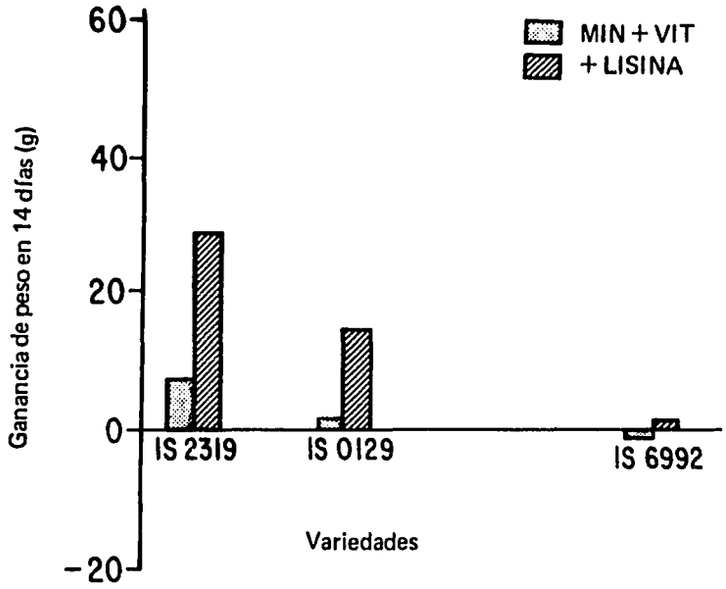


FIGURA 2 Ganancia de peso de ratas alimentadas con muestras isonitrogenadas de linajes de sorgo suplementados.

resultados de este experimento se muestran en la figura 2. En este ensayo se incluyeron dos linajes con bajo contenido de tanino (IS-2319 e IS-0129) y un linaje con alto contenido de tanino (IS-6992). Como se puede ver, el crecimiento de las ratas alimentadas con raciones con bajo contenido de tanino suplementadas con lisina, vitaminas y minerales fue substancialmente mayor que el crecimiento que se logró mediante raciones solamente suplementadas con vitaminas y minerales. En contraste, las ratas alimentadas con sorgo con alto contenido de tanino (IS-6992) perdieron peso cuando la ración no se suplementó y tuvieron una ganancia ligera de peso cuando la ración se suplementó con lisina. Estos resultados sugieren que la lisina es el primer aminoácido limitante en los linajes de sorgo con bajo contenido de tanino pero *no* en las líneas de alto tanino.

Los resultados obtenidos de los experimentos de suplementación con lisina son apoyados por los datos obtenidos de ensayos de crecimiento de ratas llevados a cabo en la Universidad Purdue. Se usaron 17 linajes de sorgo con alto contenido de tanino y 10 con bajo contenido de tanino que representaban el rango de variación del contenido de proteína y lisina de los linajes de sorgo disponibles de nuestro programa de sondeo analítico de las variedades cultivadas de sorgo. Los resultados de este experimento, ilustrados en la figura 3, demuestran que la ganancia en peso de las ratas depende del contenido de lisina en el grupo de sorgos con bajo contenido de tanino, pero no en el grupo de sorgos con alto contenido de tanino. La regresión de la ganancia de peso de las ratas sobre el contenido de lisina para el grupo con alto contenido de tanino no difiere (casi es de cero) mientras que el coeficiente de regresión para el grupo con bajo contenido de tanino es de 64.79.

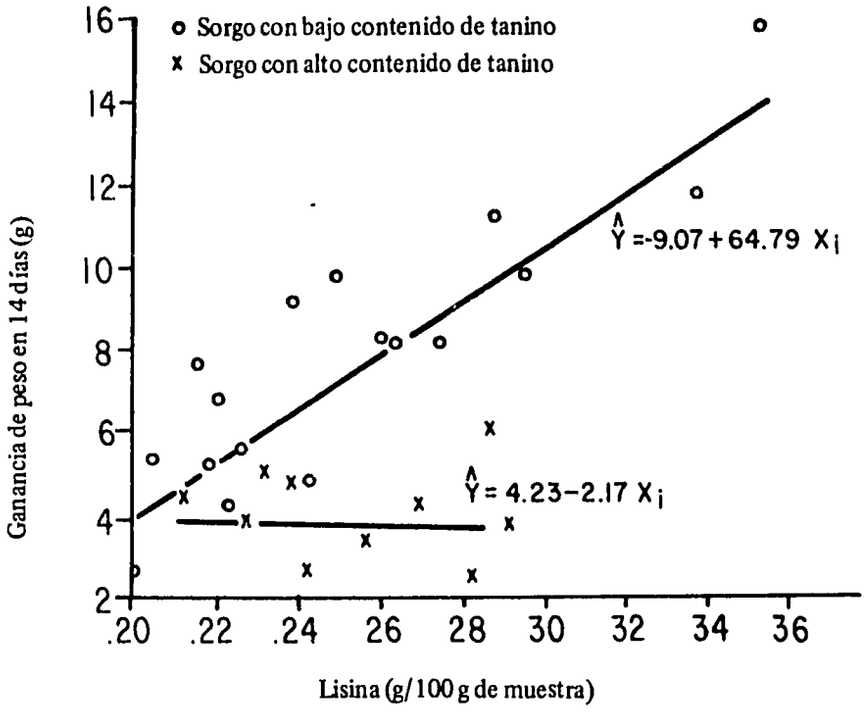


FIGURA 3 Relaciones del peso ganado por una rata con un contenido de lisina en las familias de sorgo que tenían alto y bajo contenido de tanino.

El método de vanillina acidificada para el análisis de tanino descrito por Burns (2) estima el contenido de tanino como *equivalentes de catequina.* Maxson y Rooney (5) informaron recientemente que los valores de equivalentes de catequina para el grano de sorgo están correlacionados con los valores de tanino obtenidos mediante otros métodos. Según nuestra experiencia, el rango de valores de equivalentes de catequina para el sorgo es de 0 a 10. Los linajes de sorgo con bajo contenido de tanino se han clasificado cuando el valor de equivalente de catequina es menor de 1.00.

FRECUENCIA DE GENOTIPOS DE SORGO CON ALTO CONTENIDO DE TANINO EN LA COLECCION MUNDIAL

En la actualidad sólo disponemos de evidencia limitada sobre la frecuencia de genotipos de sorgo con alto contenido de tanino en las variedades conocidas. De los 412 linajes que se analizaron para determinar su contenido de aminoácidos (tabla 4), 300 fueron clasificadas como de bajo contenido de tanino, y

TABLA 4 Composición de proteína y aminoácidos del grano de sorgo con alto y bajo contenido de tanino. (Contenido de aminoácidos expresado como porcentaje de la proteína.)

Aminoácidos esenciales	*300 bajo contenido de tanino ± D.S.+*	*172 alto contenido de tanino ± D.S.++*
Equivalentes de catequina	2.11 ± 0.33	2.15 ± 0.35
Proteína	2.02 ± 0.19	1.99 ± 0.21
Lisina	3.56 ± 0.42	3.60 ± 0.43
Histidina	2.26 ± 0.20	3.24 ± 0.18
Arginina	0.94 ± 0.22	0.89 ± 0.22
Treonina	5.33 ± 0.29	5.37 ± 0.31
Cistina[a]	1.02 ± 0.53	1.01 ± 0.36
Valina	4.08 ± 0.25	4.07 ± 0.22
Metionina[a]	14.33 ± 1.20	14.17 ± 1.10
Isoleucina	5.21 ± 0.36	5.12 ± 0.34
Leucina	0.38 ± 0.24	3.40 ± 2.35
Fenilalanina	12.71 ± 1.86	12.42 ± 1.95

[a] Los valores son bajos debido a una pérdida durante la hidrólisis.

TABLA 5 Frecuencia de genotipos de sorgo con alto y bajo contenido de tatino entre 268 linajes colectadas en Camerún, Africa.

	Alto contenido de tanino	*Bajo contenido de tanino*
No. de linajes	229	59
Valor medio de equivalente de catequina	4.07	0.49
Porcentaje medio de proteína cruda (%)	10.61	10.93

172 como de alto contenido de tanino. Los valores medios de equivalentes de catequina para los linajes con bajo y alto contenido de tanino fueron de 0.38 y 3.40, respectivamente. No hubo diferencias significativas entre ambos grupos en su contenido de proteína y de aminoácidos.

Recientemente terminamos de evaluar 288 linajes reunidos hace poco en Camerún, Africa. En el tabla 5 se muestran los datos sobre el contenido de tanino y proteína de estos linajes. A grosso modo, 80 por ciento de los linajes se clasificaron como de genotipos con alto contenido de tanino, con un valor medio de equivalente de catequina de 4.07. No hubo diferencia en el contenido de proteína entre los grupos de alto y bajo contenido de tanino, aunque en ambos tuvieron valores inferiores al promedio general de 12.6 por ciento indicado en la tabla 1. El bajo promedio en contenido de proteína, quizás puede explicarse por la observación de que los linajes de Camerún representan una colección con semillas extraordinariamente grandes. En general, puede concluirse que los genotipos de sorgo con alto contenido de tanino pueden abarcar una proporción significativa del germoplasma de sorgo en algunas regiones del mundo.

DESCASCARADO CON ALCALI DEL GRANO DE SORGO CON ALTO Y BAJO CONTENIDO DE TANINO

Puesto que en el grano de sorgo el tanino se encuentra principalmente en la capa de la testa bajo el pericarpio, hemos tratado con algún éxito de eliminar el tanino mediante una técnica de descascarado con álcali descrita por Blessing et al (1). Los datos de la tabla 6 muestran el efecto del descascarado sobre el contenido de tanino, el contenido de proteína, el consumo por ratas y su ganancia en peso para el híbridoTexas con bajo contenido de tanino (RS-610) y dos linajes con alto contenido de tanino (IS-6992 e IS-8260), de las variedades conocidas. Se redujeron los valores de equivalente de catequina sin cambiar substancialmente el contenido de proteína en todos los casos. La ganancia en peso de las ratas no se mejoró significativamente al descascarar el híbrido RS-610 de bajo contenido de tanino, pero sí se incrementó significativamente al descascarar ambos linajes de alto contenido de tanino. No hubo gran diferencia en la cantidad de alimento consumido entre las muestras con cáscara y las descascaradas, lo cual indica que la baja ganancia de peso en las ratas para las muestras de grano completo de IS-6992 e IS-8260 no fue causada por una ingestión reducida del alimento.

Todas nuestras pruebas anteriores sobre la diferencia en la respuesta a la suplementación con lisina entre las líneas de sorgo con alto y bajo contenido de tanino, se hicieron mediante la comparación de linajes obtenidos de las variedades cultivadas que difieren en el contenido de tanino, pero que no son isogénicas en otras características. Se puede hacer una prueba más directa utilizando la técnica de descascarado con álcali para obtener linajes testigo de "bajo tanino" que se pueden comparar entonces con grano completo que tenga las mismas condiciones genéticas, pero con un alto contenido de tanino. La figura 4 muestra los resultados de un experimento en el cual se comparó el valor biológico de muestras de grano completo de dos linajes con alto contenido de tanino y muestras descascaradas de ambos linajes, con y sin suplementación de lisina. En ambos casos, las ratas ganaron poco peso pero cuando se les alimentó con el grano completo con alto contenido de tanino, solo o con la suplementación de

TABLA 6 Descascaramiento por álcali de sorgo con alto y bajo contenido de tanino

Entrada	*Equiv. catequina*	*Proteína (%)*	*Ganancia de peso los 14 días (g)*	*Consumo de alimento (g)*
RS 610	0.48	9.90	5.26	112
RS 610 (Descascarado)	0.10	9.95	6.72	132
IS 6992	1.74	9.4	5.73	99
IS 6992 (Descascarado)	0.07	9.8	10.20	101
IS 8260	3.71	8.1	-4.12	95
IS 8260 (Descascarado)	0.10	8.4	7.98	97

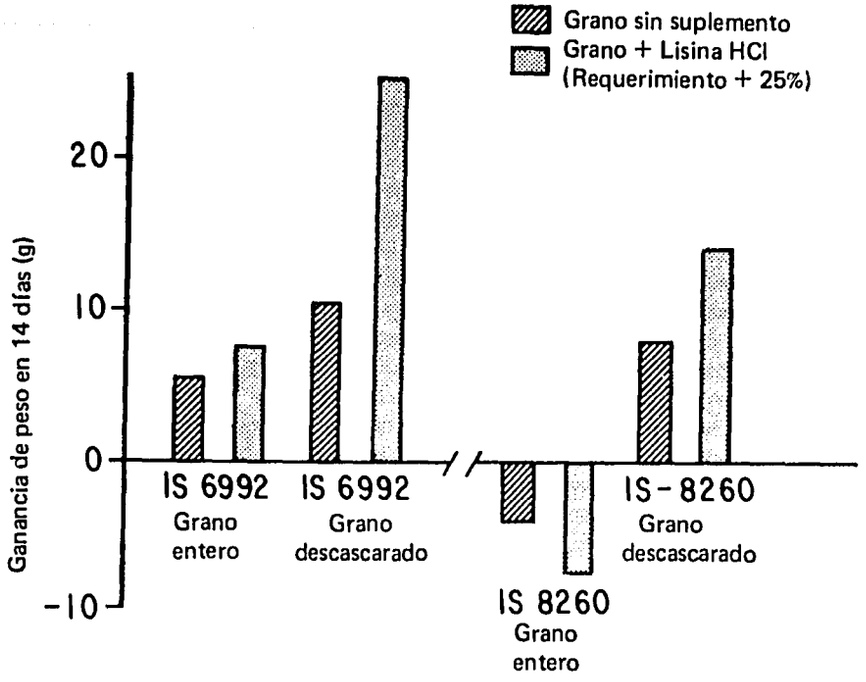


FIGURA 4 Suplementación con lisina de linajes de sorgo con alto contenido de tanino, grano entero y descascarado.

lisina, pero respondieron a la suplementación de lisina cuando se les suministró sorgo descascarado (bajo contenido de tanino). La evidencia de éste y otros estudios discutidos, demuestra que el contenido de lisina es el principal factor limitante del valor biológico del sorgo con bajo contenido de tanino, pero no el principal en el caso del sorgo con alto contenido de tanino.

SUPLEMENTACION CON PASTA DE SOYA

Una posible explicación de la falta de respuesta del crecimiento de las ratas cuando se les suministra raciones de sorgo con alto contenido de tanino suplementadas con lisina, es que los compuestos de tanino pueden producir un efecto tóxico que se contrapone a la respuesta de crecimiento que se espera de la suplementación con lisina. Los datos presentados por Schaffert (6), figura 5, sugieren que éste no es el caso puesto que la adición de sólo 5 por ciento de pasta de soya a las raciones de sorgo con alto contenido de tanino produjo un incremento muy significativo del crecimiento de las ratas. En este experimento, las raciones que contenían dos linajes con alto contenido de tanino y dos linajes con bajo contenido de tanino fueron suplementados con 0, 5, 10 y 15 por ciento de pasta de soya; la respuesta de crecimiento de las ratas se midió en una prueba

de 13 días. Parece improbable que la adición de pequeñas cantidades de pasta de soya haya diluido cualquier efecto tóxico a un grado tal que explicara la ganancia tan substancial en el crecimiento de las ratas, según se ilustra en la figura 5. Esperaríamos que los linajes con bajo contenido de tanino respondieran a la suplementación de soya debido a la cantidad relativamente alta de lisina que se añadió. Sin embargo, es evidente que con la pasta de soya se añade algo más que puede corregir una deficiencia o desequilibrio nutricional en las raciones con alto contenido de tanino. El efecto de la suplementación con pasta de soya sobre las tasas de eficiencia nutritiva se ilustra en la figura 6. Esto muestra de nuevo el notable mejoramiento en la cantidad de alimento consumido por gramo de ganancia de peso cuando las raciones con alto contenido de tanino se suplementan con 5 por ciento o más de pasta de soya. La posibilidad más viable en la actualidad es que la pasta de soya suministra proteína aprovechable, deficiente en los linajes con alto contenido de tanino debido a que la proteína del sorgo es compleja o porque algún otro mecanismo la hace inaprovechable por los animales monogástricos. La evidencia obtenida por Jambunathan y Mertz (3) en sus estudios de fraccionamiento de proteína apoya esta explicación, ya que la presencia de compuestos de tanino aparentemente altera la solubilidad de los componentes principales de la proteína en los linajes de sorgo con alto contenido de

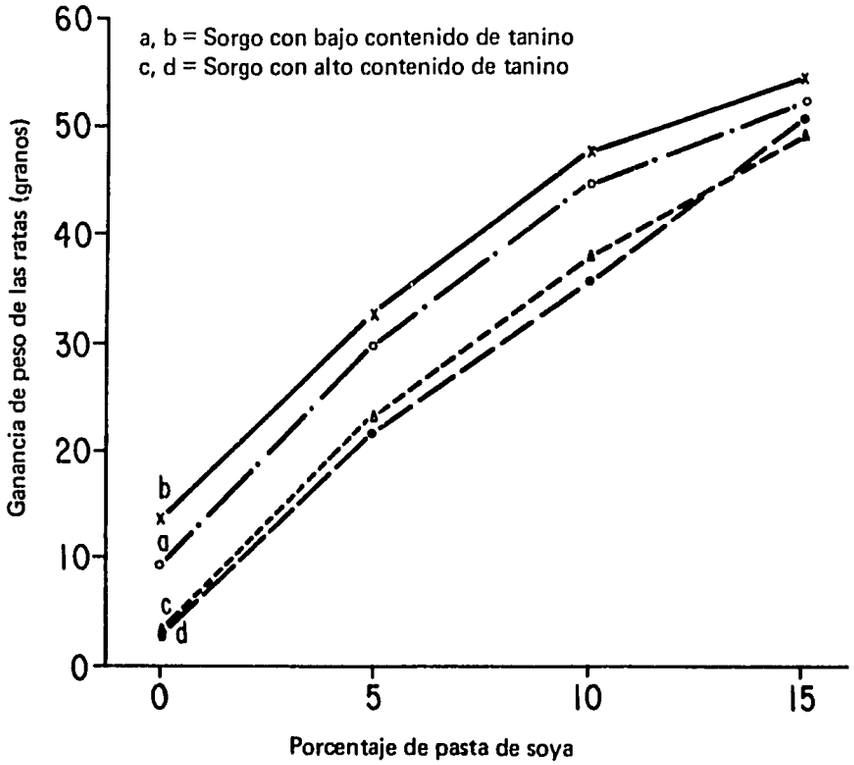


FIGURA 5 Porcentaje de ganancia de peso por rata en 13 días.

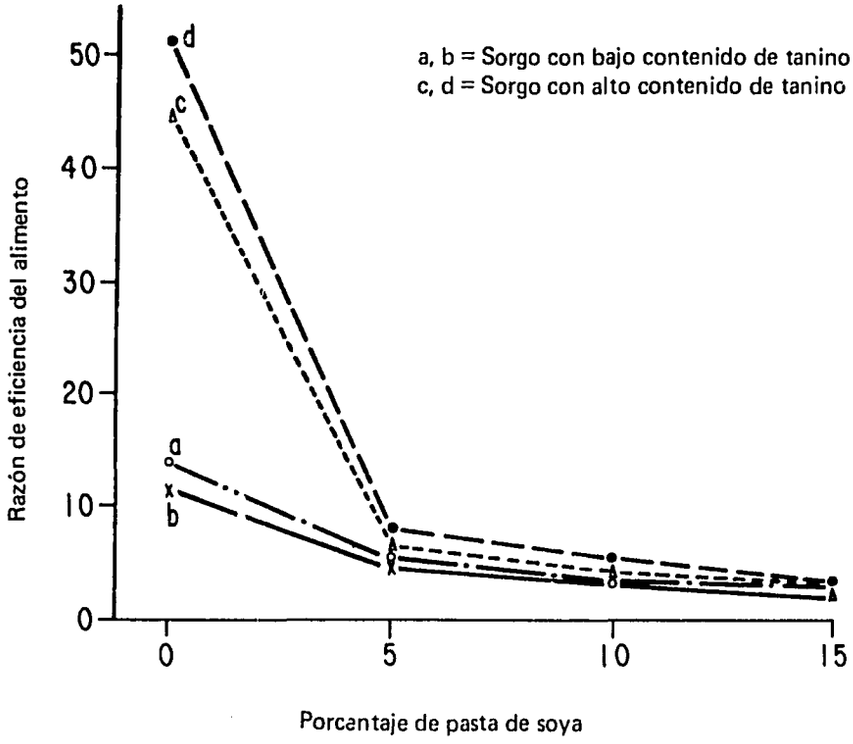


FIGURA 6 Razones de eficiencia del alimento por ratas alimentadas en 13 días.

tanino. El Dr. Jambunathan determina el peso molecular de las proteínas de cada fracción de líneas de sorgo de alto tanino que pueden suministrar evidencia bioquímica directa acerca de si esas proteínas están unidas o no con taninos. Hay otras explicaciones posibles que requieren ser probadas, entre las cuales figuran:

a) La pasta de soya pudiera suministrar algún otro aminoácido esencial que selectivamente no se encuentra disponible (no es aprovechable) en las raciones con alto contenido de tanino.

b) Puede haber una deficiencia de nitrógeno inorgánico disponible (aprovechable), que se necesita para la biosíntesis de aminoácidos no esenciales y/u otros compuestos nitrogenados vitales para el crecimiento y desarrollo normal, en raciones de sorgo de alto tanino.

c) Puede haber compuestos en la pasta de soya que se pueden mezclar más competitivamente con los taninos, y por consiguiente reemplazar la proteína mezclada con el tanino, haciéndola más aprovechable.

SITUACION ACTUAL DE LOS TRABAJOS PARA MEJORAR LA CALIDAD NUTRICIONAL

Si es correcta la suposición de que los taninos forman complejos con la proteína de la semilla, lo cual hace que los animales monogástricos acepten menos estas proteínas, entonces hay varias alternativas para mejorar las cualidades nutricionales del sorgo:

1. Usar únicamente sorgo con bajo contenido de tanino para el consumo humano y de otros animales monogástricos, y encontrar otros métodos para controlar los pájaros que dañan las plantas. Una de las principales razones para usar germoplasma de sorgo con alto contenido de tanino, es la resistencia al daño causado por los pájaros. Ya que el contenido de tanino es únicamente heredado y controlado por uno o dos genes importantes, para el fitomejorador es fácil eliminar los factores tanino.

2. Usar linajes de sorgo con alto contenido de tanino debido a sus características agronómicas deseables y planear su suplementación con proteína adicional para satisfacer los requisitos nutricionales. Si se adopta este enfoque, se debe considerar la posibilidad de que parte de la proteína en el grano de sorgo se desperdicie. No creemos que éste sea un enfoque económicamente factible en la mayoría de las regiones del mundo, en las que el sorgo es un elemento importante de la dieta humana.

3. Usar procedimientos de descascaramiento o métodos de molienda en seco que pudieran eliminar las células del pericarpo y la testa, que son las que contienen los compuestos de tanino.

4. Usar aditivos que preferentemente puedan unirse a los taninos, y que permitan que se utilize la proteína.

Con respecto al mejoramiento del contenido de lisina, hay excelentes oportunidades para aumentar el tamaño del germen. El tamaño del germen del grano de sorgo varía entre 7.8 y 12% respecto al del grano entero, el cual es más pequeño que el tamaño del germen del maíz. Este reducido tamaño del germen explica parte de la diferencia en contenido de lisina entre el maíz normal y el sorgo. La proteína del maíz normal contiene alrededor del 2.5 al 2.8% de lisina, mientras que la proteína del sorgo normal contiene aproximadamente de 1.9 al 2.2% de lisina. La diferencia en el contenido promedio de aceite entre el maíz (4 a 5%) y el sorgo (2 a 3%) también indica la diferencia en el tamaño del germen entre estas especies, ya que el mayor contenido de aceite se encuentra en el germen. En varios linajes de sorgo se ha encontrado proteína que contiene de 2.5 a 2.6% de lisina, y cuyo tamaño de germen es relativamente grande. Es posible lograr un progreso rápido en selecciones de poblaciones que se aparean en forma aleatoria, derivadas de linajes seleccionados de germen grande. Esta selección debe conducir a un mejoramiento en la calidad nutricional.

El contenido de prolamina en el endosperma de sorgo es elevado, mientras que el contenido de lisina en la fracción de prolamina en el sorgo es muy baja, al igual que en el maíz. En muchos aspectos, el sorgo es muy similar al maíz normal. Existen muchas razones para creer que también en el sorgo existen mutantes que reducen u obstruyen la síntesis de la prolamina. En las variedades cultivadas se han examinado algunos granos seccionados de la mayoría de los

linajes, y se han identificado posibles fenotipos de endosperma opaco. Algunas de estas variedades fueron cultivadas en Purdue en 1972, y otras, las sensibles a la luz, se cultivaron en Puerto Rico. Los análisis de proteína y lisina de estos linajes opacos supuestos revelarán si se han identificado algunos linajes con bajo contenido de prolamina. (Un artículo que describe los resultados mencionados, intitulado "High Lysine Mutant Gene (*hl*) That Improves Protein Quality and Biological Vlue of Grain Sorghum", escrito por Rameshwar Singh y J. D. Axtell, que aparece en *Crop Science,* 13:535-539.)

Asimismo, se han iniciado tratamientos químicos de mutación de genes de dos linajes de sorgo con pericarpo sin color, bajo contenido de tanino, y endosperma vítreo para la identificación de los mutantes con bajo contenido de prolamina. En 1973, las hileras M_2 se cultivarán en Puerto Rico para hacer una evaluación.

Será necesario considerar cada uno de estos parámetros (contenido de prolamina, tamaño del germen y contenido de tanino) para mejorar la calidad nutricional del sorgo. Es muy poco probable que alguno de los linajes en las variedades conocidas tenga necesariamente estas características. En nuestra estimación, tendremos que identificar los linajes con cada componente de calidad nutricional para después recombinarlos a fin de obtener genotipos con la combinación deseada de características para lograr mayor calidad.

Este artículo es el Journal Paper No. 5175, Purdue University Agricultural Experiment Station. La investigación fue auspiciada por la U. S. Agency for International Development por medio del contrato AID/Csd-1175, titulado "Inheritance and Improvement of Protein Quality and Content in *Sorchum bicolor* (L.) Moench".

BIBLIOGRAFIA

1. Blessin, C. W., R. A. Anderson, W. L. Deatherope, y G. E. Inglett. 1971. Effect of alkali dehulling on composition and wet miling characteristics of sorghum grain. Cereal Chem., 48:528-532.
2. Burns, R. E. 1971. Method for estimation of tannin in grain sorghum. Agron. J., 63:511-512.
3. Jambunathan, R., y E. T. Mertz, 1973. Relationship between tanin levels, rat growth, and distribution of proteins in sorghum. J. Agr. Food Chem., 21:692-696.
4. Landry, J. T., y T. Moureaux. 1970. Hétérogénéité des glutélins du grain de máïs. Extraction sélective et composition en acides aminés des trois fractions isolées. Bull. Soc. Chim. Biol., 52:1021-1022.
5. Maxson, E. D. y L. W. Rooney. 1972. Two methods of tannin analysis for *Sorghum bicolor* (L.) Moench grain. Crop Sci., 12:253-254.
6. Schaffert, Robert. 1972. Protein quantity, quality, and availability in, *Sorghum bicolor* (L.) Moench grain. Tesis para obtener el doctorado. Universidad Purdue.

ESTADO ACTUAL DE LOS PROGRAMAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DEL TRIGO

P. J. Mattern*
V. A. Johnson**
J. E. Stroik*
J. W. Schmidt*
L. Klepper*
R. L. Ulmer*

En 1966, U.S. Agency for International Development (USAID) inició un proyecto en la Universidad de Nebraska con el fin de mejorar la calidad nutricional del trigo mediante un aumento de la proteína y un mejor balance de los aminoácidos. El paso inicial fue el examen analítico de 16 000 entradas (muestras) de la Colección Mundial de Trigo del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) a fin de determinar las diferencias en lisina y proteína y el cruzamiento del material identificado con trigos buenos desde el punto de vista agrícola. Con el objeto de identificar genotipos recipientes de trigo de invierno con respecto a posibles nuevos genes con alto contenido de lisina y proteína, se estableció un Ensayo Internacional de Comportamiento de Trigo de Invierno, como parte del esfuerzo de investigación llevado a cabo por la Universidad de Nebraska y financiado por USAID.

* Departamento de Agronomía, Nebraska Agricultural Experiment Station, Lincoln, Nebraska.
** Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture, Lincoln, Nebraska.

VARIACION GENETICA DE LA PROTEINA Y LA LISINA DEL TRIGO

Los análisis de laboratorio de 12 500 trigos comunes obtenidos de la Colección Mundial de Trigo del USDA, indicaron contenidos de proteína que variaron del 7% al 22% (fig. 1). La media fue 12.9%. El componente genético de esta variación se estima en 4 ó 5%.

La variación en el contenido de lisina como porcentaje de proteína en estas muestras fue de 2.2% a 4.2% (fig. 2). El componente genético de la lisina parece ser de 0.5%; esta porción es la que debe ser útil en el trabajo de fitomejoramiento con respecto a un mayor contenido de lisina.

El contenido de proteína y el nivel de lisina están negativamente correlacionados en el trigo. Según un análisis de 4 100 trigos de la Colección Mundial, conforme aumentó la proteína de 10% a 20%, la media de lisina como porcentaje de proteína disminuyó de 3.2% a 2.7% (fig. 3). Sólo el 18% de la variación en la lisina estuvo asociada con la variación en el contenido de proteína. Sin embargo, hubo una fuerte relación positiva entre el contenido de proteína y de lisina sobre la base de la muestra. Los valores medios de la lisina sobre la base de peso seco aumentaron de 0.33% a 0.53% a medida que la proteína del grano aumentó de 10% a 20%.

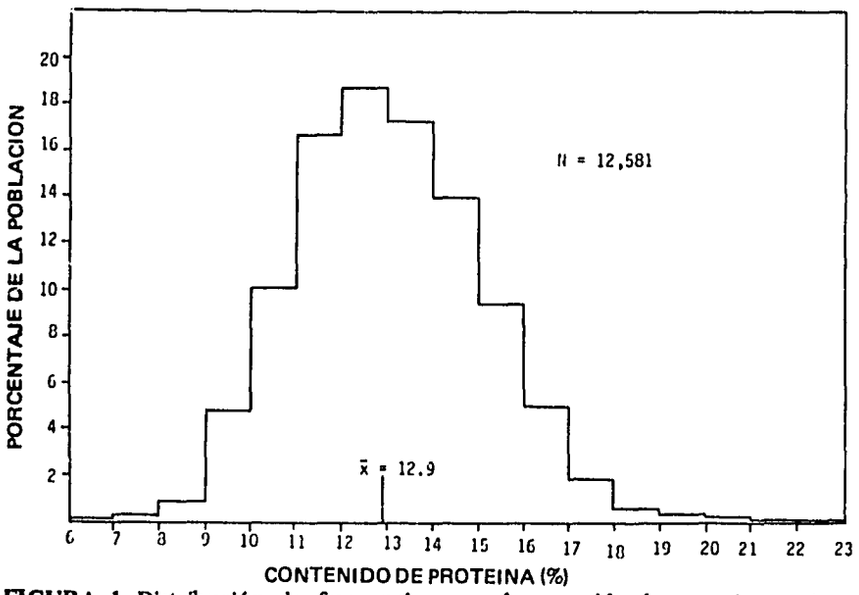


FIGURA 1 Distribución de frecuencia para el contenido de proteína en los granos de trigos de la Colección Mundial del USAD

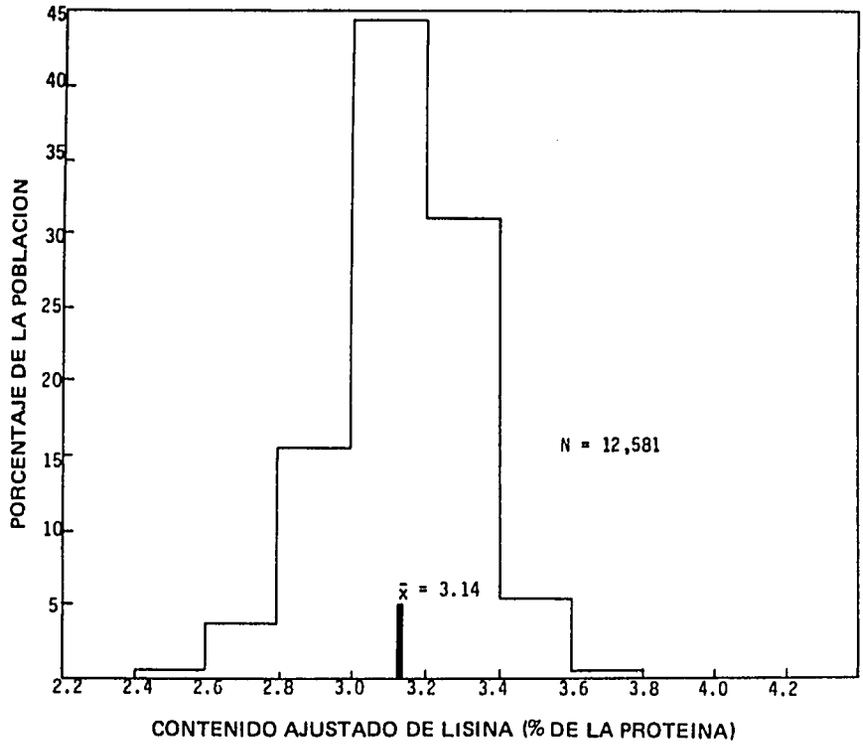


FIGURA 2 Distribución de frecuencia para la lisina ajustada a un nivel común de proteína de trigos de la Colección Mundial del USAD.

Como se señala con anterioridad, la variación proteínica ambientalmente inducida está negativamente correlacionada con la lisina. Sin embargo, hemos encontrado que el trigo genéticamente alto en contenido de proteína es igual o mayor con respecto al contenido de lisina/proteína que tienen variedades comunes de trigo en el mismo ambiente. De aún mayor interés es la observación de que la correlación negativa entre la proteína y la lisina parece tornarse no-significativa a altos niveles de proteína.

FUENTES CON ALTO CONTENIDO DE PROTEINA Y LISINA

Atlas 66, una variedad de trigo de invierno de grano rojo y suave, se ha utilizado extensivamente como fuente de alto contenido de proteína en nuestro programa de mejoramiento. Esta fuente genética provino originalmente de la variedad sudamericana Frondoso. En la tabla 1 se indican otras fuentes genéticas

TABLA 1 Germoplasma útil para el mejoramiento nutricional del trigo

Variedad	*No. de selección ó CI*	*Fuente*	*Hábito de crecimiento*	*Característica útil*
Atlas 50	12534	Beltsville	I	Alto contenido de proteína
Atlas 66	12561	Beltsville	I	Alto contenido de proteína
Líneas derivadas de Atlas	– –	Nebraska	W	Alto contenido de proteína
Aniversario	12578	Argentina	S	Alto contenido de proteína
Líneas derivadas de Aniversario	–	Nebraska	W	Alto contenido de proteína
Restaurador de fertilidad masculina	NB 542437	Nebraska	W	Alto contenido de proteína
Hume^{2} X Nb^{4} – Agrus-Tc^{7}	SD-69103	Sur Dakota	W	Alto contenido de proteína
Nap Hal	176217	India	S	Alto cont. prot., alto cont. lisina
April Bearded	7337	Inglaterra	S	Alto cont. prot., alto cont. lisina
Hybrid English	6225	Inglaterra	W	Alto cont. prot.. alto cont. lisina
Pearl	3285	Suecia	S	Probable alto contenido de lisina
22A	5484	URSS	S	Probable alto contenido de lisina
Fultz X Hungarian	11849	EUA	W	Probable alto contenido de lisina
Fultz-Hungarian X Minturki-Fultz	12756	EUA	W	Probable alto contenido de lisina
Línea derivada de Norin 10-Brevor Sel.14	13447	Washington	W	Probable alto contenido de lisina
Línea derivada de Norin 10-Brevor Sel. 14	13449	Washington	W	Probable alto contenido de lisina

Fuente: Proc. First Intern. Winter Wheat Conf. 1972.

[a] I. dieta intensa; W, invierno; S, primavera.

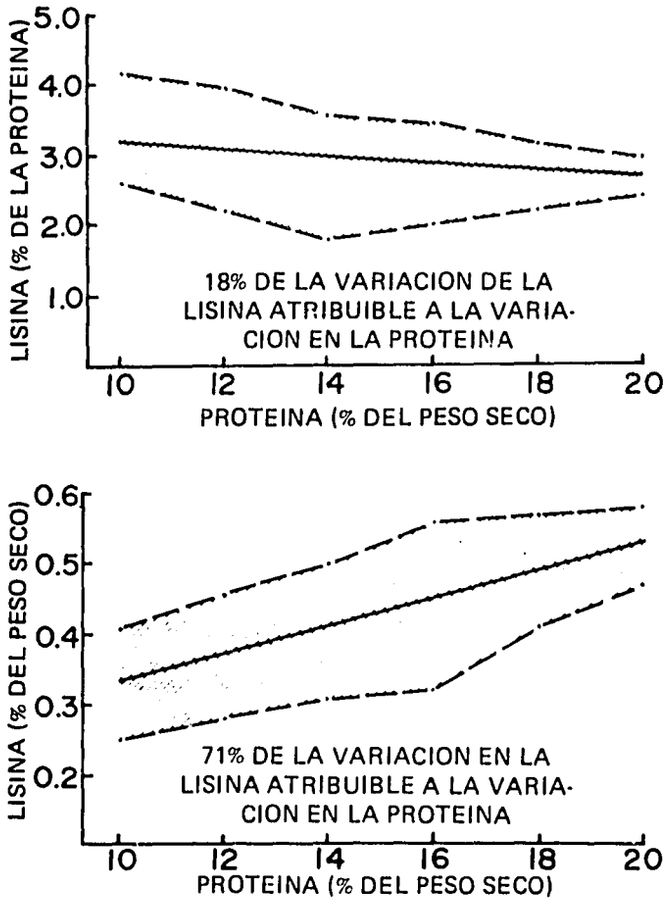


FIGURA 3 Arriba: Regresión de lisina/proteína en la proteína Abajo: Regresión de lisina/peso seco en la proteína. El área sombreada indica dispersión de los valores reales en torno a la línea de regresión.

con alto contenido de proteína. Los materiales que más se destacan son: NB 542437, SD 69103, CI 7337, CI 6225, y PI 176217 (Nap Hal). Este último, Nap Hal, es de interés particular debido a que también es la fuente genética con alto contenido de lisina que parece tener más cualidades. Se descubrió mediante un examen analítico.

IDENTIFICACION DE LOS MEJORES GENOTIPOS RECEPTORES

La necesidad de identificar buenos genotipos de trigo de invierno desde el punto de vista agronómico, con amplia adaptación, nos llevó al establecimiento

del Ensayo Internacional de Comportamiento de Trigo de Invierno (IWWPN), iniciado en 1969.

Los propósitos de este ensayo internacional son:

1. Probar la adaptación de variedades de trigo de invierno bajo una variedad de latitudes, fotoperíodos, condiciones de fertilidad, manejo del agua, y complejos de enfermedades.
2. Identificar variedades de invierno superiores que sirvan como genotipos recipientes de genes con alto contenido de proteína y lisina.
3. Probar el grado de expresión y estabilidad de los caracteres de alto contenido proteína y lisina bajo una gran variedad de ambientes.

Estos propósitos se logran mejor por medio de la prueba continua de nuevas variedades provenientes de los diferentes programas de trigo de invierno del mundo. Por consiguiente, se solicitan y se solicitarán variedades que se someterán a futuras pruebas. De acuerdo con los propósitos ya señalados de este ensayo, se desean especialmente tres tipos de variedades para examinarse. Estos tipos son:

1. Nuevas variedades comerciales o variedades experimentales que parecen ser idóneas con combinaciones deseables de alto potencial de rendimiento, resistencial aceptable al invierno, paja fuerte, resistencia a las plagas y a las enfermedades, y gran cantidad y alta calidad proteínica.
2. Linajes con un mayor valor nutricional derivado de una mayor cantidad o calidad de proteína, o ambas, aun cuando sean deficientes en algunas de las características enlistadas en el punto anterior.
3. Líneas de germoplasma con características valiosas que sean útiles en los programas de mejoramiento.

Ha habido una excelente expresión fenotípica de la característica de alta proteína en el primero y en el segundo Ensayo Internacional de Comportamiento de Trigo de Invierno. Los trigos Atlas 66, NB 67730 y Purdue 4930A6-28-2-1, todos con genes similares de alta proteína, tuvieron consistente y significativamente mayores contenidos de proteína que las otras variedades en la mayoría de los sitios donde se establecieron los ensayos. En la tabla 2, Atlas

TABLA 2 Expresión fenotípica de la característica de alto contenido de proteína (1970)

	Contenido proteínico en el grano		
Variedad	*Stillwater, Oklahoma, E.U.A.* (%)	*Martonvasar, Hungría* (%)	*Cambridge, Inglaterra* (%)
Media proteínica del ensayo	17.8	15.8	12.5
Bezostaia	16.5	14.3	12.3
Lancer	16.2	14.6	12.1
Gaines	16.5	14.1	10.6
Atlas 66	20.6	19.4	13.5
NB-67720	20.9	18.4	14.2
Media del rendimiento del ensayo (q/ha)	25.4	32.7	31.7

Fuente: Proc. First Intern. Winter Wheat Conf. 1972.

TABLA 3 Cultivos con mayor rendimiento en el Ensayo Internacional de Comportamiento de Trigo de Invierno sembrado en (1969-1971)

Cultivo	*Año*	*No. de sitios*	*Rendimiento de grano (q/ha)*	*Rango*
Bezostaia	1969	16	45.2	1
	1970	31	39.5	1
	1971	26	40.4	2
Timwin	1969	16	39.9	5
	1970	31	35.4	2
	1971	26	39.8	4
Blueboy	1969	16	43.5	2
	1970	31	29.0	18[a]
	1971	26	40.3	3
NS-611 (Sava)	1971	26	41.5	1

[a] Semilla con baja germinación.

66 y NB 67730 se comparan con Bezostaia, Lancer y Gaines en tres sitios de prueba.

La ventaja proteínica de las variedades de alta proteína sobre otras variedades del ensayo persistió en sitios en los cuales las medias de los valores de proteína y rendimiento fueron altas, tanto como en aquellos en los que dichos valores fueron bajos.

El Ensayo Internacional ha identificado variedades cultivadas que tienen un potencial de rendimiento superior a través de una amplia variedad de ambientes donde se siembra trigo de invierno. Durante 1969-1971, las variedades cultivadas Bezostaia, Timwin y Blueboy tuvieron un comportamiento muy destacado. En 1971, NS-611(Sava), una nueva variedad proveniente de Yugoslavia, ocupó el primer lugar (Tabla 3).

Las variedades cultivadas identificadas como de amplia adaptación, se utilizan en cruzamientos con líneas que poseen un mayor contenido de proteína de lisina, o de ambas. El Ensayo Internacional de Comportamiento de Trigo de Invierno, sembrado en 23 sitios de 16 países en 1969, aumentó su alcance a 44 sitios de 27 países en 1972. El ensayo internacional ofrece una oportunidad única para estudiar las muestras de semillas a fin de determinar la estabilidad de los genes con alto contenido de proteína y de lisina sobre una amplia variedad de condiciones ambientales. Se han recibido muestras de todas las variedades cosechadas durante los últimos cuatro años, y sólo cuatro sitios de ensayo no han sido analizados (por razones técnicas) hasta el momento.

POBLACIONES ACTUALES DE HIBRIDOS, DE INTERES ESPECIAL

Atlas 66 se cruzó con Nap Hal a fin de determinar si eran diferentes los genes relacionados con la característica de alto contenido de proteína de estas

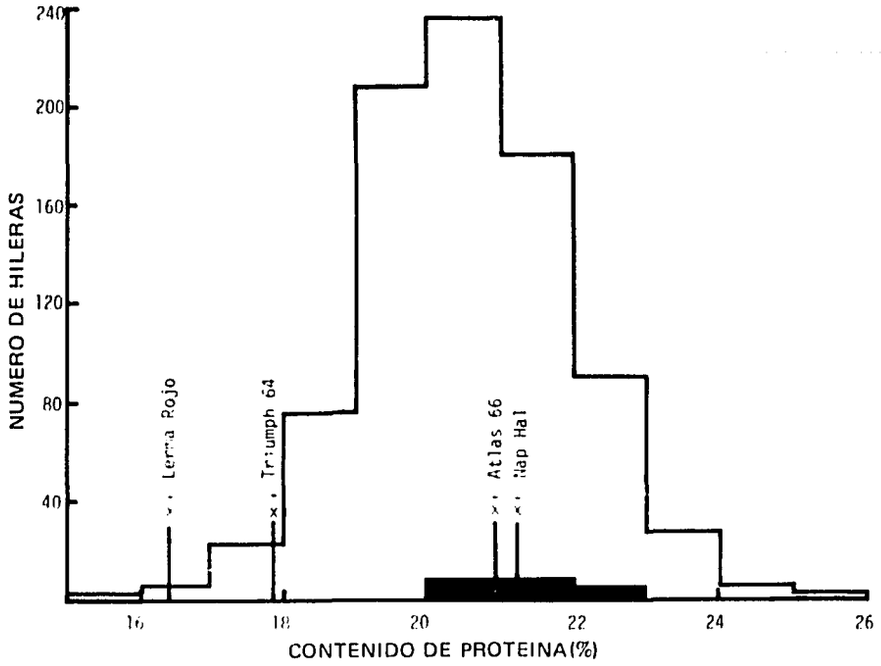


FIGURA 4 Distribución de frecuencia de proteína para hileras de progenie de F_2 en masa (generación F_3) de un cruzamiento de Nap Hal X Atlas 66 (1971).

variedades. Había también interés por verificar la hereditabilidad del mayor contenido de lisina de Nap Hal. Se obtuvieron datos sobre proteína y lisina de la población en masa de las hileras de progenies de F_2 (generaciones F_3 y F_4), sembradas en Yuma, Arizona, en 1971 y 1972, respectivamente. La figura 4 muestra las distribuciones de frecuencia de la proteína en la generación F_3.

Las variedades progenitoras produjeron grano con un contenido similar de proteína. Este fue considerablemente mayor que el contenido proteínico de Lerma Rojo 64 y Triumph 64, sembrados en los mismos experimentos. Hubo una clara segregación transgresiva para alta y baja proteína entre las hileras de progenies F_2 en ambos años, lo cual interpretamos como evidencia de diferentes genes para proteína en las variedades progenitoras. Por tanto, parece posible aumentar la proteína del trigo más arriba del nivel de Atlas 66.

Las hileras progenitoras de Nap Hal tuvieron un contenido de lisina significativamente mayor (ajustado a un nivel común de proteína) que las hileras progenitoras de Atlas 66, Lerma Rojo 64 y Triumph 64 (figura 5). Hubo evidencia de segregación con respecto al contenido de lisina en las hileras de progenies F_2, con una recuperación aparente de los niveles de lisina de los progenitores en algunas hileras durante los dos años de prueba.

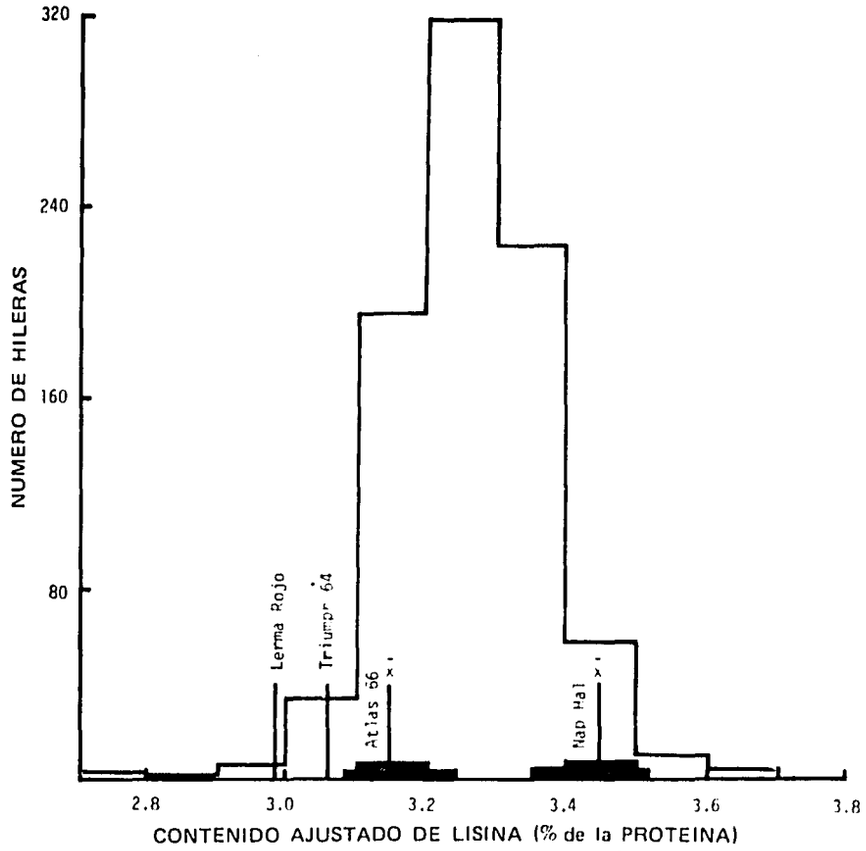


FIGURA 5 Distribución de frecuencia de proteína para hileras de progenie F_2 en masa (generación F_4) de un cruzamiento de Nap Hal X Atlas 66 (1971).

Nap Hal también se cruzó con CI 13449 (una línea derivada de Norian 10-Brevor Sel 14) que se pensó era más alta en lisina. Los valores proteínicos de la progenie coincidieron con los valores de los progenitores, como se esperaba. Los valores de lisina para ambos progenitores fueron semejantes y mayores que los de las variedades normales Triumph 64 y Atlas 66. De particular interés fue la aparente segregación transgresiva que tuvo para producir progenie con valores de lisina mayores que los de los progenitores. Parece que el mejoramiento del contenido de proteína y de lisina será posible obtenerlo con las fuentes genéticas identificadas hasta ahora.

EVALUACIONES BIOLOGICAS PARA IDENTIFICAR FUENTES DE PROTEINA MEJORADAS

Se ha instalado un laboratorio de animales pequeños en el Departamento de Alimentación y Nutrición, el cual trabaja en cooperación con el Departamento

de Agronomía. Ambos departamentos pertenecen a la Universidad de Nebraska. Los objetivos del laboratorio son los siguientes:

1. Establecer una operación de pruebas masivas para efectuar la evaluación biológica de varios materiales de trigo como fuentes de proteína.
2. Tratar de aislar y definir las causas de la variabilidad entre las diferentes variedades de trigo en relación con su valor proteínico.
3. Sentar las bases para el establecimiento de lineamientos para predecir el valor de los materiales de trigo como fuentes de proteína.

Los resultados de las pruebas de alimentación con ratones, las cuales abarcan variedades de trigo con alto contenido de proteína o de lisina, o de ambas, serán correlacionados con los datos de pruebas de alimentación con individuos adolescentes y adultos.

Se han finalizado estudios correlativos sobre linajes de alta proteína para determinar el índice de CRDPP residuo digestivo de pepsina pancreatina mediante el método de laboratorio *in vitro* y para pruebas de alimentación con ratones. Las líneas de alta proteína se derivaron de Atlas 66, y se encontró que tenían un potencial alimenticio similar.

ESTUDIOS DE FISIOLOGIA VEGETAL

En nuestro esfuerzo por mejorar el valor nutricional de la proteína del trigo, seguimos el enfoque de trabajo en equipo. La investigación sobre fisiología vegetal es una parte integral de ese esfuerzo. El paso de la nitrato-reductasa en el metabolismo del nitrógeno se considera que es la reacción limitante de la tasa en la síntesis final de la proteína. Actualmente estamos analizando e identificando variedades con respecto a la actividad de la nitrato-reductasa. Se ha encontrado que todas las líneas de alta proteína identificadas hasta ahora, tienen una alta actividad de nitrato-reductasa. Afortunadamente, un avance reciente permite ahora la medición cuantitativa de esta enzima limitante en tejidos foliares vivos. Además, ahora podemos identificar con precisión los factores que afectan el proceso de la reducción del nitrato. Los niveles de proteasa de la hoja también se consideran como importantes y se están estudiando para identificar variedades capaces de translocar mayores cantidades de nitrógeno amino al grano para la síntesis proteínica. También estamos usando un método *in vivo* para evaluar las prácticas de fertilización con nitrógeno a fin de conseguir aumentos máximos y económicos de rendimiento del grano y de proteína en el mismo.

RECIENTES PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE NEBRASKA

Johnson, V. A., J. E. Stroike, J. W. Schmidt, y P. J. Mattern. 1971. The international winter wheat performance nursery. Proc. III FAO/Rockefeller Found. Wheat Seminar, Ankara, Turquía, abril 29-mayo 3, 1970, págs. 21-32.

Johnson, V. A., J. W. Schmidt, y P. J. Mattern. 1971. Protein improvement in wheat, Proc. III FAO/Rockefeller Found. Wheat Seminar, Ankara, Turquía, abril 29-mayo 13, 1970, págs. 166-172.

Johnson, V. A., J. W. Schmidt, y P. J. Mattern. 1971. Registration of high protein wheat germ plasm. Crop Sci., 11:141-142.

Johnson, P. J. Mattern y J. W. Schmidt. 1972. Genetic studies of wheat protin. Avi Publishing Co., Westport, Conn., págs. 126-135.

Johnson, V. A., P. J. Mattern, y J. W. Schmidt, 1972. Wheat protein improvement. Rice Breeding, Intern. Rice Res. Inst., Los Baños, Filipinas.

Johnson, V. A., A. F. Dreier, y P. H. Grabouski. 1973. Yield and protein responses to nitrogen fertilizer of two winter wheat varietis differing in inherent protein content of their grain. Agron. J. 65:259-263.

Kies, C. y H. M. Fox. 1970. Determination of the first limiting amino acid of wheat and triticale grains for humans. Cereal Chem., 47:615-625.

Kies, C., y H. M. Fox. 1970. Protein nutritive value of wheat and triticale grain for humans studied at two levels of protein intake. Cereal Chem., 47:671-678.

Kies, C., y H. M. Fox. 1972. Comparative value of 3 lines of winter wheat by adult human, growing human, and mouse bioassay procedures. Cereal Sci. Today, 17:273-274 (abstr.).

Kies, C., y H. M. Fox 1972. Interrelationships of leucine with lysine, triptophan and niacin as they influence protein value of cereal grains for humans. Cereal Chem., 49:223-231.

Kies, C, H. M. Fox, y S. C. S. Chen. 1972. Effect of quantitative variation in nonspecific nitrogen supplementation of corn, wheat, rice, and milk diets for human adults. Cereal Chem., 49:26-33.

Proc. First Intern. Winter Wheat Conf., Ankara, Turquía, junio 5-10. 1972. Nebraska Agr. Exp. Sta. MP-28. (See specifically Nutritional research on wheat at the University of Nebraska, V. A. Johnson, p. 110; P. J. Mattern, Analytical procedures and equipment requeriments, p. 127; and C. Kies, Nutritional evaluation, p. 134.

Stroike, J. E., y V. A. Johnson. Winter wheat cultivar performance in an international array of environments. Nebraska Res. Bull. 251.

Stroike, J. E., J. W. Schmidt, y P. J. Mattern. 1971. Results of the firs international winter wheat performance nursery. Nebraska Res. Bull. 245, 84 págs.

Stroike, J. E., J. W. Schmidt, y P. J. Mattern. 1972. Results of the second international winter wheat performance nursey. Nebraska Res. Bull. 250.

ESTADO ACTUAL DE LOS PROGRAMAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DE LA AVENA

Donald J. Schrickel*
Walter L. Clark**

De todos los cereales, después del arroz, la avena es el que presenta mayor contenido proteínico, por lo que, desde este punto de vista parece desafortunado el que la avena ocupe el quinto lugar en la producción mundial de cereales (30). La producción de arroz, la de trigo y la de maíz son aproximadamente seis veces mayores que la de la avena, en tanto que la de la cebada la supera casi 2.5 veces más. El contenido de proteína de las variedades comerciales de avena que se cultivan actualmente en los Estados Unidos varía entre un 15 y un 20% en los granos (2).

En la avena hay cuatro posibles fuentes genéticas de alta proteína que están siendo explotadas por los fitomejoradores de los Estados Unidos y de otros países. Algunos emplean una o más de estas fuentes en sus estudios. El propósito de la presente ponencia es destacar estos esfuerzos de investigación y relacionar los resultados más alentadores obtenidos en el mejoramiento de la cantidad y la calidad de la proteína de la avena.

* The Quaker Oats Company.
** Hunt-Wesson Foods, Inc., Barrington, Illinois.

MEJORAMIENTO DE LA AVENA

Para mejorar la calidad y la cantidad de la proteína de la avena, los fitomejoradores han seguido los siguientes enfoques de investigación (o combinaciones de ellos) (3, 11).

1. Recombinación de genes de proteína de varios cultivos y linajes de *A. sativa* y *A. byzantina* (ambas avenas comunes cultivadas).
2. Transferencia de genes de alta proteína de *A. sterilis* a cultivos de *A. sativa.*
3. Uso de radiaciones o mutagénicos químicos para producir mutaciones con mayor contenido de proteína.
4. Uso de otras especies de *Avena,* tales como *A. strigosa,* como fuente de genes de alta proteína.

Recientemente el Servicio de Investigación Agrícola del USDA, Beltsville, Maryland, exploró el contenido de proteína entre 3 000 entradas de la colección mundial de avena. Se hicieron análisis del grano completo, inclusive el salvado. El contenido de proteína varió de 7.8% a 21.9% (3, 11). En 1971 Robbins *et al* (24) reportó que 289 muestras de granos de avena que cubrían una amplia gama de material genético (variedades comerciales cultivadas en los Estados Unidos y Canadá entre 1900 y 1970, más algunos linajes experimentales), contuvieron de 12.2% a 24.4% de proteína cruda, con un promedio de 17.1% de proteína en el grano. Estos datos sugieren que debe ser posible incrementar el porcentaje de proteína de los futuros cultivos de avena por encima del 15.0% a 18.0% de los cultivos actuales, mediante la recombinación de genes de alta proteína ya presentes en los linajes cultivados.

En un estudio reciente llevado a cabo en la Universidad Estatal de Iowa, Frey (11) analizó granos obtenidos de 192 linajes al azar derivados de generación F_2 de una población en masa que fue formada para que suministrase recombinaciones de genes de resistencia al acamado. El rango de los porcentajes de proteína en el grano fue de 14.6% a 32.3% y se resume en la tabla 1. En la misma área experimental, los cultivos comerciales tuvieron porcentajes de proteína en el grano de 15.8% a 19.7%.

En un estudio más amplio efectuado por Frey (11) en 1 000 linajes derivados de generación F_9 de otra población en masa, los porcentajes de proteína en el grano variaron de 11.8% a 23.2%, en tanto que los cultivos comerciales promediaron 18.4%. Estas observaciones de altos porcentajes de proteína en el grano de avena son alentadores porque: 1) Estos linajes experimentales de alta proteína se obtuvieron de poblaciones derivadas de híbridos, donde no se consideró a los progenitores en la cruza que tuvieran genes para altos porcentajes de proteína, y 2) Algunos linajes experimentales provenientes de hibridaciones entre linajes de *A. sativa* tuvieron porcentajes de proteína muy por encima de los cultivos comerciales actuales.

En el estudio de Robbins *et al* (24), las dos muestras de granos con el mayor contenido de proteína no se considera que sean avenas con alto contenido de proteína. Sus respectivos rendimientos de granos fueron de alrededor de un tercio menores que los cultivos testigos del mismo ensayo y por lo tanto fueron anormalmente altos en proteína. En general, en los granos de los cereales, existe una relación inversa entre el rendimiento de grano y el contenido de proteína.

TABLA 1 Distribución de frecuencias de porcentajes de proteína en el grano de linajes de avena derivadas de F_9, de una población en masas

Porcentaje de proteína-clase centro	*No. de linajes*
33	1
31	2
29	5
27	2
25	4
23	27
21	46
19	71
17	29
15	5
Media	20

Fuente: Frey (11).

Análogamente, cuando aumenta el contenido de grasa de *A. byzantina,* disminuye el nivel de proteína (7). Esto no es necesariamente válido para el caso de *Avena sativa.*

Briggle (2) indica que en un programa de mejoramiento, la selección por alto contenido de proteína en el grano de avena sin considerar el rendimiento total de grano, carecerá de sentido. Una medida más realista del avance serán los kilos de proteína en el grano por hectárea, más que sólo el rendimiento de grano o el porcentaje de proteína. Por otra parte, debe señalarse que el aumento de proteína por grano de avena es importante para el manufacturero y para el consumidor de productos de avena. La meta ideal es desarrollar avenas con alto contenido de proteína en las cuales se combinen los tres factores a los niveles de obtención óptimos de rendimiento, kilos de proteína en el grano y contenido de proteína en el grano.

En la actualidad, los datos preliminares indican que algunas de las nuevas variedades y linajes experimentales de avena bajo prueba tienen contenidos de proteína que promedian de 1 a 2% mayor que otras variedades con las cuales se han comparado y que tienen niveles semejantes de rendimiento. Algunos ejemplos de estas avenas con mayor contenido de proteína se presentan en la tabla 2. La nueva variedad de avena Dal, desarrollada por H. L. Shands de la Estación Agrícola Experimental de Wisconsin, y el cultivo OA123-33, formado por Vernon Burrows, de la Estación Experimental de Ottawa, son dos buenos ejemplos de materiales con alto contenido de proteína con niveles comerciales de rendimiento. Estos logros han alentado a los fitogenetistas que intentan obtener avenas con alto contenido de proteína.

TABLA 2 Porcentaje de proteína en el grano de cultivos de avena

Variedad o cultivo testigo	*Proteína (%)*		
	1969	*1970*	*1971*
Clintland 64	19.1	17.9	18.2
Gopher	17.4	16.3	17.4
Jaycee	19.6	18.0	18.5
Lodi	18.4	16.6	17.6
Orbit	17.2	16.3	16.8
Canadian OA123-33	–	19.8	–
Illinois 66-2287A	–	19.2	19.7
Illinois 68-1718	–	–	19.1
Wisconsin X 1289-3, DAL	–	19.1	19.5
Wisconsin X 1656-1	–	–	20.0

Nota: Los análisis de los aminoácidos se basan en los que hizo Eaker (4).

La transferencia de los genes que determinan mayor contenido de proteína en el grano de *A. sterilis* a cultivos comerciales aceptables, parecería muy sencilla puesto que esta especie silvestre se cruza con facilidad con los tipos cultivados, ya que ambos tipos tienen el mismo número de cromosomas. *A. sterilis* es una avena hexaploide que crece en forma silvestre en la región del Mediterráneo. La colección mundial de avenas del USDA cuenta con aproximadamente 5 000 colecciones de esta especie (3). Dichas colecciones se obtuvieron originalmente en virtud de su destacada resistencia a las enfermedades. Los granos de las colecciones de *A. sterilis* obtenidas en Israel, contuvieron de 15% a 30% de proteína (2). Algunas muestras analizadas tuvieron más de 30% de proteína. En 1965 dos de las colecciones de *A. sterilis* con mayor contenido de proteína se cruzaron con variedades de avena de buen tipo agronómico. Las progenies de estas cruzas fueron distribuidas por el USDA a mejoradores de avena de todos los Estados Unidos. Hubo dificultades para efectuar esta transferencia directa de alta proteína. En el programa de Beltsville, se aplicó presión de selección a los derivados de *A. sativa* X *A. sterilis* de acuerdo con dos criterios: 1) alto contenido de proteína, y 2) tipo agronómico y de grano (2). Cuando las progenies se seleccionaron únicamente sobre la base del contenido de proteína, los linajes con alto contenido de proteína se asemejaron a sus progenitores silvestres en las características de su semilla, es decir: alto porcentaje de cáscara, barvada, pubescente y alargada. Cuando las progenies se seleccionaron por tipo agronómico, tuvieron un contenido de proteína bajo o moderado. En general, hubo una relación negativa entre el rendimiento de grano y el contenido de proteína entre las progenies de *A. sativa* X *A. sterilis.* Otra asociación que se observó fue que las progenies de alta proteína tenían granos delgados y generalmente largos. Las selecciones con granos más cortos y llenos, deseables para la molienda, tuvieron niveles de proteína menores. Estas observaciones hacen pensar a uno si en *A. sterilis* existe una razón alto salvado/endosperma, y quizás ésta es realmente la explicación para el alto nivel de proteína. Si es así en realidad, no representa una fuente genética de alta proteína.

En contraste, Campbell y Frey (4) encontraron una correlación genética de 0.07 entre el peso del grano y el contenido de proteína en el grano para 10 cruzas de *A. sterilis* X *A. sativa,* y pudieron seleccionar varios linajes derivados de F_2 que tenían un alto contenido de proteína en el grano y además las características de grano de *A. sativa.* En un segundo estudio, Campbell y Frey (5) investigaron el porcentaje de proteína en el grano entre linajes derivados de F_2 de *A. sterilis* X *A. sativa,* y encontraron que la herencia parecía ser relativamente simple, es decir: que pocos *loci* o bloques de *loci* parecían contribuir a o a explicar los patrones de segregación. En varios cruzamientos los porcentajes parentales se recobraron con tan pocos como 35 a 45 linajes probados dentro de las cruzas.

Puesto que en los primeros trabajos con *A. sterilis* como fuente de alta proteína sólo se indujeron muy pocas colecciones individuales que se utilizaron como progenitores, esta fuente no ha sido abandonada en modo alguno. Más bien, ha inducido a los fitogenetistas a que la estudien nuevamente según lo demostraron Campbell y Frey (4, 5). Tal vez las colecciones de *A. sterilis* que se van a usar como progenitores potenciales deban primero seleccionarse por contenido de proteína y rendimiento, así como por configuración del grano.

Tomando como cierta guía los estudios sobre mutaciones de arroz llevados a cabo por Tanaka y Takagi (27), Frey (11) investigó los porcentajes de proteína de linajes de avena derivados de mutagénicos. Para el caso 11 usó cultivos de avena y en cada uno probó números iguales de linajes derivados de mutagénicos y de linajes testigo. Para cada cultivo, la población derivada de mutagénicos contuvo linajes con porcentajes de proteína mayores que los mejores linajes testigos.

A manera de ilustración, los datos de un cultivo demuestran la variación inducida (tabla 3). Para el cultivo Clintland, tres linajes derivados de mutagénicos

TABLA 3 Distribución de frecuencias y medias de los porcentajes de proteína en el grano para linajes de avena de poblaciones derivadas de genes mutantes y poblaciones testigos de un cultivo Clintland

Porcentaje de proteína clase centro	*No. de linajes*	
	Derivadas de genes mutantes	*Testigo*
17	–	6
18	19	22
19	46	43
20	16	13
21	2	1
22	1	–
23	–	–
24	1	–
Media (porcentaje de proteína)	19.2	18.8
Correlación[a]	0.00	-0.09

Fuente: Frey (3).

[a] Correlaciones entre porcentajes de proteína en el grano y rendimiento de grano.

excedieron el mejor linaje testigo en su porcentaje de proteína en el grano. Ninguno de los linajes derivados de mutagénicos fue menor que el linaje testigo más bajo. Los tres linajes superiores (Nos. 27, 28 y 49) de la población derivada de mutagénicos tuvo 21.1%, 23.9% y 22.1% de proteína en el grano, respectivamente. El linaje 49 tuvo un rendimiento bajo, pero los otros dos superaron el rendimiento medio del testigo. Un segundo cultivo, Burnett, que es un linaje superior (la número 20) de la población derivada de mutagénicos, tuvo un 19.9% de proteína en el grano y rindió tanto como el rendimiento medio de los testigos.

Hasta ahora no se ha hecho un análisis de aminoácidos de los linajes derivados de mutagénicos con alto contenido de proteína en el grano. Estos estudios iniciales sugieren que el contenido de proteína en el grano de las avenas se puede elevar significativamente mediante el tratamiento con agentes mutagénicos.

En lo que respecta a otras especies de *Avena* como fuente de genes de alta proteína, Burrows fue mencionado antes como el que desarrolló el cultivo canadiense OA123-33 (tabla 2). Este cultivo, que no ha sido distribuido comercialmente, se basa en *A. strigosa.* Es bastante promisorio y tiene un contenido de 20% o más de proteína en el grano: sus niveles de rendimiento son aceptables.

Otro enfoque que indudablemente contribuirá al mejoramiento de la calidad de la avena, es el usar los microscopios electrónicos y de luz a fin de obtener información (25) sobre las finas estructuras y el tiempo de desarrollo de los cuerpos proteínicos en la semilla de la avena (23, 25). Sraon (25) ha observado pequeños gránulos de proteína que aparecen en las vacuolas de las células de aleurona 12 días después de la polinización. Se supone que los linajes de avena con alto contenido proteínico tienen cuerpos proteínicos más numerosos o más grandes por semilla. Si esto es cierto, entonces el contenido de proteína de una sola semilla puede ser determinada con la ayuda del microscopio electrónico. Sraon sugiere que la generación segregante se seleccione mediante la prueba de semillas individuales, salvando la porción del embrión que se puede hacer germinar después de detectar el recombinante deseable. La estación experimental de Dakota del Sur proyecta iniciar un estudio riguroso con respecto a la relación geométrica de las proteínas con otros componentes del grano, junto con investigaciones genéticas cuantitativas (26).

Youngs (32) investigó e informó recientemente acerca de la distribución de la proteína en el grano de siete variedades de avena. El afrecho y el endosperma contribuyen con la mayor cantidad de la proteína total del grano. A medida que aumenta la proteína total del grano, aumenta el peso y el grosor del afrecho. Por otro lado, el peso del endosperma disminuye y aún así aumenta la concentración de proteína tanto del afrecho como del endosperma. Puesto que se empleó la disección a mano para obtener las cuatro fracciones de la avena, habrá que interpretar los datos con ciertas reservas.

Las implicaciones de un grano de avena con alto contenido proteínico con afrecho grueso probablemente no sean serias cuando todo el grano completo se usa comercialmente, como es el caso de la elaboración de cereal para el desayuno, pero todavía hay que preguntar si hay un efecto adverso sobre el sabor, el color o la textura. Sin embargo, cuando la consideración principal es la harina de avena, el rendimiento de harina será probablemente menor cuando se trata de una variedad con alto contenido de proteína, según el estudio de Youngs (32).

Aún así, es alentador que un incremento en la proteína del endosperma acompaña al incremento en la proteína del grano total. Por tanto, pueden encontrarse otros usos alimenticios para esta harina de alto contenido proteínico.

RELACION ENTRE RENDIMIENTO DE GRANO Y PORCENTAJES DE PROTEINA

Frey (11) señaló que, tradicionalmente, los granos de cereales se han cultivado y utilizado como productores eficientes de fuentes de alimentos energéticos, y la bibliografía disponible muestra repetidamente que casi en forma universal, los rendimientos de grano y los contenidos de proteína se correlacionan negativamente. Esto llevó a la aceptación de una constante universal de nitrógeno a un nivel límite en la absorción de nitrógeno de 318 Kg/ha.

Black y Kempthorne (1) han demostrado que esta constante es errónea. Además, White y Black (31) mostraron que, en cultivos sembrados en macetas, las plantas en diversos casos absorberían mucho más nitrógeno que el equivalente a 318 Kg/ha. Sugirieron entonces que la correlación negativa universalmente aceptada entre rendimiento de grano y porcentaje de proteína en el grano se debía a lo inadecuado del aprovechamiento del nitrógeno del suelo en la mayoría de los experimentos. Por ello, la implicación es que las correlaciones negativas reportadas son fenotípicamente reales, pero no genotípicas en su origen.

Dos informes que figuran en la bibliografía del trigo hacen comentarios al respecto. Middleton *et al* (19) informaron que los cultivos de trigo Atlas 50 y Atlas 66 fueron tan productivos como varios cultivos tradicionales en pruebas extensivas llevadas a cabo en muchos sitios durante tres años. No obstante, estos cultivos presentaron de 0.9% a 3.2% más proteína en su grano. Johnson *et al* (17), utilizando Atlas 66 como una fuente de genes de alta proteína, han aislado varios linajes de trigo de "segundo ciclo" que son de tipo rojo de invierno y que combinan altos rendimientos de grano con 2.5% de aumento en su contenido de proteína.

Frey (11) ha probado cultivos y linajes de avena en experimentos de campo donde el nitrógeno del suelo era muy deficiente y muy adecuado, respectivamente, para cultivar plantas de avena. En estos experimentos, las correlaciones entre rendimiento de grano y porcentajes de proteína en el grano fueron −0.24 y +0.04, respectivamente (tabla 4). En la Estación Experimental Agrícola de Iowa, 80 kg/ha de nitrógeno permanecieron aprovechables después de que maduró el cultivo. Los datos de la avena indican que pudiera ser necesario incrementar la fertilización con nitrógeno que ordinariamente se usa para granos pequeños para poder explotar el potencial genético de alto rendimiento y alto porcentaje de proteína en los nuevos cultivos. En todo caso, es necesario efectuar más investigación sobre prácticas culturales en la avena.

TABLA 4 Rangos de rendimientos de grano y porcentajes de proteína en el grano, y correlaciones entre estas dos características para 60 linajes y cultivos de avena cuando se cultivan bajo condiciones deficientes y adecuadas de nitrógeno del suelo.

Condición de nitrógeno del suelo	*Rango de porcentajes de proteína*	*Rango de rendimientos de grano*	*Correlación*
Deficiente	15.0-20.0	10-21	-0.24[a]
Adecuado	16.0-20.6	11-42	+0.04

Fuente: Frey (11).

[a] Denota significación al nivel de 5%.

CALIDAD NUTRICIONAL DE LA PROTEINA DE LA AVENA

Hasta fecha muy reciente, la selección de variedades de avena con respecto al valor biológico de su proteína recibió muy poca atención, puesto que los trabajos se habían orientado más bien hacia aspectos prácticos como son el rendimiento, la resistencia a las plagas y a las enfermedades y la facilidad de cosecha por medios mecánicos. Sin embargo, al parecer hay algunos tipos de avena que poseen la propiedad poco común de no sufrir una pérdida del valor biológico de su proteína. Según los procesos de selección que se utilizan aumenta el contenido total de la proteína, como se discutió anteriormente. Clark y Potter (7), revisaron la composición y las propiedades nutricionales de la proteína en variedades de avena seleccionadas. Puntualizaron que la avena no se ha considerado por proteína, según se refleja en el pequeño número de informes de investigación que se han presentado sobre las diferencias en la calidad nutricional de las proteínas de diversas variedades de avena. En la mayoría de los estudios nutricionales de la proteína de la avena se han utilizado copos de avena comercialmente producidos. Los copos de avena son producidos a partir de mezclas de avenas, según los reciben los procesadores de los almacenes de grano de avena. Esto hace imposible señalar qué impacto ha tenido cualquier variedad específica sobre la calidad nutricional general del producto de avena.

Consecuentemente, Hischke *et al* (12) trataron de correlacionar el contenido de aminoácidos de los granos de siete variedades de avena de pureza conocida, cultivadas en el mismo sitio, con los resultados de pruebas de alimentación en ratas (dietas que contenían 60% de avena por peso). El contenido de lisina de estas avenas varía de 83 a 88% con respecto al estándar provisional de la FAO (14), en tanto que la treonina varía de 103 a 106% con respecto a la cifra de la FAO. Los datos sobre el contenido de metionina y cistina deben tomarse con precaución porque los resultados se obtuvieron de la destrucción ácida de estos aminoácidos que contienen sulfuro y no se intentó comparar tales datos con los estándares de la FAO. No obstante, los siete cultivos tuvieron cocientes de eficiencia protéinica (REP) semejantes de 2.3 a 2.4 (gramos de aumento en el

peso del cuerpo por gramo de ingestión de proteína). Es decir, estos animales no pueden detectar las diferencias en composición de aminoácidos encontradas por el análisis químico. Esto apoya las conclusiones de Weber *et al* (29) en el sentido de que las diferencias de aprovechabilidad biológica de aminoácidos específicos como la treonina, puede ser de mayor importancia que el contenido de aminoácidos de la proteína del grano según los análisis químicos.

Otra dificultad real en el mejoramiento de la calidad proteínica de las variedades de avena es la relativamente gran cantidad de materiales genéticos para llevar a cabo los estudios ordinarios de la alimentación como el REP, con el empleo de ratas blancas. Sabiendo de antemano que solamente se recuperan unos cuantos gramos de semilla en el paso de hibridación original y que se necesitan 3 ó 4 kilos de semilla para ensayos de alimentación de 28 días, hay poca duda de que la calidad nutricional potencial de las nuevas variedades se han ignorado hasta hora.

Elliot y Marcarian (8) han efectuado algunos bioensayos de cultivos, linajes experimentales y materiales derivados de *A. sativa* X *A. sterilis,* usando ratones de campo como organismo de prueba. La cantidad de material de prueba requerida por estos animales, en pruebas de únicamente 6 días, hace que se reduzca considerablemente el volumen requerido. A los ratones se les proporcionan dietas isonitrogenadas con 7% de proteína durante 6 días. Se supone que el bajo nivel de proteína de la dieta pone a los animales bajo tensión de proteína, de tal manera que se puede estimar la calidad de la proteína. Los REP del ratón se comparan con los REP para caseína. En estas pruebas algunas avenas tienen mayores REP que la caseína, sin embargo los resultados son variables. Los datos obtenidos hasta ahora se consideran preliminares y todavía hay que efectuar más investigaciones.

Los REP para las proteínas de los cereales varían con el cultivo. El trigo, el arroz, el maíz y el sorgo tienen la proteína de menor calidad (tabla 5) (13, 15, 18, 20). La avena es consistentemente más alta, seguida por el centeno y la

TABLA 5 Razones de eficiencia proteínica (REP) de proteínas de cereales en dietas de ratas

Fuente de proteína	*Porcentaje de proteína en la dieta*				
	5.0[a]	*7.5*[b]	*9.5*[c]	*9.0-10.0*[c]	*8.0-10.0*[d]
Avena	–	2.1	2.5	1.8	2.2
Centeno	–	2.2	1.8	1.3	–
Cebada	–	1.7	–	1.6	2.0
Maíz	–	1.6	–	1.4	–
Trigo	–	1.4	1.7	0.9	1.7
Sorgo	–	–	–	0.7	–
Arroz	1.7	–	–	–	–

[a] Houston y Kohler (13).
[b] Jones *et al* (18).
[c] Howe *et al* (15).
[d] Morkuze (20).

TABLA 6 Porcentajes de fracciones de prolamina en las proteínas del grano de varios cereales

	Prolamina	
Cultivo	*Nombre*	*Proteína (%)*
Avena	Avenina	12
Centeno	Secalina	40
Cebada	Hordeína	40
Maíz	Zeína	50
Sorgo	Gliadina	45
Trigo	Kafarin	60

Fuente: Mossé (21).

cebada. Quizás haya que decir que la avena no se la quita el germen al procesarla como ocurre con el maíz y el trigo, y, por tanto la calidad nutricional de la avena permanece intacta.

Frey (11), basado en las investigaciones de Mossé (21), señaló que los REP de las proteínas de diferentes cereales parecen tener una relación directa con la proporción de prolamina, la fracción proteínica soluble en alcohol que la proteína contiene (tabla 6). Frey (10) notó mucho antes que la avenina de la proteína del grano de avena no aumentaba al incrementarse el contenido general de proteína como se encontró con la zeína del maíz. La proteína zeína y otras prolaminas carecen de lisina que es el aminoácido limitante principal, de acuerdo con Mossé (21). Frey (10) encontró que los cultivos de avena con un rango de proteína de 9.3% a 15.8% tenían todos avenina: proteína de 0.18 a 0.19.

La harina de avena contiene mayores cantidades de lisina que cualquier otro cereal, según lo demostró Ewart (tabla 7) (9, 13, 14). Se ha encontrado que los

TABLA 7 Porcentajes de los aminoácidos esenciales en las proteínas de harina de los cereales

	Porcentajes en la proteína de [a]						
Aminoácidos	*Arroz*[b] *(lustrado)*	*Avena*	*Maíz*	*Cebada*	*Centeno*	*Trigo*	*FAO*[c]
Isoleucina	4.6	3.8	3.6	3.6	3.6	3.6	4.2
Leucina	8.0	7.7	11.6	7.2	6.7	6.7	4.8
Lisina	3.5	4.5	3.5	3.1	3.2	2.0	4.2
Metionina	2.9	1.8	2.0	1.7	1.7	1.3	2.2
Fenilalanina	5.2	5.2	4.9	5.5	4.9	5.1	2.8
Treonina	3.5	3.7	3.9	3.3	3.4	2.7	2.8
Triptófano	1.3	2.0	0.9	2.0	1.8	1.1	1.4
Tirosina	4.9	2.6	2.3	2.7	2.1	2.6	2.8
Valina	6.5	5.0	4.9	4.6	4.4	3.7	4.2

[a] Ewart (9).
[b] Houston y Kohler (13).
[c] Howe (14).

TABLA 8 Contenido de aminoácidos en la harina de diferentes cereales

	Gramos/100 productos comestibles					
Aminoácido	*Avena*	*Trigo*	*Cebada*[a]	*Centeno*[b]	*Arroz*	*Maíz*
Cistina	0.31	0.29	0.28	0.23	0.10	0.10
Isoleucina	0.73	0.58	0.55	0.49	0.36	0.36
Leucina	1.07	0.89	0.89	0.77	0.66	1.01
Lisina	0.52	0.37	0.43	0.47	0.30	0.26
Metionina	0.21	0.20	0.18	0.18	0.14	0.15
Fenilalanina	0.76	0.66	0.66	0.54	0.38	0.35
Treonina	0.47	0.38	0.43	0.42	0.30	0.31
Triptófano	0.18	0.16	0.16	0.13	0.08	0.05
Tirosina	0.52	0.50	0.47	0.37	0.35	0.48
Valina	0.86	0.62	0.64	0.59	0.53	0.40

Fuente: Orr y Watt (22).
[a] Grano.
[b] Harina media.

porcentajes de metionina son mayores en el arroz y el maíz; el porcentaje de treonina es más alto en el maíz. Desde el punto de vista de la calidad, el arroz supera ligeramente a la avena. Sin embargo, cuando se combinan cantidad y calidad, como se muestra en la tabla 8, la avena presenta un contenido general de aminoácidos esenciales por 100 gramos de harina que es mayor que el que se encuentra en la harina de cualquier otro cereal. Le sigue el trigo, y después la cebada y el centeno. El arroz y el maíz presentan cantidades menores de estos aminoácidos, sobre las bases mencionadas.

La composición de aminoácidos de la avena es marcadamente constante sobre una amplia gama de valores de contenido de proteína. Análisis recientes de linajes de *A. sterilis*, la avena silvestre traída de Israel, confirma este punto (tabla 9). Además, Robbins *et al* (24) encontraron que era muy pequeña la correlación del porcentaje de grano y la proteína con el porcentaje de lisina en la proteína. De las 289 muestras de avena que se analizaron, el contenido medio de lisina fue de 4.2% de la proteína total. El máximo contenido de lisina fue de 5.2% y el mínimo de 3.2%. Este rango es indicativo de la suficiente variabilidad en el contenido de lisina de la avena, como para esperar un mejoramiento si la mayor parte de dicha variabilidad es genética. Si esto se debe a la influencia del medio ambiente, entonces el mejoramiento mediante manipulación genética podría ser diferente.

En el estudio de Robbins *et al* (24), el contenido medio de treonina fue de 3.3% en la proteína. El máximo fue de 3.5% y el mínimo de 3.0%. El rango de contenido de treonina es limitado. El contenido medio de metionina fue de 2.5%, con un máximo de 3.3% y un mínimo de 1.0%. De nuevo, el rango resultó limitado. Por ello, las correlaciones entre proteína y treonina y metionina son altamente negativas. En consecuencia, el mejorador de avena debe poner estricta atención no sólo al contenido de proteína y al porcentaje de lisina, sino también a mantener un nivel aceptable del segundo y tercer aminoácido limitante. En efecto, los niveles de treonina y metionina pueden ser más críticos que la lisina.

TABLA 9 Porcentajes de proteína y aminoácidos en granos de linajes de *Avena sterilis*

	No. de linaje (%)		
Componente	*1*	*2*	*3*
Proteína[a]	17.0	25.1	21.7
Lisina[b]	4.0	3.9	4.1
Treonina	3.3	3.4	3.4
Cistina	1.8	1.7	1.6
Valina	5.7	5.7	5.9
Leucina	7.8	7.8	7.9
Tirosina	3.3	3.4	3.4
Fenilalanina	5.5	5.5	5.7

Fuente: Datos inéditos, Quaker Oats Company, 1971.

[a] Porcentaje de peso seco.

[b] Aminoácidos, porcentaje de proteína.

El bajo coeficiente de variación de los niveles de treonina indica que sería difícil lograr un incremento marcado en el nivel de treonina mediante mejoramiento genético (24). La variabilidad genética dentro de una población es un requisito para lograr avances mediante la selección de esa característica. Se espera que otro germoplasma de *Avena,* que no se haya incluido en el estudio de Robbins (24), pueda dar mayor oportunidad de aumentar la treonina.

Es posible que con respecto al análisis químico como una medida directa de la aprovechabilidad para el organismo que la ingiere, la lisina no fuera de gran importancia. Por otra parte, el análisis químico de la proteína de la avena indica que la treonina no es marcadamente deficiente, pero los datos biológicos indican lo contrario. Por ejemplo, Tang *et al* (28), han reportado que mientras que la rata no aprovecha la treonina de la proteína de la avena sí aprovecha la lisina y la metionina.

Debido a que la proteína de la avena tiene gran valor biológico en relación con otros cereales y debido a que su composición de aminoácidos es más bien constante sobre un amplio rango de porcentajes de proteína, los fitogenetistas cooperan ahora en un diseño experimental especial para medir la variabilidad genética y ambiental de la proteína de la avena, su contenido de aceite y sus aminoácidos específicos (3).

Para apoyar este esfuerzo, en 1970 se estableció en la Universidad de Wisconsin un laboratorio de calidad de avena, patrocinado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y la Estación Experimental de Wisconsin. Cada año se analizan varios miles de muestras de grano para determinar su contenido de proteína. Cierto número de muestras se analizan también con respecto a la estructura de los aminoácidos, contenido de aceite y otros criterios de calidad. Además de ofrecer servicios a los mejoradores de avena de los Esta-

dos Unidos, los miembros del personal científico del laboratorio llevan a cabo estudios de investigación básica sobre la calidad del grano de avena y sobre la fisiología de la planta de avena en relación con la síntesis de las proteínas.

RESUMEN

En conclusión, los datos de que se dispone sobre la proteína del grano de avena sugieren que:

1. Parece haber cuatro fuentes de genes para aumentar el porcentaje de proteína en el grano de avena.
2. La proteína de la avena tiene un alto valor biológico en relación con otros cereales.
3. La composición de aminoácidos de la proteína del grano de avena es más bien constante para todos los niveles de porcentajes de proteína. En tanto que algunas investigaciones se dedican a la búsqueda de una composición variable de aminoácidos en la proteína de la avena y a pruebas de alimentación con animales de laboratorio con granos de diferentes cultivos de avena, el esfuerzo principal es sencillamente el de aumentar el contenido de proteína en el grano de avena. Frey (11) predice que es probable que para 1980 habrá cultivos de avena comercialmente aceptables con 22% a 24% de contenido de proteína. Esperemos que así sea.

Los autores agradecen especialmente a L. W. Briggle su información y comentarios, a K. J. Frey por permitirnos usar su trabajo "Improvement of Quantity and Quality of Cereal Grain Protein" (11), y a H. L. Shands por su cooperación.

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia).

BIBLIOGRAFIA

1. Black, C. A. y O. Kempthorne. 1954. Wilcox's agrobiology: II. Application of the nitrogen constant 318. Agron. J., 46:307-310.
2. Briggle, L. W. 1971. Improving nutritional quality of oats through breeding. Agron. Abs., pág. 53.
3. Briggle, L. W. Oct. 1972. Personal communication.
4. Campbell, A. R. y K. J. Frey. 1972. Associations between groat protein percentage and certain plant and seed traits in interspecific oat crosses. Euphytica, 21:352-362.
5. Campbell, A. R. y K. J. Frey. 1972. Inheritance of groat-protein in interspecific oat crosses. Can. J. Plant Sci., 52:735-742.
6. Clark, W. L. 1972. A new look at oats. Agrologist, 1/6:9-11.
7. Clark, W. L. y G. C. Potter, 1972. The composition and nutritional properties of protein in selected oat varieties. In G. E. Inglett (ed.), Symposium: seed proteins. Avi Publishing Co., Westport Conn., págs. 165-175.
8. Elliot, F. C. y V. Marcarian. 1971. Nutritive quality of cereals as determined by weanling vole assay. Agron. Abs., pág. 56.
9. Ewart, J. A. D. 1967. Amino acid analyses of cereal flour proteins. J. Sci. Food Agr., 18:548-552.

10. Frey, K. J. 1951. The relation between alcohol-soluble and total nitrogen content in oats. Cereal Chem., 28:506-509.
11. Frey, K. J. 1951. Improvement of quantity and quality of cereal grain. *En* Alternate sources of protein for animal production, Natl. Acad. Sci.-Natl. Res. Council Publ.
12. Hischke, H. H., Jr., G. C. Potter y W. R. Graham, Jr. 1968. Nutritional value of oat protein. I. Varietal differences as measured by amino acid analyses and rat growth responses. Cereal Chem., 45:374-378.
13. Houston, D. F. y C. O. Kohler. 1970. Nutritional properties of rice. Natl. Acad. Sci., Washington, D. C., págs. 24-25.
14. Howe, E. E. 1957. Amino acids in foods. Human Protein Requirements and Their Fulfillment in Practice. FAO Nutr. Meetings Rept. Ser. 12, pág. 114.
15. Howe, E. E., G. R. Jansen y E. W. Gilfillan. 1965. Amino acid supplementation of cereal grains as related to the world food supply. Amer. J. Clin. Nutr., 16:315-320.
16. Jenkins, G. 1969. Grain quality and hybrids of *Avena sativa* L. and *A. byzantina*. J. Agr. Sci., 72:311-317.
17. Johnson, V. A., P. J. Mattern y J. W. Schmidt. 1972. Genetic studies of wheat protein. *En* G. E. Inglett (ed.), Symposium: seed proteins. Avi Publishing Co., Westport, Conn., págs. 126-135.
18. Jones. D. B., A. Caldwell y K. D. Widness. 1948. Comparative growthpromoting values of the proteins of cereal grains. J. Nutri., 35:639-649.
19. Middleton, G. K., C. E. Bode y B. B. Bayles. 1954. A comparison of the quality and quantity of protein in certain varieties of soft wheat. Agron. J., 46:500-502.
20. Morkuze, Z. 1937. Biological value of proteins of certain cereals. Biochem. J., 31:1973-1977.
21. Mossé, J. 1966. Alcohol-soluble proteins of cereal grains. Fed. Proc., 25:1663-1669.
22. Orr, M. L. y B. K. Watt. 1968. Amino acid content of foods. Home Econ. Res. Rept. 4. Agr. Res. Serv., U. S. Dept. Agr., Washington, D. C.
23. Pomeranz, Y. 1972. Scanning electron microscopy of the oat kernel. Cereal Chem., 49:20-22.
24. Robbins, G. S., Y. Pomeranz y L. W. Briggle. 1971. Amino acid composition of oat groats. Agr. Food Chem. 19:536-539.
25. Sraon, H. S. 1972. An electron microscope study of protein bodies of the developing oat seed. Proc. S. Dakota Acad. Sci., 51:69-72.
26. Sraon, H. S. July 13, 1972. Personal communication.
27. Tanaka, S. y Y. Takagi. 1970. Protein content of rice mutants. *En* Improving plant protein by nuclear techniques. Intern. At. Energy Agency Publ. SM132/2, Vienna, págs. 55-62.
28. Tang, J. J. N., L. L. Laudick y D. A. Benton. 1958. Studies of amino acid supplementation and amino acid availability with oats. J. Nutr., 66:533-543.
29. Weber, E. A., J. P. Thomas, R. Reder, A. M. Schelehuber y D. A. Benton. 1957. Protein qualities of oat varieties. J. Agr. Food Chem., 5:926-928.
30. Webster, F. H., G. C. Potter, W. L. Clark, R. E. Smith, y K. S. Ramachndran. 1970. Oats: a potential protein source. III Intern. Congr. Food Sci. Technol., Washington, D. C., agosto 1970 (abstr. 104).
31. White, W. C., y C. A. Black, 1954. Wilcox's agrobiology: III, The inverse yield-nitrogen ratio. Agron. J., 46:310-313.
32. Youngs, V. L. 1972. Protein distribution in the oat kernel, Cereal Chem., 49(4):407-411.

ESTADO ACTUAL DE LOS PROGRAMAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DE LOS TRITICALES

Frank J. Zillinsky*

Los triticales son anfiploides de híbridos entre la especie trigo y la especie centeno. Los triticales hexaploides que se originaron a partir de cruzamientos entre trigos cristalinos y centenos diploides se han mostrado más promisorios en lo que respecta al desarrollo de un cultivo productivo, más que los tipos octaploides que se formaron mediante cruzamientos entre trigos harineros y centeno.

En 1967, en el CIMMYT, se inició un programa dedicado solamente al mejoramiento de los triticales, merced al patrocinio de la Fundación Rockefeller en cooperación con la Universidad de Manitoba.

En 1972 el gobierno canadiense auspició el proyecto por medio de la cooperación entre la Canadian International Development Agency (CIDA) y el International Research Council (IRC).

EVALUACION DE LA CALIDAD NUTRICIONAL

En el pasado el hincapié sobre la evaluación de los granos de los cereales se puso en las propiedades físicas más que en las características nutricionales. Sin embargo, durante los últimos años, se ha advertido mucho más la necesidad de una mayor cantidad de alimento más nutritivo. El descubrimiento de poblaciones de maíz, cebada y otros cultivos que poseen un mayor contenido de aminoácidos esenciales, muestra que entre linajes de variedades de los cultivos

* CIMMYT, México.

existen diferencias de calidad nutricional tal y como existen con respecto a su calidad industrial. Los descubrimientos de la presencia de substancias inhibidoras del crecimiento en los granos y en otras partes de la planta, nos han mostrado que hay factores tanto negativos como positivos que deben considerarse cuando se trabaja con la calidad nutricional. No es suficiente incrementar la proporción de los nutrimentos esenciales, sino que deben ser aprovechables por el sistema biológico y hay que reducir a un mínimo la presencia de compuestos que inhiben el crecimiento.

Cuando CIMMYT empezó sus estudios sobre la calidad nutricional de los triticales, la reducida cantidad de información al respecto no fue muy alentadora. Entre los resultados que se encontraron en las primeras pruebas con los triticales se incluían una disminución de la ingestión de alimento, ganancias bajas de peso, aumentos en los abcesos del hígado y daños en el epitelio del rúmen (es probable que el cornezuelo haya sido el responsable de algunos de los resultados adversos).

Uno de los primeros informes más alentadores fue la declaración de que, kilo por kilo, los triticales podrían reemplazar a otros granos en la alimentación de aves. Cuando se considera que el contenido de proteína de la mayoría de los primeros triticales fue de 2% mayor que los cereales que estaban reemplazando, este informe en realidad no daba ningún indicio acerca de la calidad de la proteína de los triticales.

PRIMEROS HALLAZGOS DE CIMMYT

Poco después de haberse iniciado el programa de triticales en el CIMMYT, E. Villegas llamó mi atención en lo concerniente al amplio rango de contenido de proteína entre nuestros triticales y a la variabilidad presente en dos aminoácidos esenciales, la lisina y el triptófano. La proteína del grano varía entre 10 y 20%, y las diferencias en la lisina total en la muestra varió hasta en un 100% entre los materiales cultivados en un mismo sitio.

Entre los primeros problemas que encontramos en la producción de triticales con un mayor contenido de proteína fueron que 1) todos los sondeos analíticos tenían que hacerse sobre bases químicas, 2) había una correlación positiva entre el grado de arrugamiento del grano y el contenido de proteína, y 3) una correlación negativa entre el contenido de proteína y el porcentaje de lisina en la proteína.

Puesto que la idea de mejorar la calidad nutricional de los cereales es relativamente nueva, no se han desarrollado técnicas para seleccionar muchos linajes con respecto a su calidad nutricional, aún de manera preliminar o predictiva. Los fitomejoradores que trabajan con maíz son muy afortunados ya que el grano de este cereal tiene caracteres morfológicos visibles asociados con las características de alta calidad nutricional. De este modo se tiene un "cedazo" muy útil con respecto a la calidad proteínica antes de que se hagan las evaluaciones químicas y biológicas. Estas asociaciones aún no se encuentran en otros cereales.

Fred Elliot, de la Universidad Estatal de Michigan, indicó que el contenido de proteína y la composición de aminoácidos se podrían medir eficientemente en el laboratorio, pero su aprovechabilidad y la presencia de antimetabólicos eran

más difíciles de determinar, particularmente cuando no se conoce la naturaleza de estos compuestos. Elliot ofreció su colaboración para efectuar ensayos biológicos con algunos de nuestros "mejores" triticales. El había estado trabajando con ratas de campo por varios años y había observado que los ratoncitos recién destetados tenían una respuesta de crecimiento lineal pronosticable por 7 a 10 días. Sus necesidades de proteína eran muy bajas de manera que se podía lograr un crecimiento satisfactorio a partir de la proteína suministrada por una sola fuente de grano. Las ratas de campo también son muy sensibles a los factores inhibidores.

Aunque se escogieron linajes que, según se pensaba, eran la mejor combinación de tipo de grano, rendimiento, contenido de proteína y porcentaje de lisina, los primeros resultados de los bioensayos fueron decepcionantes. Elliot se desalentó, sin embargo sugirió que le enviásemos un mayor número de linajes para estudiarlos. De un grupo de casi 300 linajes, descartamos aquéllos cuyo grano presentaba arrugamiento severo, o que tenía un contenido de proteína muy pobre o un porcentaje de lisina muy bajo. Así quedaron 191 linajes que se utilizaron en bioensayos para determinar la eficiencia de la proteína.

Estos dieron una distribución cuyos valores promedios en 3 animales variarion de .07 a 3.5 VPI (índice preliminar de los ratones de campo). Alrededor de 17 valores estuvieron por debajo de 1.0 y 20 VPI fueron iguales o superiores a los valores obtenidos para la caseína. Se supuso que los valores promedio bajos se debieron a una baja palatabilidad, a valores bajos o a baja disponibilidad de aminoácidos básicos o de otros nutrientes, o a la presencia de compuestos antimetabólicos. Estos linajes fueron descartados.

Los linajes que tenían valores iguales o mayores que la caseína se consideraron deseables y se mantuvieron. También se notó que había poca asociación entre los valores de eficiencia proteínica y el porcentaje de lisina en la proteína o el contenido total de proteína.

Villegas comenzó a investigar las posibilidades de que los resorcinoles fueran uno de los antimetabólicos en los triticales. Esta clase de compuestos se encontró en el centeno y se informó que limitaban el crecimiento en cerdos y ratas. Villegas encontró que el contenido de resorcinol de los triticales se aproximaba más al del trigo que al del centeno y que la mayoría de los valores bajos de la razón de eficiencia proteínica (REP) de los análisis llevados a cabo en los ratones habían tenido valores bajos de resorcinol.

Puesto que nuestro propósito no es el de producir triticales para suministrar dietas solamente para ratas de campo, buscamos la ayuda de nutriólogos que trabajan con otros animales no-rumiantes. James McGinnis, especialista en nutrición avícola de la Universidad Estatal de Washington (WSU) demostró que el centeno, los frijoles y la pasta de soya contenían substancias inhibidoras del crecimiento. McGinnis se ofreció a efectuar pruebas de nutrición con pollos y gallinas ponedoras para ayudar a determinar la calidad proteínica de nuestros linajes de triticales.

McGinnis resumió su investigación sobre la calidad nutricional del triticale, centeno y trigo en un documento que preparó a principios de 1972. Quisiera citar algunas de las conclusiones pertinentes al tema que trato ahora.

1. Las dietas de prueba para pollos utilizados para evaluar las proteínas de los granos de cereales, deben suplementarse con aminoácidos de otras fuentes a fin de obtener resultados significativos.

2. Usando una dieta de prueba con 14% de proteína, 6% de la cual se deriva de una premezcla y el resto de los granos a probar, la pasta de soya favoreció significativamente el mejor crecimiento de los pollos que cualquiera de los granos de cereales.

3. No se obtuvieron diferencias significativas en el crecimiento de los pollos con las primeras cinco muestras de triticales obtenidas en el noroeste de México y seleccionadas según su efecto sobre los ratoncitos. Los valores de razón de eficiencia proteínica (REP) de estos linajes no fueron significativamente diferentes a la REP para pasta de soya; sin embargo, la pasta de soya propició significativamente mejor el crecimiento que los linajes de triticales.

4. En otra prueba en que se ensayaron otras 13 selecciones de triticales, algunos permitieron un mejor crecimiento de los pollos que el trigo o el centeno, y además algunos de los triticales no fueron mejorados por la adición de un suplemento de penicilina. Estos triticales por lo general tuvieron mayores valores REP que los que respondieron a la adición de penicilina.

5. Se encontraron algunas diferencias muy significativas entre 35 linajes diferentes de triticales cultivados en el Estado de Washington. Estas diferencias existieron aún cuando la dieta basal se modificó para que contuviera un suplemento de penicilina y lisina además de metionina.

6. Una variedad de triticales llamada Trailblazer se cultivó en Washington y entró como componente de una dieta práctica de pollos para asar, la cual contenía harina de carne y de hueso, harina de pescado y pasta de soya. Esta dieta resultó ser deficiente en lisina.

7. Cuando se ensayó el triticale Trailblazer en los procedimientos de evaluación desarrollados para los otros triticales, apoyó sólo ligeramente más de la mitad del crecimiento que propició la pasta de soya cuando ambos materiales suministraron 8% de la proteína de la dieta. La adición de lisina y treonina mejoró significativamente la tasa de crecimiento.

8. En dietas para gallinas ponedoras, el reemplazo de otros cereales por el centeno causó una marcada disminución de la producción de huevos poco después de cambiar la dieta.

9. En un experimento llevado a cabo por Eduardo Rivera (Fomento Avícola del Pacífico, S. A.), los triticales (linaje PM-132) dieron una producción de huevo comparable a la de la dieta testigo cuando se reemplazó todo el mijo y una parte de los concentrados proteínicos como la harina de pescado, la pasta de soya y la pasta de cártamo. La dieta tuvo aún niveles bajos de harina de soya y harina de pescado.

10. En los experimentos de la Universidad Estatal de Washington, el triticale Trailblazer favoreció una producción de huevo equivalente cuando reemplazó a todos los granos de cereales sobre una base de kilo por kilo. Sin embargo, cuando el nivel de proteína se mantuvo constante, y se eliminaron otros concentrados de proteína, la producción de huevo disminuyó significativamente. La lisina suplementaria no mejoró la producción de huevo, lo cual indicó que había deficiencia de otros aminoácidos o que algunos de los aminoácidos de este linaje no eran aprovechables.

LA UTILIDAD DE LAS RATAS DE CAMPO COMO "CEDAZOS"

Aunque las ratas de campo parecen tener algunas características como las de ser muy útiles como "cedazos" preliminares respecto a la disponibilidad de nutrimentos y a la presencia de antimetabólicos, etc., hay varias interrogantes serias u objeciones que han surgido al usar a las ratas de campo con este propósito.

1. Por ejemplo, hay muy poca o ninguna asociación entre los niveles de lisina y la proteína de los triticales y los valores preliminares de eficiencia proteínica obtenidos en las pruebas con las ratas de campo.

2. Las ratas constituyen una población heterogénea y dan un amplio rango de valores entre los animales cuando se alimentan con ciertas dietas.

3. Al parecer, las ratas pueden lograr una respuesta de crecimiento satisfactoria con los niveles de lisina presentes en la mayoría de los triticales. También sabemos que la lisina es un aminoácido esencial que en los cereales es un factor limitante cuando se le suministra a pollos, humanos y cerdos. Sin embargo, puesto que el contenido de lisina de las muestras de grano puede medirse fácilmente en el laboratorio, estos datos se pueden obtener para suplementar los datos de los bioensayos con ratas si este animal se va a utilizar en la selección de granos con respecto a su calidad nutricional.

4. Muchos investigadores consideran la variabilidad en la respuesta de diferentes animales como muy seria. Este problema se tuvo con ratas y otros animales de prueba desde que se iniciaron los experimentos de alimentación. Al emplear ratas y ratones los experimentadores encontraron que la mejor manera de reducir la variación era usar poblaciones homocigotas de animales. Esto es adecuado para algunos propósitos. Empero, existe el peligro de que al interpretar los datos de una sola línea homocigota se trate de aplicarlos a toda la población. No hay más justificación en suponer que los valores obtenidos de una línea autofecundada de animales de prueba representan a toda la población que el comportamiento de un solo linaje endocriado de triticale representa a los triticales en general.

CONSIDERACIONES FUTURAS

El fitogenetista continuamente afronta el problema de cómo medir el comportamiento y ampliar el rango de adaptación. Tiene que vivir con la variabilidad de los datos. El fitogenetista ha aprendido a aceptar el hecho de que aún bajo las condiciones ideales de prueba, obtendrá variabilidad de un sitio a otro y de un año a otro.

¿Es acaso la calidad nutricional suficientemente importante como para dedicar nuestros esfuerzos a mejorarla? Si es así, ¿cómo podemos avanzar más rápida y eficientemente? En el programa de triticale sembramos cada año unos 50 000 linajes en pequeñas parcelas. Estos se seleccionan con respecto a tipo de planta, fertilidad, tipo de semilla, resistencia a las enfermedades, amacollamiento y otras características agronómicas. Tal vez unos 1500 linajes llegan cada año hasta el ensayo preliminar de rendimiento, y unos 300 pasan a los ensayos avanzados regulares. Hasta entonces nada se ha hecho para seleccionar por calidad nutricional, así sea a grosso modo.

Usando pequeñas muestras (5 gramos), Villegas ha podido hacer determinaciones químicas de porcentaje de proteína, porcentaje de lisina y contenido de resorcinol en 500 a 1 000 muestras por año. En 1972, utilizando muestras de 100 gramos de grano, Elliot y R. Baver hicieron de 200 a 300 bioensayos con ratas. Para poder hacer evaluaciones confiables con pollos se necesitan 5 kilos de granos, en tanto que las pruebas con gallinas ponedoras requieren de 300 a 500 kilos, dependiendo de cuántas aves se usen y de cuánto tiempo dura el experimento.

La mayor posibilidad estriba en hacer sondeos analíticos de los linajes bajo observación que son suficientemente homocigotas como para entrar al ensayo preliminar de rendimiento. Esto constituye un grupo de 1 000 a 1 500 linajes por año, que pueden dar hasta 500 gramos de semilla sobre las necesidades normales para llevar a cabo otras pruebas y para obtener semilla de reserva.

COMPARACION DE LOS GENES Y MUTANTES DE ALTO CONTENIDO DE LISINA ENCONTRADOS EN LA CEBADA Y EL MAIZ

L. Munck*
K. E. Karlsson**
A. Tallberg***
P. Knutsson***
D. Eaker****
B. Eggum*****

Hasta ahora, la cebada y el maíz parecen ser los únicos cereales en los cuales se ha encontrado herencia mendeliana simple de caracteres mayores para cambio de la composición de aminoácidos del endosperma. Una comparación entre estos dos cereales, bastante diferentes, puede facilitar un desarrollo de una estrategia en mejoramiento para aumentar la calidad nutricional en todos los cereales, incluyendo el trigo triticale y sorgo.

Se han descubierto varios genes mejoradores en maíz y cinco en cebada altamente relacionados con caracteristicas morfológicas del endosperma. Mientras los genotipos de maíces altos en lisina parecen principalmente haber sido seleccionados por medio del análisis de aminoácidos entre un limitado número de mutantes que exhibían un comportamiento modificado respecto al almidón,

* Institute of Genetics, Lund, y la Swedish Seed Association, Svalöf, Suecia.
** Swedish Seed Association, Svalöf, Suecia.
*** Institute of Genetics, Lund, Suecia.
**** Institute of Biochemistry, Uppsala, Suecia.
***** National Institute of Animal Sciences, Copenhague, Dinamarca.

TABLA 1 Resumen de los actuales genes y mutantes con alto contenido de proteína en cebada

Cebada	*Símbolo del gene*	*Lisina*[a] *(g/16 gN)*	*Mejoramiento*[b] *del contenido de lisina en proteína (%)*	*Referencias*
Hiproly	*lys*	4.0-4.3	20-35	Hagberg y Karlsson (7) Munck *et al.* (22)
CI-7115 (468)		3.6-4.1	10-20	Toft-Viuef (27), (28)
Mutante 29		4.2	16	Doll (2)
Mutante 86		4.1	14	Doll (2)
Mutante 1508		5.9	45	Ingversen *et al.* (11)

[a] En cebada normal granos de lisina 16/g N varía aproximadamente de 2.8 a 4.1 g a niveles de proteína cruda de 16 a 8% respectivamente.

[b] Aproximación referida al mejoramiento de un linaje "isogénico" con el mismo nivel de proteína cruda como el mutante con alto contenido de lisina.

todos los genotipos de cebada fueron seleccionados por un método de estimación especialmente ideado para ello (tabla 1).

El método de capacidad de absorción de colorante (CAC) (16) fue usado para seleccionar la primera variedad cultivada de cebada alta en lisina: Hiproly (CI-3947) de la selección mundial de cebada (7, 22). En Hiproly se encontró un gen recesivo (*lis*) localizado en el cromosoma séptimo (12, 20). El gen incrementa el nivel de lisina g/16 g N en el endosperma en un 30% aproximadamente. La eficiencia del método CAC para estimar aminoácidos básicos (lisina) puede ser deducida del trabajo efectuado por el grupo Ris en Dinamarca (2.9). Seis mutantes altos en CAC fueron encontrados en Ris en un material de cebada tratado mutagénicamente, el cual consistía en alrededor de 10 000 linajes analizados de progenie (3). Dos de estos mutantes (Mutantes 29 y 86) (ver tabla 1) mostraron un incremento de alrededor de 15% en lisina g/16 g N comparados con la variedad madre (Carlsberg II) (véase la tabla 1). Un mutante recientemente encontrado (Mutante 1508), obtenido de la variedad Bomi, representa un paso importante, pues muestra un incremento de lisina de alrededor de un 45%, para alcanzar 5.9 g/16 g N en los análisis preliminares; el cual, según nuestro conocimiento, es el nivel más alto en lisina obtenido hasta ahora en un cereal de grano.

En cebada y la mayoría de los demás cereales, la lisina y otros aminoácidos (g/16 g N) están negativamente correlacionados con la proteína cruda y con el contenido de amida de la proteína. La última relación fue usada por Toft-Viuf (25, 26) para estimar el contenido de amida. Toft-Viuf encontró otra variedad cultivada de cebada alto en lisina (CI-7115), el cual mostró un contenido de alrededor de 15% sobre lo normal. La lisina g/16 g N es más bien constante en CI-7115 y en Hiproly bajo varios niveles de fertilización nitrogenada. En los controles normales, la lisina g/16 g N muestra una alta correlación negativa con el contenido de proteína cruda ya sea en un material genético variable o ante efectos del medio ambiente (21). CI-7115 es también superior a las líneas normales respecto a CAC bajo los mismos niveles de proteína cruda.

En la cebada, el embrión rico en lisina es pequeño (3.5 a 4.5% del grano total) comparado con el gran embrión del maíz (10 a 20%), el cual representa una contribución mucho mayor al contenido de lisina del grano que el embrión de la cebada. Las comparaciones entre genes de cereales que influencian la composición de aminoácidos del endosperma deberían, por lo tanto, hacerse sobre bases endospermáticas con el embrión removido (17, 19).

INCREMENTO DE LA PRODUCCION DE PROTEINA DE ALTA CALIDAD POR HECTAREA

Nelson (23) señaló que un alto porcentaje de proteína cruda en la harina de grano de maíz no es un parámetro relevante para la selección en el mejoramiento de plantas, debido a la presencia de líneas que muestran un alto contenido de proteína cruda a causa de una reducida síntesis de almidón. A Hiproly (CI-3947), se le observó un rendimiento muy bajo, alrededor de 30% menor que las variedades suecas. Los granos de Hiproly eran arrugados, y mostraron un peso menor de 1000 gramos y una capacidad productiva más bajos en comparación

con una planta fenotípicamente idéntica, la supuestamente "isogénica" línea hermana (CI-4362). Cambiando el fondo genético del gen *lis* desde Hiproly a variedades altamente productivas, el tipo de grano pobre podría, sin embargo, ser modificado sin perder la expresión de calidad proteína del gene (8).

El rendimiento de la mejor línea F_4 en ensayos de campo es de alrededor del 70% de la variedad estándar (Ingrid). De 128 líneas altas en lisina, retrocruzadas con la variedad comercial Mona, doce rindieron un 90% de Mona, seis más que un 96%, y dos más que un 100%. Las mejores líneas altas en lisina son superiores a Mona en producción de lisina por hectárea, en alrededor de un 140%. En el material mutante de cebada examinado por Doll (2), se encontraron varias líneas con mayores contenidos de proteína cruda en el grano. Sin embargo, todas fueron inferiores en producción de grano y de proteína a la variedad madre. Al comparar el tamaño de las semillas de los dos mutantes con la variedad madre, estos eran más pequeños, aunque el mutante 29 lo era ligeramente y el mutante 86 era mucho más pequeño. El mutante 29 tenía un rendimiento más grande en lisina que el testigo, mientras que el mutante 86 era inferior. El mutante 1508, cuyo contenido en lisina es altísimo, rinde aproximadamente el 90% de la variedad madre Bomi.

Los problemas referentes al tamaño del grano son también comunes como el mejoramiento de maíz opaco-2. Sin embargo, en cruzas estudiadas Sreeramulu y Bauman (26), no se observa una relación negativa entre los niveles de lisina y proteína y la producción, lo cual indica buenas posibilidades para obtener líneas opaco-2 de alta productividad.

Puede concluirse que los mutantes con características de rendimiento reducidos pero con características favorables de calidad, deberían ser considerados en los programas de mejoramiento. Tal vez sea difícil lograr el mejoramiento de tales líneas en cuanto a su rendimiento, pero los fitomejoradores parecen tener suficiente evidencia para apoyar tal esfuerzo.

MORFOLOGIA Y APARIENCIA DEL GRANO EN RELACION CON LA COMPOSICION DE AMINOACIDOS

La gran ventaja de la relación entre un carácter morfológico del grano y un cambio en aminoácidos es la simplificación de los técnicos de mejoramiento de plantas, lo cual hace innecesarias las estimaciones en base a análisis químicos. Sin embargo, el carácter blando del endosperma de maíz opaco-2, por ejemplo, origina un mayor contenido de agua y acentúa la tendencia del grano al agrietamiento. De este modo, surgirían problemas en la cosecha y en el almacenamiento y, de igual manera, la aceptación humana sería afectada por la apariencia lechosa de los granos opaco-2 y harinoso-2. Un creciente interés por producir linajes no opacos que tengan alta calidad proteínica ha dado como resultado un grano, parcial o completamente no opaco, alto en lisina, obtenido al cruzar varias poblaciones (25, 28), que tienen la apariencia y las cualidades de los granos opaco-2.

El gene *lis* en la cebada, en contraste con el gene opaco-2 en el maíz, está relacionado con un carácter de endosperma duro. Si se hace un corte transversal

FIGURA 1 Micrografía con microscopio electrónico del endosperma central de cebada con alto contenido de lisina (Hiproly): X 1 400. Preparación de una semilla seca y madura.

a un endosperma seco, al observarlo en el microscopio electrónico (figura 1) se ve que el gene *lis* sostiene a los granos de almidón y a los cuerpos proteínicos firmemente unidos a la matriz de proteína. Los cortes de cebada normal en lisina muestran que los granos grandes y pequeños de almidón, así como los cuerpos proteínicos, no presentan la adherencia característica relacionada con el gene *lis* (figura 2). De 235 linajes F_4 que emergen de la matriz de proteínas (dejando agujeros profundos), 17 mostraron un grado muy bajo de adherencia almidón-proteína (19). El tratamiento de adherencia almidón proteína también se puede estudiar en el microscopio de luz a partir de residuos de harina, raspados con una aguja de disección (17, 19, 20).

Para estudiar la relación entre la característica de adherencia almidón-proteína y el gene *lis* en la cebada, se seleccionó material de antecedentes genéticos (F_2-F_4) de cruzas entre Hiproly y variedades normales en lisina. Las desviaciones fueron idénticas en la composición de aminoácidos con respecto a 15 testigos altos en lisina relacionados que mostraron una fuerte adhesión. Sin embargo, en

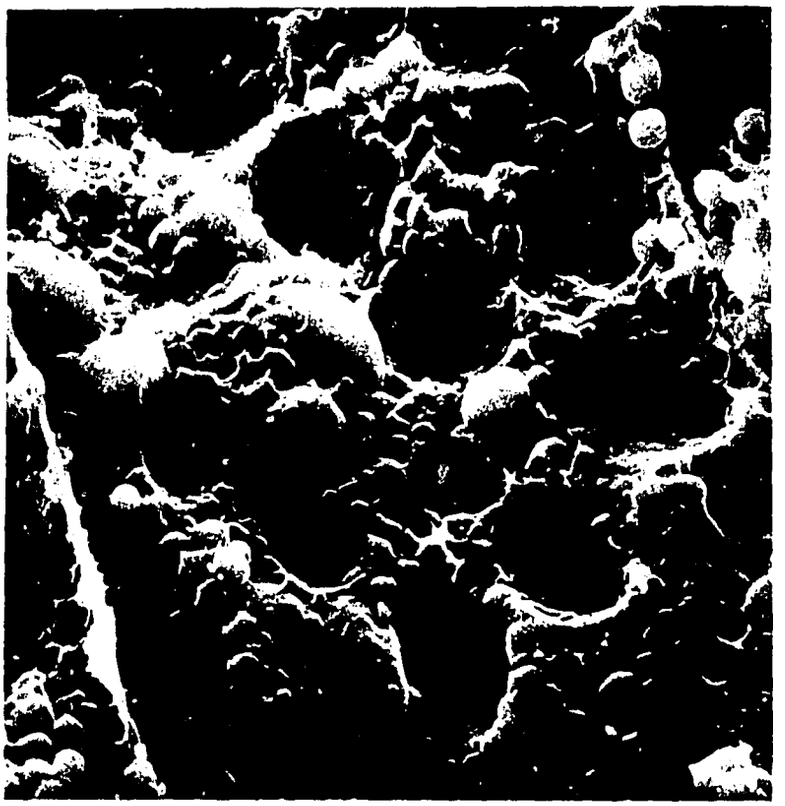


FIGURA 2 Micrografía con microscopio electrónico del endosperma central de cebada con contenido normal de lisina (CI-4362, "Isogénica" a Hiproly en Fig. 1): X 1 400. Preparación de una semilla, seca y madura.

las últimas líneas, la correlación usualmente negativa entre el aminoácido más esencial (lisina) g/16 gN y la proteína cruda fue ahora nula y no significativa. No obstante, las 17 desviaciones en morfología mostraron una marcada correlación entre la proteína normal y los aminoácidos esenciales en la proteína. De este modo, parece posible seleccionar entre diferentes cambios de respuesta con respecto a la relación entre proteína y aminoácidos esenciales, utilizando un carácter morfológico.

Así como en el caso del opaco-2, en la cebada *lis* también es posible si es necesario, cambiar el carácter morfológico denso del grano en uno de apariencia normal, reteniendo una composición favorable de aminoácidos (19).

El hecho de que nuevos mutantes opaco-2 podrían ser inducidos a exhibir un alto contenido de lisina (1), favorece la hipótesis de que las mutaciones afectan tanto al "gene de endosperma blando" como al "gene regulador de proteína", los cuales están cerca uno del otro. También, el hecho de que los no opacos y opacos altos en lisina pueden frecuentemente ser obtenidos por cru-

zamientos, indica que estos efectos pueden deberse a genes y no a un intercruzamiento entre el gene endosperma blando y el gene regulador de proteína. Es interesante señalar que una condición similar es tentativamente usual en la cebada *lis,* pero en este caso exhibe endosperma duro. Podría concluirse que valdrían muy bien la pena aquellos esfuerzos serios para modificar la estructura de los mutantes recientemente encontrados en el maíz, tales como el quebradizo-2, reteniendo la característica de calidad proteínica. Estudios adicionales con nuevos mutantes de cebada en relación a la construcción morfológica, darán nuevas luces sobre la relación entre la morfología del grano y los cambios en la composición de aminoácidos del endosperma.

COMPARACION DE EFECTOS BIOQUIMICOS DE LOS GENES CON ALTO CONTENIDO DE LISINA

Es importante hacer notar que todos los genes mutantes mejoran el patrón de aminoácidos en el maíz, mostrando un patrón de cambios en las fracciones de extracción Osborne (15) similar al anterior. Las fracciones más ricas en lisina (albúminas, globulinas y glutelinas) son más o menos incrementadas, mientras que las prolaminas pobres en lisina son disminuidas, como porcentaje de la proteína total del endosperma. La misma conclusión es esencialmente válida para mutantes de cebada. La extracción de endospermas de cebada *lis* simple (amarillentos, en estado de madurez, no secados) y el subsecuente análisis de aminoácidos revela una doble fracción de albúmina soluble en agua en comparación con los controles (18). La relación lisina-arginina también cambia, indicando una reorganización en las cantidades relativas de las albúminas de la proteína. Esto fue también verificado mediante electrofóresis poliacrilamida del extracto con agua (18). En la figura 3, se compararan las separaciones electroforéticas de albúminas de endospermas de Hiproly y Kristina con tres segregantes F_2 de la cruza entre ambas variedades. Los padres y los segregantes representan varios endospermas de plantas individuales. El extracto en agua de Hiproly (sobre grano seco) es más alto en lisina comparado con aquel de variedades cultivadas normales con lisina, bajos o altos en proteína (21). Ingversen y Koie (9), combinando la cromatografía de columna con la electrofóresis de gel, han obtenido interesantes indicaciones de que el mayor incremento en el contenido de lisina en Hiproly podría deberse a un drástico incremento de una o algunas proteínas extremadamente ricas en lisina entre aquellas solubles en sales (albúminas + globulinas). Cambios similares menores también fueron reportados en esta fracción para los mutantes altos en lisina (Mutantes 29 y 86), como en la variedad cultivada y mejorada CI-7115 (tabla 1).

Contrariamente a como sucede con el maíz opaco-2, la fracción de prolamina en Hiproly decrece sólo ligeramente (20%) en comparación con el grano normal. En Hiproly y cebada *lis,* la mayor parte de la fracción Osborne, con excepción de las prolaminas, muestra un incremento muy fuerte de la relación metionina-cistina debido a una disminución de la cistina y un incremento en la metionina. Consecuentemente, el gene *lis* muestra varios efectos laterales además de la influencia sobre las albúminas (19).

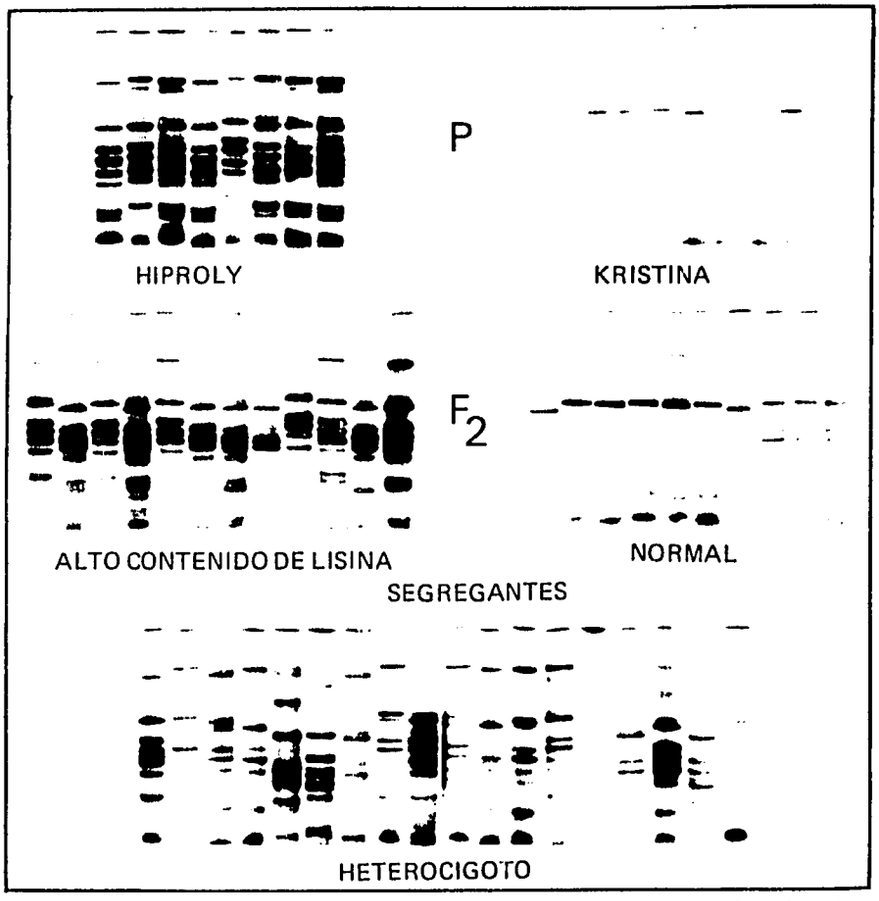


FIGURA 3 Segregación para el gene *lis* en cebada. Electroforesis poliacrilamida de extractos de agua de endospermas amarillentos en estado de madurez, no secados. El endosperma de Hiproly y una cebada con contenido normal de lisina (kristina) se compara con una planta F_2 de cebadas con alto contenido de lisina, con contenido normal de lisina, y heterocigota* productos de la cruza Hiproly (♀) X Kristina (♂). Migración anódica, Buffer Tris; Ph 8.6, geles 15%. Extracción con 200μl de H_2O por endosperma, añadiendo 10μl a cada gel.

La extractibilidad de las fracciones proteínicas en la cebada *lis* parece ser mejor en comparación con la cebada normal debido a que posee una menor red de enlaces S-S de glutelina (19). En los cereales, las prolaminas están principalmente almacenadas en los cuerpos proteínicos. El desarrollo de cuerpos proteínicos es retardado en los maíces opaco-2 y harinoso-2 bajos en proteína, mientras que ellos parecen estar intactos en la cebada *lis* (19). El nuevo mutante 1508 de cebada, extremadamente alto en lisina (tabla 1), es similar a los maíces mutantes opaco-2 y harinoso-2 en relación con la drástica disminución de prolaminas (de 31% del total de proteína normal en el control a un 10% en el mutante), e

igualmente (2) en cuanto a un incremento radical de albúminas más globulinas de (27% a 46%), según reportaron Ingversen y Koie (10). Consecuentemente, podría esperarse una muy fuerte reducción de los cuerpos proteínicos en el mutante 1508 de cebada.

Desde el punto de vista del fitomejorador parece ser apropiado concluir que, aunque la proteína normal es extremadamente variable, caracteres tales como la lisina g/16 g N, relaciones lisina-arginina y listinametionina, muestran una muy alta hereditabilidad. En efecto, el resultado más notable en el trabajo de mejoramiento de cebada en Suecia y Dinamarca, del que se ha hecho mención, es que aún muy pequeños incrementos en lisina g/16 g N, del orden del 10%, deberían ser estimados por el método CAC y ser encontrados ambientalmente estables entre diferentes laboratorios y estaciones en relación con un material patrón.

Varios otros genes "menores" en el fondo genético interactúan con los genes "mayores", generando niveles modificados de la expresión del gene. Esto es ejemplarizado por el gene *lis* en la cebada (tabla 2), donde la lisina g/16 g N, independientemente del contenido de proteína normal, está comúnmente en tres niveles: normal, alto en lisina y modificado alto en lisina. Las diferencias son genéticamente estables y pueden ser reproducidas en años subsecuentes. A elevados niveles de lisina, regularmente el ácido glutámico (g/16 g N) decrece y el ácido aspártico aumenta. Los genes "menores" para cambios en las proteínas del endosperma deberían ser considerados, especialmente en el cruzamiento de poliploides, trigo y triticale.

EVALUACION DE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE CEREALES MEJORADOS EN EXPERIMENTOS DE ALIMENTACION

Las proteínas de la capa multicelular de aleurona de la cebada son de difícil digestión para los animales. En el trigo y maíz parece haber menos problemas con el aprovechamiento de la proteína (y aminoácidos) debido a la capa unicelular de aleurona en estos cereales. En la figura 4, se muestra la digestibilidad real de 17 aminoácidos de cebada alta en lisina (Hiproly) y normal, para ratas. Los

TABLA 2 Niveles de modificación de la expresión del gene lisina en cebada

Linaje	*Proteína cruda (%)*	*Lisina (g/16 gN)*	*Acido glutamínico (g/16 gN)*	*Acido aspártico (g/16 gN)*
Hiproly	17.7	4.0	21.7	6.3
"Isogénica" CI-4362	17.2	3.0	25.2	4.9
Segregantes Hirpoly X plantas F_4 normales				
Contenido normal de lisina	13.9	3.6	24.1	6.4
Alto contenido de lisina	12.1	4.5	20.5	8.0
Alta lisina modificada	13.4	3.9	23.0	6.8

Nota: Análisis de aminoácidos de acuerdo con Eaker (4).

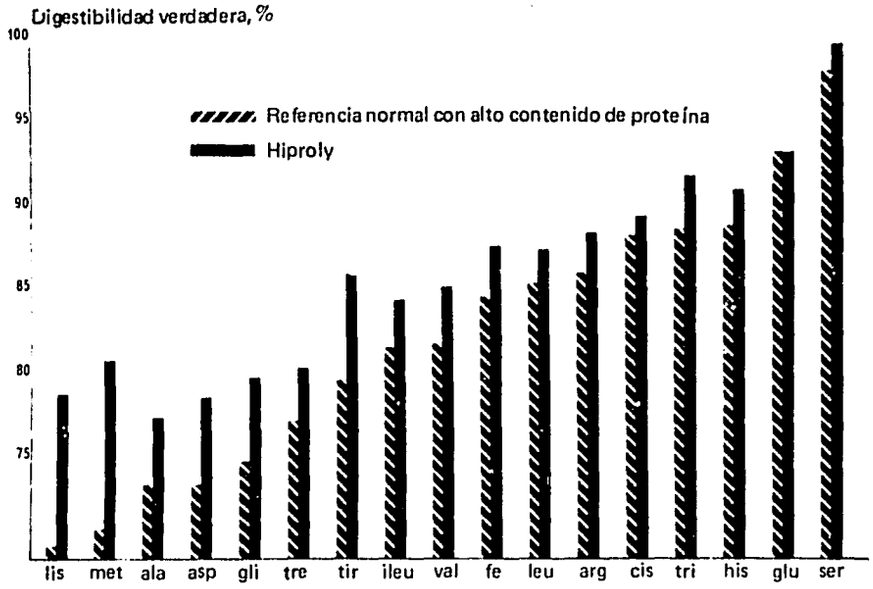


FIGURA 4 Comparación de una cebada con alto contenido de lisina y proteína (Hiproly) con un contenido normal de lisina yalto en proteína como referencia, respecto a la verdadera digestibilidad (6) de aminoácidos individuales en ratas.

aminoácidos esenciales importantes (lisina y metionina) muestran una aprovechabilidad muy baja en comparación, por ejemplo, con el ácido glutámico y la serina. Los aminoácidos menos aprovechables muestran un mayor incremento de aprovechabilidad en Hiproly en comparación con el testigo, que los aminoácidos más aprovechables. El incremento de las albúminas ricas en lisina en Hiproly se refleja, por lo tanto, en un aumento en la aprovechabilidad de la lisina.

Con el fin de probar la calidad nutricional de las desviaciones morfológicas altas en lisina que no muestran adhesión almidón proteína (figura 2), en contraste con los testigos con alto contenido de lisina que sí la muestran (figura 1), se efectuaron estudios sobre el balance del nitrógeno en ratas. La utilización neta de proteína (UNP) se incrementó en cerca de un 70% en los linajes altos en lisina en comparación con un 60% en los testigos normales. La característica de adherencia almidón-proteína de los linajes altos en lisina no afectan la digestibilidad real, el valor biológico y la UNP, en comparación con los linajes altos en lisina que tienen morfología normal. Consecuentemente, el carácter morfológico asociado con el gene *lis* en la cebada no parece afectar la calidad alimenticia. La UNP para ratas es igual con cebada *lis* y con maíz opaco-2. Los problemas de aceptación que el carácter de adhesión puede causar en el alimento, pueden ser estudiados más adelante con respecto a la gente del Medio y Lejano Oriente, como también en Sudamérica, en donde la cebada es usada como alimento principal por cerca de 200 millones de personas.

TABLA 3 Calidad nutricional en pruebas de alimentación con ratas, mostrando varios linajes de cebada

Muestra	*No. de dietas*	*Proteína en semilla (%)*	*Lisina (g/16 gN)*	*Digestibilidad verdadera de nitrógeno (%)*	*Valor biológico (%)*	*NPU (%)*
Testigo normal	1	12.6	3.25	84.0	71.2	59.8
Alto contenido de lisina proteína-almidón adherente	2	12.9	4.05	85.9	79.2	69.0
Alto contenido de lisina, proteína-almidón no adherente	3	12.5	4.0[illegible]	85.8	78.9	67.7

Nota: Pruebas de balance de nitrógeno con ratas alimentadas restrictivamente a un nivel de 9.3% de proteína cruda en las dietas. Cinco animales recién destetados se alimentan individualmente por 9 días. Método de acuerdo con Eggum y Mercer (5).

EVALUACION DEL VALOR NUTRICIONAL DE CEREALES ALTOS EN LISINA EN LA PRACTICA

Los datos examinados en esta ponencia representan sólo los primeros estados de un desarrollo acelerado en el campo de la ingeniería genética sobre proteínas en los cereales. En el futuro, ciertamente, se obtendrán variedades comerciales altas en rendimientos y lisina. Sus efectos benéficos serán establecidos en laboratorios de nutrición y en hospitales. La interrogante principal es: ¿exhibirán las nuevas variedades un rol nutricional en los alimentos y la alimentación en la práctica? No hay alternativa para un escudriñamiento completo de cómo los cereales son seleccionados, tratados y usados por la sociedad. El programa de mejoramiento para cebada con alto contenido de lisina en Svalöf, es sólo una parte de un enfoque interdisciplinario más general para aumentar el valor nutricional en los cereales para alimentación de aquellos que han estado en progreso desde los primeros años de la década del 60 [ver la compilación hecha por Munck (19)]. Los inventarios que estudian los problemas de composición y deterioro en los cereales, de suplementos alimenticios y de alimentos compuestos, han indicado que la introducción de cebada alta en lisina mostrará valor económico y nutricional nulo a menos que se acompañe apropiadamente con una técnica apropiada para valorar la calidad a través de un programa de precios de garantía. Para este propósito es ideal la simple de la CAC (estimando aminoácidos básicos). Al respecto, podría construirse un simple instrumento de campo operado por una batería.

En los países desarrollados, el cultivo de cereales altos en lisina para alimentos es un problema mucho más complicado y diferente que introducir la cebada alta en lisina en las raciones alimenticias suecas. Si el cereal alto en lisina no está caracterizado por algún rasgo morfológico fácilmente reconocible, se presentarán dificultades en su distribución y uso, especialmente entre los agricultores de subsistencia, cuando los controles y servicio de extensión no están presentes en la escala necesaria. Las nuevas variedades de maíz dentado de elevada productividad y alta lisina, van a ser probablemente mezcladas e intercruzadas con líneas normales. De este modo, no impartirán una contribución estable a la nutrición humana. Tentativamente se podrían introducir marcadores morfológicos regulados por el gobierno a nivel de la planta o semilla para todas las variedades altas en lisina que se van a usar. Estos caracteres deben seleccionarse de modo que no interfieran con la aceptación. Aún, el trabajo de extensión para el agricultor de subsistencia es una inmensa empresa con una introducción de "un paquete de técnicas simples ajustadas localmente", que confieran beneficios que él personalmente pudiese reconocer y explotar. Es evidente que varios caracteres de la planta de cereal más allá de la calidad nutricional, determinados en laboratorios y hospitales, son esenciales para su completo valor nutricional en la estructura de la sociedad. Debido a que el hombre no es capaz de gustar u oler los aminoácidos esenciales en la proteína del cereal, a las variedades se deben ligar caracteres de valor indirecto, visible y aparente. Cuando el agricultor sea capaz de distinguir una variedad de otras, él la deberá relacionar con una mejor nutrición y salud en su familia o con mejores resultados en la alimentación animal. Para poder catalizar tal coyuntura, los fitomejoradores y sus asociados deben encontrar una *meto-*

dología para saber cómo la cadena de producción selecciona y transforma al cereal en crudo, y qué significa esto para los consumidores. Los directores de tales programas tienen que crear su propia visión sobre cómo la vida debería ser vivida, y cómo las plantas y la sociedad deberían ser optimizadas con el fin de acomodar su visión. Entonces, ellos deben igualmente tener éxito en introducir este ideal tanto en la planta como en el ambiente social de la comunidad.

Los Drs. H. Doll, J. Ingversen y B. Koie (Atomenergikommissionens Forsogsanlaeg, Riso, KD-4000 Rokslide, Dinamarca), nos proporcionaron generosamente datos muy interesantes no publicados sobre sus nuevos mutantes de cebada con alto contenido de lisina.

(En la sección de *Preguntas y respuestas,* hay un análisis de esta ponencia)

BIBLIOGRAFIA

1. Bálint, A., Z. Menyhert, J. Sutka y M. Kovács. 1970. The increase of the protein content of maize by means of producing induced mutants. *En* Improving plant protein by nuclear techniques, Intern. At. Energy Agency/FAO, STI Publ. 258, Viena, págs. 77-84.
2. Doll, H. 1972. Variation in protein quality and quantity induced in barley by EMS treatment. *En* Induced mutations and plant improvement, Intern. At Energy Agency/FAO, STI Publ. 297, Viena, págs. 331-341.
3. Doll, H. 1972. Personal communication.
4. Eaker, D. 1970. Determination of free and protein-bound amino acids. *En* A. E. Bender, R. Kihlberg, B. Löfqvist y L. Munck (eds.), Proceedings of the symposium on evaluation of novel protein products. Pergamon Press, Elmsford, N. Y., págs. 171-194.
5. Eggum, B. O., y H. H. Mercer. 1964. Ugeskr. Landmaend, 109:799.
6. Glover, D. V., H. M. Barbosa, E. T. Mertz, y P. S. Misra. 1972. In preparation. Ver la referencia 15.
7. Hagberg, A., y K. E. Karlsson, 1969. Breeding for high protein and quality in barley. *En* New approaches to breeding for improved plant protein, Intern. At. Energy Agency/FAO, STI Publ. 212, Viena, págs. 23-28.
8. Hagberg, A., K. E. Karlsson y L. Munck, 1970. Use of Hiproly in barley breeding. *En* Improving plant protein by nuclear techniques, Intern. At. Energy Agency/FAO Publ. STI 258, Viena, págs. 121-132.
9. Ingversen, J. y B. Koie. 1971. Protein patterns of some high lysine barley lines. Hereditas, 69:319-323.
10. Ingversen, J. y B. Koie. 1972. Personal communication.
11. Ingversen, J., A. J., Andersen, H. Doll y B. Koie. 1972. Selection and properties of high lysine barleys. Proc. FAO/Intern. At. Energy Agency/GSF research coordination metting on the use of nuclear techniques for improvement of seed protein, Neuherberg (Munich), junio 26-30. Intern. At Energy Agency, Viena.
12. Karlsson, K. E. 1972. Linkage studies on a gene for high lysine content in Hiproly barley. Barley Genet. Newslett., 2:34-36.
13. McWhirter, K. S. 1971. Maize Genet. Newslett. 45:184. Ver la referencia 15.
14. Mertz, E. T., L. S. Bates, y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content in maize endosperm. Science, 45:279-280.
15. Misra, P. S., R. Jambunathan, E. T. Mertz, D. V. Glover, H. M. Barbosa y K. S. McWhirter, 1972. Endosperm protein synthesis in maize mutants with increased lysine content. Science, 176:1425-1427.
16. Mossberg, R. 1969. Evaluation of protein quality and quantity by dye-binding capacity —a tool in plant breeding. *En* New approaches to breeding for improved plant protein, Intern. At Energy Agency/FAO, STI Publ. 212, Viena, págs. 151-161.

17. Munck, L. 1970, Increasing the nutritional value in cereal protein —basic research on the Hily character. *En* Improving plant protein by nuclear techniques, Intern. At. Energy Agency/FAO, STI Publ. 258, Viena, págs. 319-330.
18. Munck, L. 1972. Barley seed proteins. *En* G. E. Inglett (ed.), Symposium: seed proteins. Avi Publishing Co., Westport, Conn.
19. Munck, L. 1972. Improvement of nutritional value in cereals. Hereditas, 72:1-128.
20. Munck, L., K. E. Karlsson, A. Hagberg, y E. O. Eggum. 1970. Gene for improved nutritional value in barley seed protein. Science, 168:985-987.
21. Munck, L., K. E. Karlsson y A. Hagberg. 1971. Selection and characterization of a high-protein, high-lysine barley variety from the world barley collection. *En* R. A. Nilan, (ed.), Barley genetics II. Pullman, Washington, págs. 544-558.
22. Munck, L., K. E. Karlsson y A. Hagberg. 1969. High nutritional value in cereal protein. J. Swed. Seed Assn., 79:194-212.
23. Nelson, O. E. 1969. The modification by mutation of protein quality in maize, *En* New approaches to breeding for improved plant protein. Intern. At. Energy Agency/FAO, STI Publ. 212, Viena, págs. 41-54.
24. Nelson, O. E., E. T. Mertz y L. S. Bates. 1965. Second mutant gene affecting the amino acid pattern of maize endosperm proteins. Science, 150:1469-1470.
25. Páez, A. V., J. L. Helm y M. S. Zuber. 1969. Lysine content of opaque-2 maize kernels having different phenotypes. Crop Sci., 9:251-252.
26. Sreeramulu, C. y L. F. Bauman. 1970. Yield components and protein quality of opaque-2 and normal diallels of maize. Crop Sci., 10:262-265.
27. Toft-Viuf, B. 1970. Undersögelser vedrörende sortsvariationen i kvaelstofindhold og proteinkvalitet hos byg. Diss. Dept. Plant Husbandry Royal Coll. Agr., Copenhague, Den., pág. 78.
28. Villegas, E. 1972. Useful experiences in other crops. *En* Proceedings of the symposium on nutritional improvement of food legumes by breeding. PAG group of U. N., FAO, Roma, Julio 3-5.

Parte X

SESION DE TRABAJO SOBRE TECNICAS DE ANALISIS QUIMICOS Y BIOLOGICOS

La discusión de la reunión de trabajo se centró sobre (1) las técnicas de análisis químicos, y (2) las técnicas de análisis biológicos empleadas ahora en los programas de investigación para el mejoramiento de cereales de alta calidad proteínica.

TECNICAS DE ANALISIS QUIMICOS

Contenido de proteína

Los participantes convinieron en que el método de micro-Kjeldahl es el mejor para determinar el contenido de proteína del grano de cereales, y éste se puede usar en diversas formas. La versión más simple del procedimiento es el método AOAC (1), que incluye la digestión de la muestra en ácido sulfúrico, destilación del amoníaco a un alto pH en una solución de ácido bórico. El borato de amonio que se forma se titula luego con ácido clorhídrico estándar. Una modificación más rápida del método micro-Kjeldahl es la *Nesslerización* directa del digerido y la determinación por medio del calorímetro de la cantidad de amoníaco (2). La técnica más rápida es la de determinar con el colorímetro el amoníaco formado en el paso de digestión con el analizador Technicon. Este, sin embargo, es el método más costoso desde el punto de vista del equipo requerido.

El método rápido de biuret de Johnson y Craney no se puede usar para la determinación de proteína en maíz opaco-2 (3), pero bien podría emplearse para otros granos de cereales con poca pigmentación.

Contenido de lisina

Otros aminoácidos. El amino analizador automático se basa en el principio de intercambio iónico y probablemente es el método más preciso para la determinación de lisina, triptófano y otros aminoácidos que se encuentran en las proteínas de los cereales. También es el más costoso en cuanto a la inversión inicial en equipo, mantenimiento y mano de obra especializada. La mayoría de los químicos analíticos consideran al analizador de aminoácidos como el estándar básico, puesto que puede determinar el nivel de todos los aminoácidos en las proteínas con una precisión de ± 2%. Los principios básicos del analizador automático de aminoácidos han sido descritos por Moore *et al* (4).

El método de cromatografía de gases es el segundo método después del analizador automático de aminoácidos, por el cual se obtienen datos muy exactos. Tanto el método de intercambio iónico como el de cromatología de gases requieren del uso de un hidrolizado de proteína. Además el método de cromatografía de gases requiere de la conversión de los aminoácidos individuales a derivados volátiles, lo cual añade un paso más al procedimiento. Scheile *et al* (5) han desarrollado métodos que usan la columna de cromatografía de gases específicamente para la lisina. Gehrke y sus colaboradores (6) han descrito métodos de cromatografía de gases para todos los aminoácidos que se encuentran en las proteínas de los cereales.

Un tercer método que es útil para la determinación de la lisina y otros aminoácidos es el método microbiológico. Se dispone de dos versiones: (1) el método tradicional, que implica el desgaste del ácido láctico producido por el microorganismo de prueba (7), y (2) un método más reciente que implica un disco de ensayo en el cual se mide el diámetro de la colonia de bacterias. Aquí, el tamaño de la colonia depende de la concentración del aminoácido que se prueba (8).

El costo estimado de un análisis completo de aminoácidos en granos de cereal mediante los métodos citados, sería de 40 a 70 dólares por análisis si se hace en un laboratorio comercial. No se han estimado costos de análisis completos en un laboratorio de investigación como en el CIMMYT o en Purdue.

Empleando inyectores de muestra automáticos en el analizador de aminoácidos, es posible determinar el contenido de lisina en 15 minutos. Programando el equipo para 24 horas, se podrían hacer 96 determinaciones de lisina en un día. Aún con el sistema automatizado, sin embargo, se necesita una gran cantidad de tiempo del técnico para pesar, moler, desgrasar e hidrolizar las muestras.

Solamente lisina. El método enzimático de decarboxilasa para lisina (9) es rápido y altamente específico para este aminoácido y puede utilizarse en un laboratorio bien equipado. En este método, la enzima libera específicamente dióxido de carbono de la lisina en un hidrolizado de proteína, y el dióxido de carbono se mide cuantitativamente. Para lograr eficiencia, el método requiere de un autoanalizador Technicon, o su equivalente.

Lisina y triptófano. Se dispone ahora de varios métodos colorimétricos para determinar los contenidos de lisina y triptófano en granos de cereales. El método de triptófano que se emplea ahora en el CIMMYT (10) es probablemente el más sencillo y rápido para un solo aminoácido. Afortunadamente el nivel de triptófano en maíz se relaciona muy bien en el nivel de lisina y con la calidad de la

proteína. El CIMMYT ha empleado este procedimiento con mucho éxito como sondeo inicial para calidad proteínica en maíz. El principio del método es digerir por una noche una mezcla de endosperma finamente molido y desgrasado con solución de papaína, y luego medir la cantidad de color formado en el sobrenadante con un reactivo Hopkins-Cole modificado que contiene cloruro férnico y ácido glioxílico.

Se dispone de tres métodos colorimétricos para la determinación de lisina. El que más se emplea es un método originalmente desarrollado por Tsai *et al* (11) en la Universidad de Purdue y modificado por Villegas en el CIMMYT (10). En este método, la muestra de endosperma desgrasado y finamente molido se digiere con papaína para liberar la lisina. La lisina reacciona entonces con 2-cloro-3, 5-dinitropirina y el color se mide cuantitativamente. Los otros dos métodos incluyen la extracción de la proteína de maíz con alcohol y álcali; el primero usa el ácido trinitrobenzensulfónico (TNBS) con reactivo para derivar la lisina (12); el segundo usa ácido dinitrobenzensulfónico (DNBS) (13). En cualquiera de ambos, las proteínas TNBS o DNBS se hidrolizan en HCl por un corto período de tiempo. El método de piridina es más rápido que los métodos usando TNBS o DNBS (10).

En el laboratorio del CIMMYT, Villegas ha calculado que el costo de un análisis para triptófano y para proteína por micro-Kjeldahl es de aproximadamente 90 centavos de dólar por muestra doble. El costo para determinar lisina con el método de piridina es de aproximadamente 1.60 dólares por muestra duplicada con la consiguiente determinación de contenido de nitrógeno.

Ensayo indirecto para lisina. El método de capacidad de absorción de colorante reactivo (14) es un método colorimétrico que es menos específico para lisina que los métodos precedentes. En este método, a la muestra desgrasada y finamente pulverizada se le agrega en exceso un colorante. Luego se mide el colorante que no se une con los aminoácidos básicos (arginina, histidina, lisina) en la proteína del maíz, y se hacen cálculos para medir la cantidad de colorante que se absorbe o se une. La cantidad de colorante unido por la proteína de la muestra se correlaciona bien con el nivel de lisina en esa muestra. Munck ha estimado que (en Suecia) el costo de análisis de una sola muestra de maíz por adsorción de colorante incluida la determinación de nitrógeno necesario, es de alrededor de 1.80 dólares.

En el laboratorio del USDA en Peoria, Illinois, se desarrolló un método turbidimétrico para analizar lisina indirectamente, y éste ha sido descrito antes por Wall (15). En este método se extrae con alcohol la zeína de la muestra desgrasada finamente pulverizada. Luego se precipita y la cantidad se mide turbidimétricamente. Wall encontró una correlación negativa de 0.9 entre la zeína y el contenido de lisina de la muestra. En un laboratorio comercial de los Estados Unidos, el análisis de una muestra para lisina más nitrógeno total costaría alrededor de 6 dólares.

En resumen, los métodos disponibles para determinar todos los aminoácidos en la proteína de los cereales son: el método de intercambio iónico utilizando el analizador automático de aminoácidos, el método de cromatografía de gases, y el método microbiológico. Esos mismos tres métodos se pueden emplear para determinar solamente el contenido de lisina. Además, se dispone de los siguientes tres métodos directos para determinar lisina: el método de la enzina decarboxila-

sa para lisina, y (para cereales de baja pigmentación) métodos colorimétricos que incluyen a 2-cloro-3, 5-dinitropiridina, ácido trimitrobenzensulfúrico y ácido dinitrobenzensulfónico. Los métodos indirectos son el método de absorción de colorante (para cereales de baja pigmentación) y el método turbidimétrico para zeína en maíz. Además, se puede usar un método colorimétrico rápido para la determinación del triptófano. Puesto que en el maíz hay una alta correlación entre el nivel de triptófano y el nivel de lisina, es posible llevar a cabo un programa de selección o sondeo efectuando solamente el análisis de triptófano, seguido por determinaciones de lisina en las muestras que dan los valores de triptófano más altos. El análisis de triptófano es mucho más barato por muestra que el análisis de lisina.

TECNICAS DE ANALISIS BIOLOGICO

Los participantes en la reunión de trabajo estuvieron de acuerdo en que los métodos químicos para el análisis de lisina, según se han descrito, se correlacionan muy bien con el valor biológico de los granos de maíz, trigo, cebada y avena. Las determinaciones de lisina obtenidas en sorgo y triticale no se correlacionan bien con el valor biológico de estos materiales, debido a la presencia de factores que se combinan con la proteína o que son tóxicos para el animal de prueba. En el caso del sorgo, como lo señala Axtell, los taninos modifican la respuesta biológica. Si por ejemplo, se tuvieran dos muestras de sorgo con el mismo contenido de lisina, y una de ellas tuviera alto contenido de taninos, su valor biológico estimado sería más bajo que una muestra con menor contenido de taninos. En el caso de los triticales, según lo indicó Zillinsky, en ciertas selecciones se encuentran toxinas o inhibidores. Estas toxinas no se han identificado. La reunión de trabajo recomienda que se lleven a cabo estudios adicionales para identificar y aislar los inhibidores o toxinas presentes en ciertas muestras de triticales de manera que se identifique la naturaleza química de dichas toxinas. Se espera que entonces los químicos puedan desarrollar métodos simples para identificar o detectar químicamente estas toxinas, sin necesidad de determinar la toxina biológicamente. Aunque no se conoce la naturaleza exacta de los factores que se unen a la proteína en el sorgo, se dispone de métodos químicos para determinar el nivel de los taninos o compuestos polifenólicos en el sorgo. Por tanto, es posible predecir cuáles muestras de sorgo mostrarán un valor biológico menor.

Hasta en tanto se disponga de otros métodos para detectar toxinas u otros agentes inhibidores del crecimiento en los cereales, la reunión de trabajo recomienda que se prueben nuevas selecciones (1) para un bajo nivel de proteína (alrededor del 10%) para la razón de eficiencia proteínica (REP), y (2) para la razón de eficiencia alimentaria (REA) con el nivel más alto posible del cereal en la dieta, a fin de sondear las toxinas. Los granos de cereales también se deben probar al nivel de requerimiento mínimo de proteína cuando sea posible. (No es posible hacerlo con cereales que contienen menos del 15% de proteína.) Las ganancias de peso obtenidas con un grano de cereal en particular al nivel mínimo de requerimiento de proteína sería un indicador sensible de la calidad relativa de la proteína en el grano. Como lo indicó Maner, este es el nivel al cual se obtiene

la mínima conversión de proteína en urea, concurrentemente con la máxima ganancia de peso.

Los participantes concluyeron que será necesario utilizar animales pequeños para la selección de nuevas variedades de cereales a fin de detectar cualquier material tóxico presente. Una vez que se hayan detectado las toxinas, el material deberá volver al laboratorio, donde habrán de desarrollarse métodos químicos para medir cuantitativamente la(s) toxina(s). Luego se podría llevar a cabo un programa de mejoramiento genético para eliminarlas.

Los resultados de las pruebas de alimentación con ratas, ratones y ratas de campo indican que se necesitan investigaciones adicionales para mejorar la eficiencia del ratón y de la rata de campo como animales de prueba para diferenciar entre los diversos granos de cereales. Cuando se dispone de una cantidad suficiente de muestra (unos 600 gramos), la rata es considerada la mejor selección para la evaluación biológica de la calidad proteínica de granos de cereales.

BIBLIOGRAFIA

1. A.O.A.C. 1965. Official methods of analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, 10a. ed., págs. 744-745.
2. Morrison, G. R. 1971. Anal. Biochem., 43:527-532.
3. Misra, P. S., R. Barba-Ho y E. T. Mertz. 1973. Cereal Chem., 50:184-190.
4. Spackman, D. H., W. H. Stein, y S. Moore. 1958. Anal. Chem., 30:1190-1206. For the tryptophan method, see T. E. Hugli, y S. Moore. 1972. J. Biol. Chem., 247:2828-2834.
5. Zscheile, F. P., Jr. y B. L. Brannaman. 1968. Anal. Biochem., 49:442-454.
6. Gehrke, C. W., y D. L. Stalling. 1967. Separation Sci., II(1):101-138.
7. Steele, B. F., H. E., Sauberlich, M. S. Reynolds y C. A. Baumann. 1949. Media for *Leuconostoc mesenteroides* P-60 y *Leuconostoc citrovorum* 8081. J. Biol. Chem., 177:533-544.
8. Bolinder, A. E. 1970. Pharm. Suecica, 7:209-238.
9. White, L. M. y M. S. Gauger. 1967. Automat. Anal. Chem. Technicon Symp., Vol. I. Media, Inc., White Plains. N.Y., 213-218.
10. Villegas, E. y E. T. Mertz. 1971. Res. Bull. 20, CIMMYT.
11. Tsai, C. Y., L. W. Hansel y O. E. Nelson. 1972. Cereal Chem., 49:572-579.
12. Subramanian, S. S., R. Jambunathan, J. M. Concon y E. T. Mertz. 1970. Fed. Proc., Fed. Am. Soc. Exp. Biol.: 29, 761 Abs.
13. Concon, J. M. 1972. The determination of lysine in cereal proteins. A rapid method. *En* G. E. Inglett (ed.), Symposium on seed proteins. Avi Publishing Co., Westport, Conn., págs. 292-311.
14. Udy, D. C. 1956. Cereal Chem., 33:190-197.
15. Paulis, J. W., J. S. Wall y W. F. Kwolek. 1971. A simple rapid method of estimating lysine in selections from *opaque-2* and *floury-2* corn breeding programs. American Seed Trade Assoc. Annual Meeting, Corn and Sorghum Division, St. Louis, Mo., junio 28-29.

SESION DE TRABAJO SOBRE METODOS PARA INTRODUCIR VARIEDADES DE CALIDAD PROTEINICA MEJORADA EN LAS FINCAS

En el grupo de discusión participaron representantes de América Latina, Europa, Africa y Asia, lo cual permitió que hubiera gran variedad de experiencias y opiniones. En general se convino en que el maíz de alta calidad tiene un papel muy importante que cumplir en los países en vías de desarrollo.

El consenso fue que muchos de los problemas que actualmente prevalecen desaparecerán en los próximos años a medida que se pueda disponer de variedades de maíz con tipos de grano ampliamente diferenciados, de rendimientos mayores y resistentes a enfermedades e insectos.

Los problemas que se presentan al introducir variedades de calidad proteínica mejorada al nivel de las fincas varían en diferentes regiones del mundo, dependiendo de: 1) el uso principal que se da al maíz (sobre todo como alimento para animales, para humanos o como producto que entra al mercado libre) y 2) las diferencias sociales, étnicas y políticas.

USOS PRINCIPALES DEL MAIZ

Alimento para animales

El empleo del maíz de calidad proteínica para la alimentación de animales fue el caso que se presentó como más sencillo, sobre todo en lo que se refiere a cerdos. El tipo de grano y el color son menos importantes, y las enormes diferencias en cuanto al crecimiento se demuestran con facilidad.

Bastaría suministrar a los criadores una pequeña cantidad de maíz de calidad proteínica, junto con instrucciones de alimentar con él a algunos de sus cerdos y

mantener el resto con el maíz normal, para demostrar el valor nutritivo del maíz de calidad proteínica. En Brasil, donde hay 63 millones de cerdos y donde menos del 20% de los granjeros da a sus puercos suplementos nutritivos, ya se emprenden programas de este tipo.

Alimento humano

La introducción del maíz de calidad proteínica como alimento humano en las fincas es un poco más difícil de lograr. El rendimiento, el tipo de grano y las características generales del maíz de calidad tienen que ser por lo menos iguales a los de las variedades locales.

Se están haciendo intentos en América Latina para introducir el maíz de calidad junto con una serie de prácticas agronómicas mejoradas.

Si en la finca hay cerdos; éstos se pueden utilizar para demostrar el valor nutritivo del maíz de calidad.

Ciertas experiencias de América Latina y Africa sugieren que la inclusión del maíz de calidad en los almuerzos escolares es de gran ayuda para estimular el interés en él.

Se mencionó que todo tipo de programas de divulgación con demostraciones, películas y educación al nivel de las fincas (e igualmente para médicos, universidades, escuelas, y para políticos y funcionarios del gobierno que traten con agricultores) podrían servir para estimular el cultivo del maíz mejorado como alimento humano en las fincas.

Producción para el mercado libre

La producción de maíz de calidad proteínica para el mercado libre requiere que éste sea un producto competitivo, o que reciba subsidios especiales para alentar a los agricultores a que lo cultiven. También se necesita suficiente demanda en el mercado para que se garantice la producción.

Se debe alentar la utilización de este maíz mediante la producción de productos alimenticios aceptables, tales como alimentos para bebés, macarrones, sopas, bebidas, galletas y almuerzos escolares.

La calidad de la molienda y la manufactura tienen que adaptarse a la industria, o la industria tiene que adaptar sus técnicas al maíz de calidad proteínica. La relación costo-beneficio debe ser favorable para alentar la búsqueda de posibilidades industriales.

Se están intentando varios programas en todo el mundo para utilizar el maíz de calidad proteínica en la industria. Se espera obtener, en futuros intentos, un nuevo maíz de endosperma duro y alto rendimiento.

Es indispensable que los gobiernos se comprometan firmemente a explotar el maíz de calidad tanto para consumo de ganado como para consumo humano con el fin de ampliar su adopción.

DIFERENCIAS SOCIALES, ETNICAS Y POLITICAS

Las diferencias sociales, étnicas y políticas entre países tandrán una influencia considerable en las técnicas específicas para introducir la utilización a gran escala del maíz de calidad proteínica.

Si se lo propusieran los gobiernos autoritarios tendrían la posibilidad de imponer con rapidez su uso generalizado. Algunos países carecen de ganado del tipo monogástrico, como puercos, en cantidad suficiente como para usarlos como demostraciones. Los métodos de preparación de alimentos varían de un país a otro; el tipo de maíz que se requiera dependerá de ellos.

Finalmente el grupo de trabajo reafirmó su creencia de que los nuevos tipos de endosperma duro que los programas de mejoramiento empiezan ahora a producir podrían alterar apreciablemente el patrón de aceptación en los próximos años.

SESION DE TRABAJO SOBRE LOS FACTORES ECONOMICOS Y SOCIALES QUE DETERMINAN LA ACEPTACION DE LAS VARIEDADES DE CALIDAD PROTEINICA SUPERIOR

El grupo IV estudia los factores económicos y sociales en lo que se refiere a la aceptación de las variedades de calidad proteínica superior y dicha discusión tuvo el propósito de crear una agenda que le sea útil a los creadores de sistemas en sus investigaciones. Las investigaciones en sí mismas indicaron la necesidad de trabajar en grupo tanto los científicos agrícolas como los nutriólogos y los científicos de la alimentación y los economistas.

Para conservar la discusión dentro de límites controlables, se ha supuesto que las personas que elaboran las políticas a seguir se enfrentan directamente con el problema de la desnutrición y, en particular, con la que se deriva de las pequeñas cantidades de lisina y triptófano. El maíz con alto contenido en lisina fue considerado como una fuente potencial de lisina y triptófano.

Al tratarse del maíz con alto contenido de lisina se debe de hacer énfasis en las variedades modificadas de opaco-2, las cuales combinan proteínas mejoradas con las características agronómicas de grano deseadas en las variedades no males. Poniendo la meta de elevar la disponibilidad de lisina y de triptófano, los que elaboran las políticas tienen varias alternativas para llegar a esta meta, por ejemplo, maíz modificado opaco-2, fortificación o leguminosas de grano. Se ha reconocido que el que elabora las políticas cuenta con escasos recursos para la investigación a fin de lograr su propósito.

En el curso de la discusión se esclareció que el asunto de elevar la disponibilidad de la lisina y del triptófano puede considerarse mejor en el contexto de una región homogénea. También quedó esclarecido que es más útil para identificar

diversas clases de beneficiarios de los elevados suministros de lisina y triptófano. Seis de esas clases fueron identificadas: (1) la clase rural pobre (en la que se incluyen los que directamente consumen la mayor parte de su producción), (2) la clase pobre urbana, (3) la clase de productores con economía mixta (grano y ganado), (4) los productores comerciales de grano (aquellos que venden la mayor parte de la producción de sus fincas), (5) instituciones (por ejemplo, programas de almuerzo escolar y hospitales), y (6) otros consumidores. Finalmente, se reconoció que el problema de mejorar la nutrición debe considerarse dentro del contexto de un período de tiempo específico.

Para realzar la importancia de resolver los problemas nutricionales de grupos específicos en períodos de tiempo específicos, se consideró una solución potencial por medio de la fortificación. Esto parece representar una alternativa conveniente para la clase pobre urbana a corto plazo. A largo plazo, la ventaja relativa de la fortificación sobre la mejora genética en los cultivos, puede disminuir. Para la clase pobre rural, la fortificación podría no ser posible, aun a corto plazo, a menos que se mejoren ampliamente los sistemas de transporte y de distribución.

Para escoger apropiadamente, la persona que elabora las políticas necesita recabar información acerca de los costos relativos y beneficios a partir de los sistemas alternativos, para cada una de las diversas clases de beneficiarios potenciales por región y por un período dado de tiempo.

Entonces la discusión recae sobre las clases de información que el que elabora las políticas encontrará útil al determinar los costos asociados con una nutrición mejorada por medio del maíz modificado opaco-2.

Un asunto obvio fue el de difundir el uso del maíz mejorado entre las tres clases de productores. Se arguyó que el grupo que se tardó más en aceptar el maíz nuevo podría ser la clase pobre rural. Para lograr buenos resultados se concluyó en que sería necesario un programa gubernamental integrado. El programa incluiría las variedades mejoradas (mejoradas no sólo en el sentido de tener una calidad proteínica superior, sino también en el sentido de obtener rendimientos más elevados que los que se obtienen con las variedades locales), prácticas mejoradas, y un programa dinámico de divulgación.

Algunos sugirieron el uso del mercado para estimular la difusión de las variedades modificadas entre la clase pobre rural; esto significa que se ofrecerán precios de mercado más elevados por una producción de calidad proteínica superior. Sin embargo, los precios elevados, reducen los beneficios relativos a la clase pobre urbana. Más aún, la conservación de los diferenciales de precio requieren un proyecto simple para detectar lisina y/o el contenido de triptófano en el maíz de mercado.

Se sugirió que una forma de acelerar la adopción entre la clase pobre rural es por medio del uso del maíz de alta calidad proteínica por los productores integrados de maíz para ganado. Las obvias ventajas que posee el maíz modificado opaco-2 en calidad de alimento para el ganado deben ser atrayentes para estos productores, y sus elevados rendimientos deben ser atractivos para los granjeros de los alrededores. (La experiencia brasileña sugiere que es posible que el granjero productor de maíz para cerdos es el que adopta con mayor rapidez el maíz de alta calidad proteínica.)

Además de la información acerca de los costos relacionados con la divulga-

ción del maíz opaco-2 modificado, y de los probables grados de utilización dentro de los grupos potenciales de beneficiarios, los que elaboran las políticas a seguir necesitan recabar información sobre los precios similares de pizca, almacenamiento, procesamiento y mercadeo del maíz que entra en los conductos normales comerciales. Por ejemplo, si los maíces modificados opaco-2 y normal deben ser separados para su venta en el mercado, entonces se necesitan calcular nuevos costos. Si, por otra parte, la separación no es necesaria o si ésta se puede llevar a efecto rápidamente, se necesitarán calcular otro tipo de costos.

También es necesario recabar una información similar acerca de los costos y beneficios derivados de los sistemas alternativos para aumentar la disponibilidad tanto de la lisina como del triptófano.

El Comité se refirió solamente a algunas de las dimensiones críticas del problema, enfrentándose a ellas. Las ideas implícitas en esta discusión fueron de que los elaboradores de políticas poseen alternativas entre las cuales escoger para la información requerida y también implican que esta información puede ser mejor agrupada en lo que se refiere a clases de beneficiarios y a las actividades asociadas con la difusión, producción y utilización del maíz de elevada calidad proteínica.

Además de la valiosa información que se presentó en la conferencia acerca de nutrición, contenido químico y características agronómicas, pocas interrogantes de las que surgieron en nuestra discusión han sido contestadas. Una efectiva creación de sistemas requerirá un cuidadoso examen de estas interrogantes.

Parte XI

INVESTIGACION SOBRE EL MAIZ DE ALTA CALIDAD PROTEINICA EN EUROPA MERIDIONAL

A. Brandolini*

Los programas de mejoramiento de maíz, de la Asociación Europea para la Investigación sobre el Mejoramiento de Plantas (EUCARPIA), han concentrado recientemente sus esfuerzos para mejorar el valor nutritivo del maíz. El Comité Mediterráneo de Europa Meridional (Southern European Mediterranean Committee) de la Sección de Maíz y Sorgo de EUCARPIA le ha dado especial atención al estudio de la composición bioquímica y de la regulación genética del grano de maíz. Se resumen aquí algunas de las principales tendencias en la investigación y los últimos logros.

UTILIZACION DEL GENE OPACO-2

Se ha mostrado un interés general en la utilización del gene opaco-2 para mejorar la calidad del grano de maíz. Cada país europeo mantiene ahora programas de cruzas reversivas para obtener linajes mejorados y formar híbridos de alta calidad proteínica. Algunos fitomejoradores están investigando los problemas que surgen al introducir el gene opaco-2 en las condiciones genéticas de linajes de maíz dentado y cristalino.

* Servicios de Cultivos y Producción de Pastizales, Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de las Naciones Unidas, Roma, Italia.

V. Trifunovic y M. Missovic, de Yugoeslavia; O. Cosmin, de Rumania; e I. Kovács, de Hungría han presentado resúmenes de los resultados obtenidos en las investigaciones realizadas en sus respectivos países. En España, E. Sánchez Monge y A. Monteagudo están haciendo investigaciones similares, evaluando y probando varias materias endocriadas.

En Francia, M. Pollacsek y sus colaboradores han desarrollado un programa para convertir los linajes locales endocriados. Su programa de selección tiene por objeto escoger linajes que conserven el carácter cristalino fenotípico en un grano homocigote opaco-2 utilizando un sistema genético de determinismo complejo en el que el carácter cristalino parece atribuirse a la dosis genética, mientras que el contenido de lisina se mantiene a niveles altos. Los genes dominantes supresores (Sup^1 o_2) con una relación de 15 a 1C y otros de acción monogénica también han sido detectados y estudiados. Se ha mostrado la habilidad de estos genes para suprimir fenotípicamente el carácter opaco pero también se ha mostrado que el contenido de lisina se ha reducido a porcentajes normales. Se están planeando investigaciones futuras para descubrir genes supresores capaces de mantener altos contenidos de lisina y de restablecer el grano cristalino.

En Italia, las investigaciones se están llevando a cabo en tres centros de investigación. E. Ottaviano, del Instituto de Genética de la Universidad de Milán, ha centrado sus estudios en la variabilidad de los efectos fenotípicos del gene opaco-2 en una población F_2 de una cruza simple de opaco-2. La inferioridad del peso del grano opaco parece depender de un efecto multiplicativo del opaco-2 y, en parte, de los genes modificadores que afectan la expresión fenotípica o_2o_2.

La interacción entre un gene principal y diferentes genes modificadores parece producir un alto contenido de triptófano. No se demostró que la variabilidad de la proteína y aceite estuviera influida por las condiciones genéticas, aunque sí se notó variabilidad.

Como resultado de este trabajo, se han seleccionado genotipos opaco-2 que tienen un mínimo de efectos negativos en el peso del grano, el contenido de proteína y el rendimiento. En los últimos años, Salamini y sus colaboradores han estado evaluando la habilidad combinatoria de estos genotipos y han llevado adelante un programa extensivo de conversión por cruzas reversivas de genotipos normales a opaco-2. Ahora están estudiando la influencia de los factores del medio ambiente en la expresión del gene opaco-2 en diversas condiciones genéticas, a medida que se seleccionan los linajes opaco-2 de las sintéticas opaco-2 hechas con materiales de origen muy diferente. Este trabajo de mejoramiento es paralelo al programa para evaluar el valor nutritivo de las líneas, efectuado en colaboración con A. Piva de la Universidad de Placencia, Italia.

G. Mariani ha investigado la influencia de los factores del medio ambiente (densidad de plantas y fertilizantes nitrogenados) en el rendimiento, así como el contenido de proteína y la calidad de los híbridos opaco-2 comparados con los híbridos normales. En la siguiente sección Mariani presentará los resultados principales obtenidos en el centro de mejoramiento de Bérgamo.

NUEVAS FUENTES DE GENES OPACO-2 EN EL GERMOPLASMA DE EUROPA MERIDIONAL

Se ha efectuado una amplia selección para determinar la ocurrencia del gene opaco-2 en el germoplasma de Europa Meridional, como parte del programa cooperativo del Comité Meridional, en colaboración con G. Orio, G. Vandoni e I. Cabulea. Esto ha permitido seleccionar diversas fuentes de genes opaco-2 en el Centro de Investigación Hortícola de Minoprio (Como) (véase la tabla 1).

En general el gene harinoso-2 apareció en la mayoría de las variedades Cristalinas italianas, rumanas y de Europa meridional. Cerca del 98% de las muestras cristalinas polinizadas por la serie homocigota de harinoso-2 presentó harinoso-2 en la semilla progenitora, ya fuera uniformemente o en segregaciones, con diferentes frecuencias.

Tal parece que hay mecanismos inhibidores especiales que no permitan la expresión del gene fl_2 fl_2 en las poblaciones locales cruzadas al azar (panmictic) pero que pueden actuar diferentemente en presencia de supresores especiales.

Las nuevas fuentes parecen prometer mucho. Previo aislamiento de las formas homocigotas, permitirán la utilización de condiciones genéticas más amplias, reduciendo así la endocriación.

NUEVAS FUENTES DE ALTA CALIDAD PROTEINICA

Para aumentar el conocimiento de las características bioquímicas del germoplasma europeo, así como para detectar nuevas fuentes útiles de endosperma de maíz de alta calidad proteínica para programas de mejoramiento ulteriores, el grano cosechado de plantas hermanas de 1 600 muestras de origen diferente fue sometido a un análisis químico para evaluar el contenido de grasas, proteínas, lisina y triptófano. El equipo automático analizador Technicon proporcionó buena confiabilidad y una operación rápida.

Los resultados se resumen en la tabla 2. Se muestran los datos para los grupos taxonómicos, así como los promedios y el límite fiduciario. Es evidente

TABLA 1 Presencia de opaco-2 en las variedades locales de maíz

		Opaco-2		*Opaco-2 modificado*		*Opaco-2 inseguro*		*Presencia total de opaco-2*
	Cultivos	*No.*	*%*	*No.*	*%*	*No.*	*%*	*(%)*
Italia	644	20	3.1	7	1.1	10	1.6	5.7
Rumania	131	6	4.6	6	4.6	6	4.6	13.8
Yugoeslavia	35	5	14.3	–	–	1	2.8	17.1
Portugal	28	1	3.6	1	3.6	–	–	7.2
España	8	–	–	–	–	2	25.0	25.0
Marruecos	32	3	9.4	–	–	1	3.1	12.5
Francia	3	1	33.3	–	–	–	–	33.3
Total	881	36	4.1	14	1.6	20	2.3	7.9

TABLA 2 Composición bioquímica de los granos de maíz en porcentaje del grano seco sin desgrasar.

	Complejo racial	*Muestra No.*	*Lípidos (%)*			*Proteína (%)*			*Triptófano (%)*			*Lisina (%)*		
			t^{min}	$\bar{x}$	t^{max}	t^{min}	$\bar{x}$	t^{max}	t^{min}	$\bar{x}$	t^{max}	t^{min}	$\bar{x}$	t^{max}
I.	Colección representativa de Europa Meridional													
A	Palomero	11	4.12	5.92	7.71	12.40	14.70	17.07	0.12	0.16	0.21	0.12	0.32	0.52
B	Crist. de grano pequeño	74	4.00	5.70	7.36	10.80	13.40	15.90	0.12	0.16	0.20	0.12	0.27	0.43
C	Cristalino elíptico	20	4.00	5.80	7.10	12.00	13.40	14.90	0.18	0.18	0.18	0.18	0.31	0.43
D	Cristalino cilíndrico	90	4.60	5.80	7.60	10.10	13.10	16.10	0.12	0.16	0.19	0.12	0.28	0.44
E	Cristalino cónico	22	3.30	5.40	7.40	10.80	13.30	16.00	0.12	0.16	0.20	0.21	0.31	0.42
F	Derivado cónico	27	3.40	5.40	7.30	10.60	12.80	15.00	0.12	0.16	0.20	0.19	0.31	0.43
G	Cristalino de ocho	20	3.90	6.00	8.10	10.60	13.30	16.00	0.12	0.18	0.22	0.24	0.32	0.40
H	Harinoso de ocho	33	3.94	5.30	6.65	10.30	13.70	17.20	0.11	0.16	0.19	0.22	0.30	0.38
I	Dentado harinoso prim.	10	3.53	6.30	9.15	11.09	12.70	14.35	0.13	0.16	0.20	0.16	0.24	0.32
L	Dentado moderno	34	3.61	6.00	8.30	10.54	12.80	15.02	0.12	0.16	0.20	0.10	0.26	0.42
M	Dentado derivado	35	4.30	6.40	8.50	11.30	13.10	14.90	0.13	0.18	0.21	0.14	0.23	0.33

TABLA 2 (cont.)

	Complejo racial	Muestra No.	Lípidos (%)			Proteína (%)			Triptófano (%)			Lisina (%)		
			t^{min}	$\bar{x}$	t^{max}	t^{min}	$\bar{x}$	t^{max}	t^{min}	$\bar{x}$	t^{max}	t^{min}	$\bar{x}$	t^{max}
II.	Colección italiana													
A	Palomero	16	3.88	5.71	7.55	12.04	14.47	16.90	0.11	0.16	0.21	0.27	0.35	0.43
B	Crist. de grano pequeño	154	4.04	5.56	7.08	10.88	12.90	14.92	0.14	0.18	0.23	0.18	0.30	0.42
C	Cristalino elíptico	82	4.53	5.80	7.07	11.03	12.75	14.47	0.14	0.18	0.21	0.19	0.29	0.40
D	Cristalino cilíndrico	102	3.97	5.51	7.05	10.27	12.48	14.69	0.13	0.17	0.21	0.19	0.30	0.41
E	Cristalino cónico	98	3.72	5.09	6.46	10.17	12.09	14.01	0.13	0.16	0.20	0.21	0.30	0.39
F	Derivado cónico	44	3.31	5.20	7.08	10.40	12.12	13.84	0.13	0.16	0.20	0.21	0.29	0.38
G	Cristalino de ocho	38	3.92	5.37	6.83	10.12	12.47	14.81	0.12	0.17	0.21	0.18	0.30	0.42
H	Harinoso de ocho	17	3.23	5.33	7.43	10.48	12.19	13.89	0.12	0.16	0.21	0.18	0.29	0.40
I	Dentado harinoso prim.	9	2.89	5.53	8.18	11.21	12.56	13.90	0.12	0.15	0.21	0.20	0.25	0.30
L	Dentado moderno	8	3.55	4.83	6.10	10.77	12.77	14.76	0.12	0.16	0.21	0.08	0.27	0.45
M	Dentados derivados	39	3.76	5.37	6.98	10.89	12.57	14.24	0.12	0.17	0.22	0.16	0.28	0.39
III.	Colección rumana													
B	Crist. de grano pequeño	54	3.88	5.35	6.82	10.29	13.39	16.48	0.12	0.15	0.18	0.13	0.23	0.33
D	Cristalino cilíndrico	62	4.18	5.24	6.32	10.37	13.06	15.75	0.13	0.15	0.17	0.15	0.23	0.31
H	Harinoso de ocho	3	2.31	5.01	7.70	10.92	13.05	15.18	0.13	0.15	0.16	0.26	0.30	0.34
L	Dentados modernos	48	3.93	4.96	5.98	9.94	12.61	15.28	0.13	0.15	0.17	0.16	0.25	0.33
M	Dentados derivados	36	3.90	4.96	6.02	9.74	12.43	15.12	0.13	0.15	0.17	0.17	0.24	0.31

[a] Valores promedio ($\bar{x}$) y límites fiduciales ($t^{min} - t^{máx}$).

TABLA 3 Coeficientes correlacionados de varios factores para muestras italianas y rumanas[a]

	Triptófano	*Lisina*	*Densidad*	*Volumen*
Proteína total				
Italia	0.65++	0.27++	0.20++	-0.47++
Rumania	0.48++	0.23++	0.08	-0.28++
Triptófano				
Italia		0.24++	0.11++	-0.20++
Rumania		0.18+	0.11	-0.11
Lisina				
Italia			0.09	-0.36++
Rumania			0.10+	-0.25++
Densidad				
Italia				-0.34++
Rumania				-0.11

[a] Italia, 607 muestras; Rmania, 204 muestras.

que la variabilidad del germoplasma del Comité Mediterráneo de Europa Meridional es bastante alta en grasas y proteínas y en el contenido de lisina y triptófano. También es evidente que los hallazgos en el caso de ciertos grupos muestran un porcentaje alto, muy interesante, de componentes químicos críticos. Un estudio preliminar de los valores correlativos de algunas características del grano parece indicar una relación positiva significativa entre la proteína y (1) el contenido de triptófano y lisina y, (2) el peso específico del grano (tabla 3).

La proteína se correlacionó negativamente tanto con el peso individual del grano como con la profundidad del grano. No se encontraron correlaciones significativas entre grasas, proteína y triptófano, o los otros caracteres mencionados, dentro de los grupos taxonómicos. Sin embargo, se encontraron correlaciones en el microesperma cristalino (incluyendo las variedades Cinquantinos, Quarantinos y Marano/pignoletto).

Los datos se están analizando con mayor detalle; los hallazgos actuales, sin embargo, ya indican que será posible usar estas nuevas fuentes como donadoras a partir de las cuales se podrán desarrollar nuevos programas para aumentar el contenido de proteínas y grasas, y mejorar el porcentaje de aminoácidos en las proteínas. Su utilización en el mejoramiento ciertamente requerirá de un esfuerzo superior a la simple introducción del gene opaco-2. Sin embargo, seguramente el uso de algunas de estas fuentes no presentará los problemas que surgen del sistema monogénico de un solo origen.

Los materiales que no están siendo utilizados en los programas actuales de fitomejoramiento, podrán usarse más ventajosamente donde se prefieren las variedades sintéticas, como en los países en vías de desarrollo (donde los factores del medio, especialmente la sequía, son problemas mayores). Consecuentemente una base genética más amplia contribuiría a una mayor estabilidad de los rendimientos.

BIBLIOGRAFIA

Banfi, G., e I. Cabulea. 1970. Analisi del contenuto proteico di farine di mais (azoto totale secondo Kjeldahl). Analisi Automatica nell'Industria Alimentare. Technicon Italiana, Roma, págs. 1-5.

Banfi, G., y M. Garavaglia. 1970. L'analisi automatica nel controllo del titolo proteico delle cariossidi di mais. Maydica, 15:3.

Brandolini, A. G. 1969. European races of maize. Proc. XXIV Ann. Corn Sorghum Res. Conf. Washington, D. C., 1970, págs. 36-48.

Cabulea, I., G. Banfi, y M. Garavaglia. 1971. Automatizzazione di un metodo analitico per la determinazione del triptofano nelle farine di mais. Atti del Simp. Intern. Technicon, Roma.

Frömberg, H. K. y W. G. Pollmer. 1971. On two years experience with the NBN and BN mass screening method for selecting high lysine maize. Proc. VI Meeting Maize Sorghum Section EUCARPIA, Freising Weihenstephan, 1972, págs. 193-204.

Ottaviano, E., e I. Cabulea. 1971. Quantitative variation in relation to the effects of "opaque-2" gene in maize. Proc. VI Meeting Maize Sorghum Section EUCARPIA, Freising-Weihenstephan, 1972. págs. 171-184.

Pollacsek, M. A. Cauderon y M. Caenen. 1969. Performance of experimental "opaque-2" maize. Proc. V. Meeting Maize Sorghum Section EUCARPIA, Budapest, 1971, págs. 44-48.

Pollacsek, M. A. 1969. Kernel texture and lysine content in "opaque-2" hybrids. Proc. V Meeting Maize Sorghum Section EUCARPIA, Budapest, 1971, págs. 49-53.

Pollmer, W. G. y H. K. Frömberg. 1971. A mass screening method based on butanol extraction for selecting high lysine maize. Proc. VI Meeting Maize Sorghum Section EUCARPIA, Freising-Weihenstephan, 1972, págs. 185-192.

Rautou, S. 1969. Rapid test to screen "opaque-2" maize for approximate lysine content. Proc. V Meeting Maize Sorghum Section EUCARPIA, Budapest, 1971, págs. 54-60.

Salamini, F. y T. Ekpenyong. 1967. Weight of opaque-2 and normal kernels on the same ear. Maize Genet. Coop. Newslett. 41:101-102.

Salamini, F., G. Baldi y A. Bianchi. 1969. Azoto totale, frazioni proteiche e aminoacidi in diverse F_2 di mais segreganti seme normale e opaco-2. Maydica, 14:3-24.

Salamini, F., B. Borghi y C. Lorenzoni. 1970. The effect of the opaque-2 gene on yield in maize. Euphytica, 12:523-530.

EFECTOS QUE TIENEN EL NITROGENO Y LA DENSIDAD DE PLANTAS SOBRE EL RENDIMIENTO DE GRANO, Y EL CONTENIDO PROTEINICO Y LA CALIDAD DE UN MAIZ HIBRIDO OPACO-2

G. Mariani*

Los investigadores han dado poca importancia a la influencia que tienen las prácticas culturales sobre el comportamiento del maíz opaco-2. En este escrito figuran los resultados en Italia. Estos se llevaron a cabo en dos localidades, durante dos años, con una densidad de 4.0, 5.6 y 6.9 plantas/m^2 y con niveles crecientes de fertilizantes nitrogenados, utilizando como semilla un híbrido opaco-2 de ciclo intermedio (madurez clasificada según FAO, 400). El contenido de triptófano se tomó como índice de calidad proteínica.

RESULTADOS DE LOS EXPERIMENTOS

Las tablas 1 y 2 muestran la producción de grano, proteína y triptófano por hectárea en las dos localidades (Bérgamo, 46° de latitud; Rieti, 42° de latitud).

El comportamiento del híbrido opaco-2 fue satisfactorio en los dos años. El rendimiento promedio de grano fue más alto en Rieti que en Bérgamo. Tanto en Bérgamo como en Rieti se reportaron entre los dos años, diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de grano y en la producción; sin embargo, solamente en Bérgamo se encontraron diferencias en la producción de proteína.

* Istituto Sperimentale per la Cereale Coltura, Sefoie de Bergamo, Bergamo, Italia.

TABLA 1 Bérgamo, 1970-1971. Efectos del incremento de los niveles de nitrógeno y de la densidad de plantas sobre:

G rendimiento del grano con 15.5% de humedad (q/ha)
P producción proteína (kg/ha)
T producción de triptófano (g/ha)

		Nitrógeno (kg/ha)												*Promedio de poblaciones y de años*		
		0			*100*			*200*			*300*					
Año	*Plantas/m²*	*G*	*P*	*T*	*G*	*P*	*T*	*G*	*P*	*T*	*G*	*P*	*T*	*G*	*P*	*T*
1970	4.0	56.4	487	7.38	61.5	553	8.36	61.7	563	8.31	64.6	602	9.14	61.0	551	8.30
	5.6	60.4	525	7.90	66.2	580	9.00	66.1	574	9.26	65.4	593	9.34	64.5	568	8.87
	6.9	60.4	487	7.50	75.3	627	9.74	73.9	654	9.76	70.8	649	9.91	70.1	604	9.23
Dosis de N (promedio)		59.1	500	7.59	67.7	587	9.03	67.2	597	9.11	66.9	615	9.46	65.2	574	8.80
1971	4.0	54.3	443	7.66	52.5	458	7.61	53.8	476	8.02	54.8	501	8.44	53.9	469	7.93
	5.6	55.9	438	7.49	54.7	461	7.82	54.6	477	7.92	61.1	539	8.55	56.6	479	7.94
	6.9	62.7	484	8.09	65.1	554	8.85	60.5	528	8.77	59.8	542	8.55	62.0	527	8.56
Dosis de N (promedio)		57.7	455	7.75	57.5	491	8.09	56.4	494	8.24	58.6	527	8.51	57.5	492	8.14
1970-1971	4.0	55.3	465	7.52	57.0	505	7.98	57.7	519	8.16	59.7	551	8.79	57.4	510	8.11
	5.6	58.1	481	7.69	60.4	520	8.41	60.3	525	8.59	63.2	566	8.94	60.5	523	8.40
	6.9	61.5	485	7.79	70.2	590	9.29	69.4	591	9.26	65.3	595	9.23	66.0	565	8.89
Dos años (promedio)		58.4	477	7.67	62.6	539	8.56	61.8	545	8.67	62.7	571	8.98	61.3	533	8.47

TABLA 2 Rieti, 1970-1971. Efecto del incremento de los niveles de nitrógeno y de la densidad de plantas sobre:

G rendimiento del grano con 15.5% de humedad (q/ha)
P producción proteínica (kg/ha)
T producción de triptófano (g/ha)

		Nitrógeno (kg/ha)												*Promedio de poblaciones y de años*		
		0			*50*			*100*			*150*					
Año	*Plantas/m²*	*G*	*P*	*T*	*G*	*P*	*T*	*G*	*P*	*T*	*G*	*P*	*T*	*G*	*P*	*T*
1970	4.0	68.1	537	8.99	67.8	567	9.31	68.0	615	9.52	71.3	655	10.46	68.8	593	9.57
	5.6	75.4	542	9.06	81.9	651	10.59	78.7	669	11.45	83.3	704	11.67	79.8	641	10.69
	6.9	83.7	590	10.38	85.9	685	11.23	88.4	747	12.38	91.5	709	11.79	87.4	683	11.19
Dosis de N (promedio)		75.7	556	9.48	78.5	634	10.38	78.3	677	11.12	82.0	689	11.31	78.7	639	10.48
1971	4.0	60.3	523	7.30	61.9	535	7.37	61.0	582	7.99	58.0	547	8.12	60.3	547	7.70
	5.6	76.3	637	8.62	71.6	607	8.74	79.6	732	10.27	70.5	620	8.60	74.5	649	9.06
	6.9	83.1	689	9.39	83.1	714	9.22	82.7	738	9.84	83.4	751	10.26	83.1	723	9.68
Dosis de N (promedio)		73.2	616	8.44	72.2	619	8.44	74.4	684	9.37	70.6	639	8.99	72.6	640	8.81
1970-1971	4.0	64.2	530	8.14	64.8	551	8.34	64.5	598	8.75	64.6	601	9.29	64.5	570	8.63
	5.6	75.8	589	8.84	76.7	629	9.66	79.1	700	10.86	76.9	662	10.13	77.1	645	9.87
	6.9	83.4	639	9.88	84.5	699	10.22	85.5	742	11.11	87.4	730	11.02	85.2	703	10.43
Dos años (promedio)		74.4	586	8.96	75.3	626	9.41	76.3	680	10.24	76.3	664	10.15	75.6	639	9.64

TABLA 3 Bérgamo, 1970-1971. Efectos del incremento de los niveles de nitrógeno y en la densidad de plantas sobre:

p porcentaje de proteína en el grano entero con 15.5% de humedad
t triptófano ppm del grano entero con 15.5% de humedad
w peso de 1000 granos (g)

		Nitrógeno (kg/ha)												*Promedio de poblaciones y de años*		
		0			*100*			*200*			*300*					
Año	*Plantas/m²*	p	t	w	p	t	w	p	t	w	p	t	w	p	t	w
1970	4.0	8.6	131	281	9.0	137	291	9.1	135	291	9.3	142	287	9.0	136	287
	5.6	8.7	131	275	8.8	136	281	8.7	140	279	9.0	143	283	8.8	138	279
	6.9	8.0	124	276	8.4	130	275	8.9	133	287	9.2	141	272	8.6	132	277
Dosis de N (promedio)		8.4	129	277	8.7	134	282	8.9	136	286	9.2	142	281	8.8	135	281
1971	4.0	8.2	141	254	8.7	145	253	8.9	149	253	9.1	154	252	8.7	147	253
	5.6	7.9	134	234	8.4	143	241	8.7	145	242	8.8	140	248	8.4	140	241
	6.9	7.7	129	238	8.5	136	234	8.7	145	232	9.0	143	230	8.5	138	233
Dosis de N (promedio)		7.9	135	242	8.5	141	243	8.8	146	242	9.0	146	243	8.5	142	243
1970-1971	4.0	8.4	136	267	8.8	141	272	9.0	142	272	9.2	148	269	8.8	141	270
	5.6	8.3	132	254	8.6	139	261	8.7	142	260	8.9	141	265	8.6	139	260
	6.9	7.8	126	257	8.4	133	254	8.8	139	259	9.1	142	251	8.5	135	255
Dos años (promedio)		8.1	132	259	8.6	137	262	8.8	141	264	9.1	144	262	8.6	138	262

TABLA 4 Rieti, 1970-1971. Efectos del incremento de los niveles de nitrógeno y en la densidad de plantas sobre:

p porcentaje de proteína en el grano entero con 15.5% de humedad
t triptófano ppm del grano entero con 15.5% de humedad
w peso de 1000 granos (g)

		Nitrógeno (kg/ha)												*Promedio de poblaciones y de años*		
		0			*50*			*100*			*150*					
Año	*Plantas/m²*	p	t	w	p	t	w	p	t	w	p	t	w	p	t	w
1970	4.0	7.9	133	276	8.4	138	293	9.0	141	272	9.2	147	283	8.6	140	281
	5.6	7.2	121	256	8.0	129	275	8.5	145	260	8.4	141	270	8.0	134	265
	6.9	7.2	124	265	8.0	131	258	8.4	140	259	7.8	134	279	7.8	132	265
Dosis de N (promedio)		7.4	126	266	8.1	133	275	8.6	142	264	8.5	141	277	8.2	135	270
1971	4.0	8.7	121	258	8.6	119	253	9.5	131	256	9.4	132	247	9.0	126	253
	5.6	8.3	113	249	8.5	122	251	9.2	129	252	8.8	122	244	8.7	121	249
	6.9	8.3	113	258	8.6	111	249	8.9	119	245	9.0	123	248	8.7	116	250
Dosis de N (promedio)		8.4	116	255	8.6	117	251	9.2	126	251	9.1	126	246	8.8	121	251
1970-1971	4.0	8.3	127	267	8.5	128	273	9.2	136	264	9.3	139	265	8.8	133	267
	5.6	7.7	117	252	8.2	125	263	8.8	137	256	8.6	131	257	8.2	127	257
	6.5	7.7	118	261	8.3	121	253	8.6	129	252	8.4	128	263	8.2	124	257
Dos años (promedio)		7.9	121	260	8.2	125	263	8.9	134	257	8.8	133	261	8.5	128	260

En 1970, se notó un aumento importante en el rendimiento de grano con niveles de 100 kg N/ha en Bérgamo y 50 kg N/ha en Rieti. Los datos de 1971 no mostraron ninguna diferencia entre los niveles de nitrógeno.

Durante los dos años, se aumentó el promedio de producción de grano/ha al incrementar las tasas de nitrógeno (hasta la tasa más alta en Bérgamo y hasta la tasa media en Rieti). La producción de triptófano aumentó de manera semejante.

Mientras que el contenido proteínico aumentó al incrementarse la fertilización nitrogenada (tablas 3 y 4) el triptófano en el grano se mantuvo proporcional al total del contenido proteínico.

El aumento en la densidad de plantas condujo a altos aumentos en la producción de grano. La producción de proteína y triptófano también aumentó, pero en tasas menores, debido al descenso del contenido en proteína y triptófano en el grano y al peso del grano más bajo.

Los resultados promedio obtenidos en los dos años para cada una de las dos localidades se muestran en las figuras 1 y 2. El porcentaje de variación de las tasas de fertilización nitrogenada, para las diferentes características medidas, se

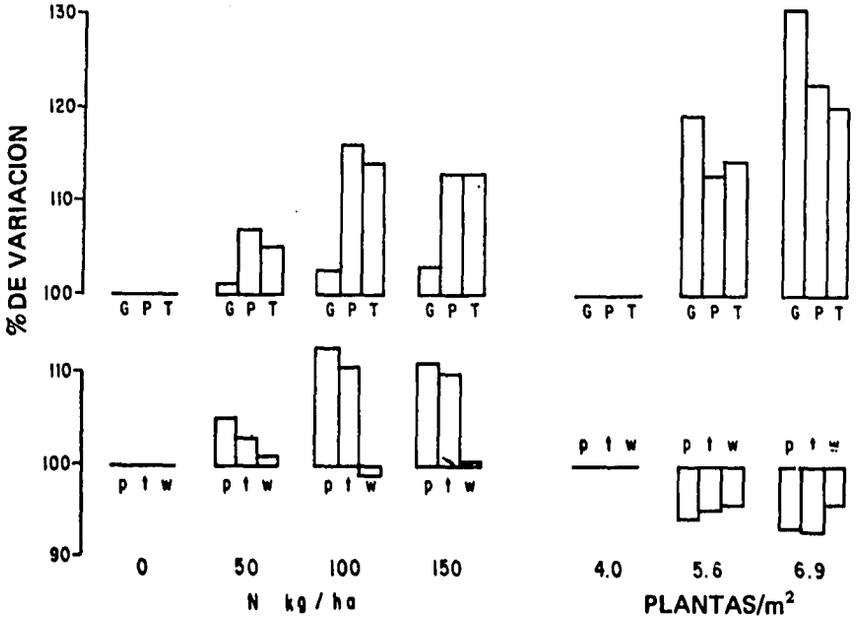


FIGURA 1 Promedio de Bérgamo, 1970-1971. Porcentaje de variaciones debidas al aumento en las tasas de nitrógeno (medias de tres poblaciones) y al aumento en la densidad de plantas (medias de cuatro tasas de nitrógeno):

G rendimiento de grano
P producción de proteína por hectárea
T producción de triptófano por hectárea
p proteína (%)
t triptófano (ppm)
w peso de 1000 granos

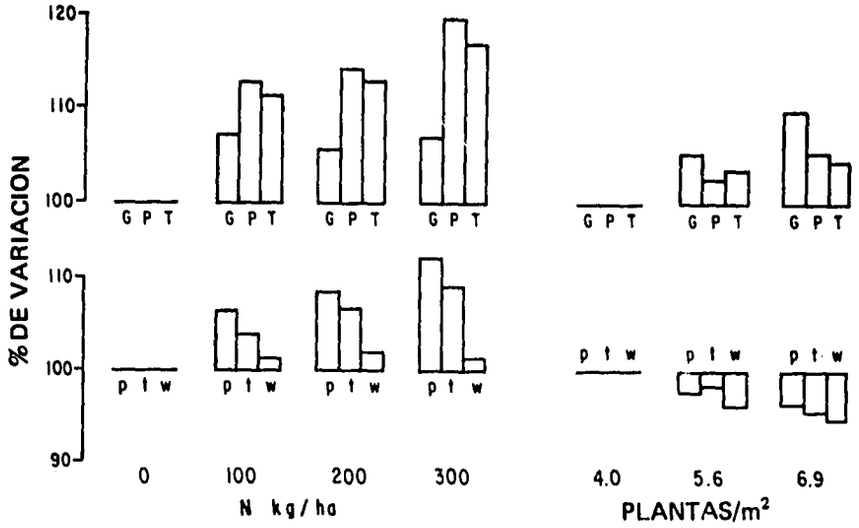


FIGURA 2 Rieti, 1970-1971. Porcentaje de variaciones debidas al aumento en las tasas de nitrógeno (medias de tres poblaciones) y al aumento en la densidad de plantas (medias de cuatro tasas de nitrógeno):

G rendimiento de grano
P producción de proteína por hectárea
T producción de triptófano por hectárea
p proteína (%)
t triptófano (ppm)
w peso de 1000 granos

remitió a la medida de las tres densidades donde N = 0. El porcentaje de variación debido a la densidad de plantas se remitió a la media de la densidad más baja (4.0 plantas/m^2) con cuatro niveles de fertilizante nitrogenada.

La calidad proteínica del híbrido opaco-2, medida en términos del contenido relativo de triptófano, no se alteró sustancialmente, mientras que el rendimiento del grano aumentó debido a la fertilización nitrogenada o al aumento de la densidad. Cuando la fertilización nitrogenada no indujo rendimiento de grano más alto, los aumentos de proteína y triptófano en el grano fueron evidentes.

ESTADO ACTUAL DE LOS PROGRAMAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD PROTEINICA DEL ARROZ

Bienvenido O. Juliano*
Henry M. Beachell*

En los cereales, el arroz es el que tiene la proteína con mayor valor nutritivo, aunque en el arroz pulido su contenido es bajo (de 7 a 14% de humedad). En esta ponencia se presenta un breve análisis de los esfuerzos que el International Rice Research Institute ha hecho para mejorar el contenido de proteína en el arroz.

CONTENIDO Y DISTRIBUCION DE LA PROTEINA

Después del almidón, la proteína es el constituyente más abundante del endosperma del arroz (18). En la dieta asiática, el arroz pulido o descascarado (*Oryza sativa* L.) es la fuente del 40% al 80% de las calorías y de por lo menos el 40% de la proteína. El afrecho (capas de aleurona y germen) contiene más proteína que el endosperma almidonoso, de manera que durante la molienda la proporción de proteína que se pierde es mayor que la proporción de pérdida de peso (18). El arroz sin pulir contiene ordinariamente 8% de proteína, en tanto que el arroz pulido contiene 7% (18, 19).

La proteína del endosperma existe principalmente como partículas discretas de 1 a 4 μm de tamaño, localizadas entre los gránulos de almidón (fig. 1) (10). A las partículas se les llama cuerpos de proteína. Son más pequeños y más numero-

* International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas.

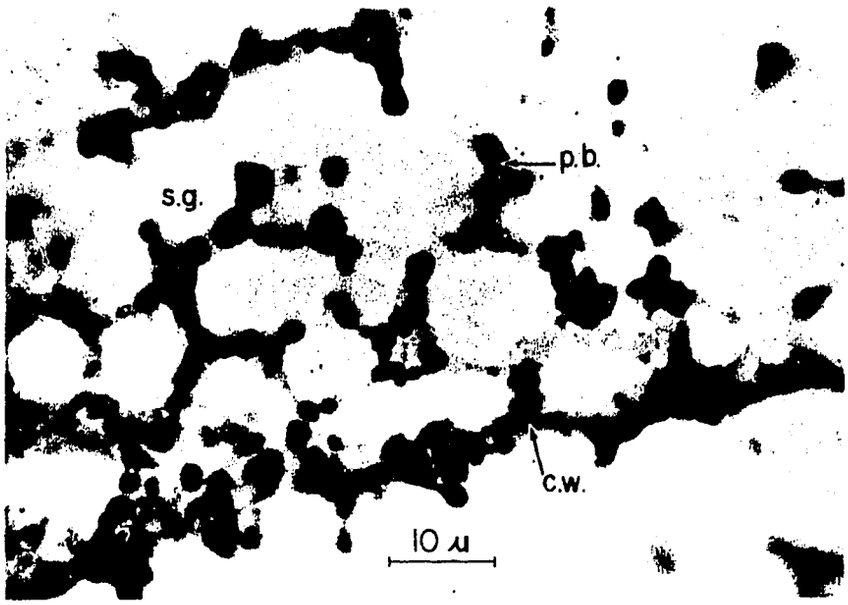


FIGURA 1 Corte transversal del endosperma de la variedad de arroz BPI-76 (11% de proteína) mostrando cuerpos proteínicos coloreados (p.b), gránulos de almidón (s.g.) y pared celular (c.w.) (10). Colorante: azul de cloruro de mercurio-bromofenol.

sos en las células periféricas y cerca de las paredes celulares de la pared. Los cuerpos de proteína tienen una estructura lamelar (25) y la misma composición de aminoácidos y fracciones proteínicas que la proteína del arroz pulido (26).

TABLA 1 Razón y niveles de aminoácidos esenciales y cistina de las fracciones proteínicas del endosperma del arroz IR-8

Propiedad	*Fracción proteínica*				*Proteína de arroz pulido*
	Albúmina	*Globulina*	*Prolamina*	*Glutelina*	
Isoleucina	4.0	3.0	4.7	5.3	4.1
Leucina	7.9	6.6	11.3	8.2	8.2
Lisina	4.9	2.6	0.5	3.5	3.8
Metionina	2.5	2.3	0.5	2.6	3.4
Metionina + cistina	5.4	2.3	0.8	4.1	5.0
Fenilalanina	3.0	3.3	6.3	5.4	6.0
Fenilalanina + triosina	6.9	8.3	15.0	10.3	11.0
Treonina	4.6	4.6	2.9	3.9	4.3
Triptófano	1.9	1.3	0.9	1.2	1.2
Valina	8.7	6.2	7.0	7.3	7.2
Razón	5	10	<5	>80	100

Fuente: Tecson *et al* (33).

[a] En gramos/16.8 g de N.

FRACCIONES PROTEINICAS, VALORES NUTRICIONALES Y AMINOGRAMA

La proteína del arroz pulido es única entre las proteínas de los cereales en cuanto a que consiste de, por lo menos, 80% de glutelina (tabla 1) (5, 16). Las otras fracciones, inclusive prolamina, están presentes en pequeñas cantidades. La albúmina y la globulina se concentran en el afrecho, en tanto que la prolamina esté distribuida uniformemente por todo el grano (5).

La proteína del arroz pulido se cuenta entre las de mejor valor nutricional en comparación con la de otros cereales, ya que tiene un alto contenido de lisina (alrededor del 4%), el principal aminoácido esencial limitante de las proteínas de los cereales (18, 19). El contenido de lisina es semejante al de la proteína del endosperma del maíz opaco-2 (23). Entre las fracciones proteínicas, la albúmina tiene el mayor contenido de lisina, seguida por la glutelina, la globulina y la prolamina (tabla 1) (33). El alto contenido de lisina en el arroz resulta de un bajo contenido de prolamina (5, 16, 28). Por lo general, la proteína del arroz pulido tiene un contenido más bajo de lisina que la proteína del arroz sin pulir (17, 18), debido a su menor contenido de albúmina (5).

FITOMEJORAMIENTO PARA UN MAYOR CONTENIDO DE PROTEINA

Objetivos del mejoramiento

La principal limitación nutricional de la proteína del arroz es su bajo contenido en el grano. En 1966, el IRRI inició un programa de selección y de fitomejoramiento para incrementar el contenido de proteína en el arroz. Entre las variedades cultivadas siguiendo un proceso semejante (2, 19, 20) existen diferencias genéticas en su contenido de proteína, y parece razonable esperar que el contenido de proteína del arroz sin pulir puede aumentarse en un 20 a 25%. Esto corresponde a un mejoramiento en el contenido de proteína del arroz pulido de un 2% o sea de 7% a 9%.

El hecho de que en los predios de los agricultores IR-8 tenga el mismo contenido proteínico que las variedades tradicionales, a pesar de su rendimiento superior (14), indica que el contenido de proteína no está fuerte y negativamente asociado con el rendimiento de grano y que el rendimiento proteínico del arroz se puede aumentar. Las variedades con alto contenido de proteína deben rendir tanto o más que otras variedades para que los agricultores las acepten. Deben tener una resistencia adecuada a los insectos y a las enfermedades, un mejor tipo de planta y una calidad de grano aceptable. Se anticipa que el IRRI tendrá que producir no una variedad sino una serie de variedades que representen las diferentes calidades de grano preferidas en los diversos países tropicales de Asia, puesto que la mayoría de los programas nacionales de mejoramiento de arroz carecen de las facilidades adecuadas para efectuar los análisis de proteína de los linajes.

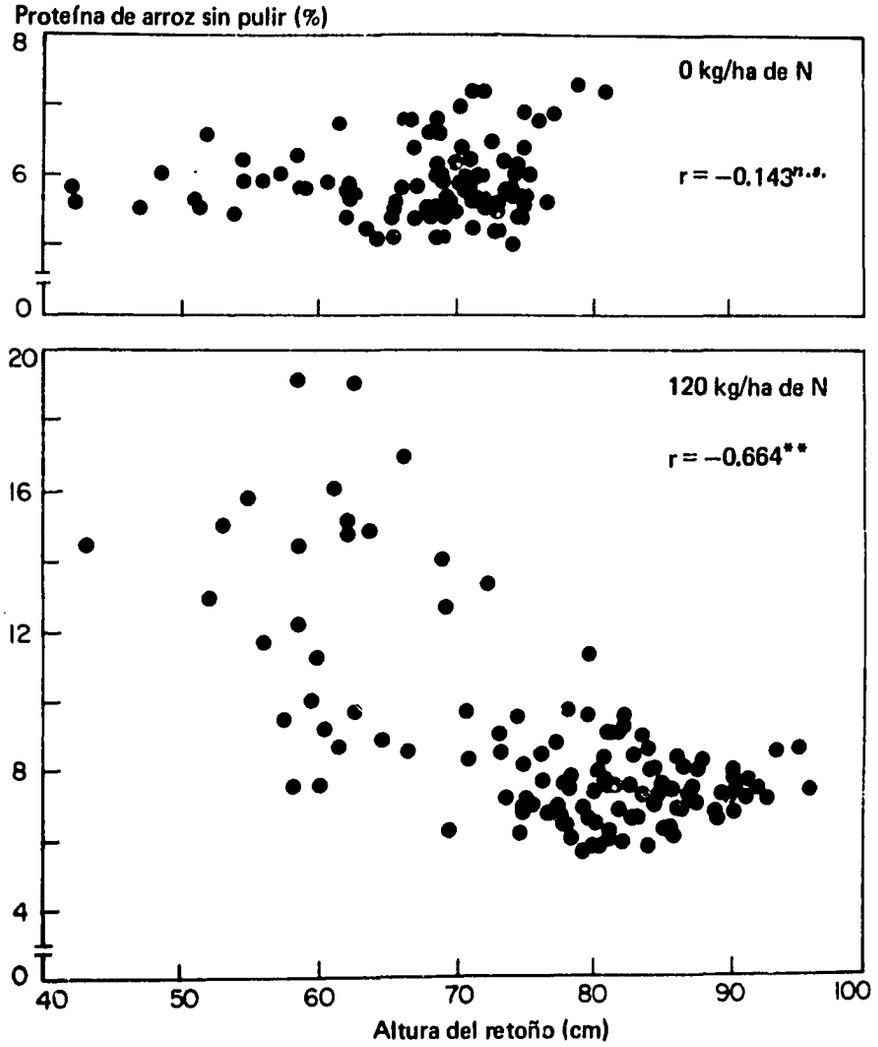


FIGURA 2 Relación entre la altura de la panícula y el contenido de proteína en arroz sin pulir de matas de IR8 fertilizado (120 Kg/ha de N) y sin fertilizar. Ciclo seco de 1970 (14).

Variabilidad en el contenido de proteína del arroz

El contenido de proteína (a un nivel de 14% de humedad) varía hasta en 6 puntos de porcentaje dentro de una variedad determinada (17, 20). En IR-8, el contenido varía de 6 a 12% (17). Por lo general, el contenido de proteína es mayor en los granos ubicados en la porción inferior de una panícula (14), y en

los granos de panículas precoces y altas dentro de una mata que ha sido fertilizada con altos niveles de nitrógeno (fig. 2). A la misma dosis de aplicación de fertilizante nitrogenado, por lo común el contenido de proteína es menor en los granos de plantas cultivadas a un menor espaciamiento (9) y mayor en matas de bordo, y en las adyacentes a matas faltantes (14). Una alta dosis de fertilizante nitrogenado, particularmente durante la etapa reproductiva, tiende a incrementar el contenido de proteína (14). Los derivados de S-triazina y de urea, aplicados a niveles de subherbicida durante la etapa reproductiva, también incrementan el contenido de proteína, independientemente del fertilizante nitrogenado que se aplica (9). El contenido de proteína tiende a ser menor si hay alta radiación solar durante el desarrollo del grano (30). De aquí que por lo general el contenido de proteína sea menor en la estación seca que en la estación húmeda. Ha sido en extremo difícil identificar variedades que genéticamente tengan alto contenido de proteína para usarlas en un programa de mejoramiento, particularmente cuando los progenitores son altos, sensibles al fotoperíodo, o bien no adaptados al ambiente de Los Baños, sede del IRRI.

Técnicas experimentales

Nuestros primeros ensayos de campo mostraron una amplia variabilidad en el contenido de proteína, aún en la variedad testigo IR-8. Los estudios posteriores, sin embargo, mostraron que la variabilidad proteínica de arroz inundado trasplantado se minimiza por medio de un espaciamiento de 20 X 20 cm con dos plantas por mata y una aplicación basal uniforme de fertilizante nitrogenado. La reducción de la variabilidad proteínica es esencial porque el contenido de proteína tiene una hereditabilidad baja.

Las muestras para el análisis de la proteína se obtienen del total de granos trillados de una mata o de muestras en masa usadas para determinar el rendimiento de las parcelas. Se analiza una muestra de 10 granos de una mata y una muestra de 2 a 5 gramos de una parcela. Para las muestras de 10 granos se logra una molienda rápida de la muestra descascarada en un amalgamador Wig-L-Bug, y para las muestras más grandes se utiliza el molino Udy de turbulencia de aire. El análisis se hace mediante una digestión micro-Kjeldahl manual seguida de una determinación colorimétrica de amonio de las muestras digeridas, con un autoanalyser (21). La proteína del arroz se determina por N X 5.95, sobre la base de 16.8% de nitrógeno de la glutelina del arroz (18, 33).

Situación actual de fitomejoramiento

En el IRRI se han desarrollado varios linajes semienanos que parecen tener un contenido de proteína más alto que IR-8 (tabla 2) (2). IR-480-5-9 parece ser el más promisorio de estos linajes, según los ensayos efectuados durante las estaciones secas de 1971 y 1972. Los agrónomos del IRRI la identificaron primero como un linaje con alto contenido de proteína (2, 9). En experimentos repetidos ha producido esencialmente el mismo rendimiento de grano que IR-8

TABLA 2 Comportamiento relativo (IR-8 = 100) de varios linajes y variedades mejoradas, durante los ciclos 1971[a] y 1972[b] en las épocas secas

Variedad o linajes		*Proteína en arroz sin pulir (N X 5.95)*		*Rendimiento bruto de arroz*	
		1971	*1972*	*1971*	*1972*
IR8		100	100	100	100
IR480-5-9	Nahng Mon S-4/2 X TN1	123 (5)[c]	120 (4)[c]	95 (5)[c]	85 (4)[c]
IR160-27-3	Nahng Mon S-4 X TN1	118 (5)	108 (2)	98 (5)	96 (2)
IR667-98-1	IR8 X (Yukara X TN1)	117	107	112	83
IR1103-15-4	IR8 X Chow-sung	136 (2)	126 (2)	68 (2)	68 (2)
IR1103-49-4	IR8 X Chow-sung	131	123	70	63
BPI-76-1		125 (3)	121	82 (3)	78
IR1006-26-1	IR8 X BPI-76-1	113	110	99	82
IR1006-33-1	IR8 X BPI-76-1	109	104	90	84
IR1163-124-1	IR/2 X BPI-76-1	110	106 (2)	82	83 (2)
IR1163-153-2	IR/2 X BPI-76-1	n.d.	108 (3)	n.d.	91 (3)
L4, (1915)-12	Irradiated IR8	111	110	91	74

Fuente: Beachell *et al* (2).

[a] Media de proteína en arroz sin pulir de IR-8 = 6.2% a 8.6%; rendimiento bruto de arroz = 5.1 a 7.3 ton/ha; 60 a 120 kg/ha de N aplicados basalmente.

[b] Media de proteína en arroz moreno de IR-8 = 6.5% a 8.5%; rendimiento bruto de arroz — 6.5 a 7.5 ton/ha; 80 a 120 kg/ha de N aplicados basalmente.

[c] Número de ensayos repetidos, cuando fue más de uno.

durante la estación seca (cuando la infección de tizón bacteriano de la hoja es mínima), pero ordinariamente ha mostrado más de un 20% de proteína. En un experimento llevado a cabo por agrónomos del IRRI en la estación seca de 1972, rindió 8.7 ton/ha, maduró casi al mismo tiempo que IR-22 y tuvo 10.8% de proteína en el arroz sin pulir. IR-22 rindió 8.3 ton/ha con 9.3% de proteína. IR-480-5-9 tiene macollos erectos, madura alrededor de una semana antes que IR-8, y rinde menos que IR-8 a niveles bajos de fertilidad. Es susceptible al tizón bacteriano de la hoja. Tiene un grano un poco más alargado y delgado, que rara vez muestra manchas blancas. IR-480-5-9 tiene un contenido intermedio de amilosa y una baja temperatura de gelatinización, lo cual hace que sea preferido por su calidad culinaria en las Filipinas e Indonesia (17).

Todos los demás linajes semienanos con alto contenido proteínico no tuvieron un mayor rendimiento de proteína consistente que IR-8 en las estaciones secas de 1971 y 1972 (tabla 2). IR1-60-27-3 no siempre tiene un contenido de proteína tan alto como IR-480-5-9. IR-667-98-1 es un linaje hermano de la variedad coreana de alta proteína Tongil y tiene un tipo de planta como IR-8. Los mejores linajes semienanos obtenidos a partir de cruzas de IR-8 con 6 variedades con alto contenido de proteína seleccionadas de la colección mundial del IRRI (21), tales como IR-1103-15-8 e IR-1103-49-4, ordinariamente tienen un contenido de proteína por lo menos 20% mayor que IR-8, pero solamente de 63% a 70% del rendimiento de grano (2). Las variedades filipinas, BP-1-76 y BP-1-76-1, han producido grano con alto contenido de proteína (4, 5), particu-

larmente cuando se les aplica fertilizante nitrogenado durante la floración. Varios linajes semienanos con rendimientos más altos que BP-1-76-1 fueron obtenidos mediante el cruzamiento de BP-1-76 con IR-8, pero no tienen un contenido de proteína tan alto como el de BP-1-76-1. L4, (1915)-12 tiene un contenido proteínico de alrededor de 10% mayor que IR-8, y tiene el mismo tipo de planta. Se están haciendo cruzamientos entre estos linajes y también con IR-480-5-9, tratando de combinar fuentes divergentes de alto contenido de proteína.

En 1971 y 1972 se hicieron cruzas reversivas y cruzas triples a fin de combinar alto rendimiento de grano y alto contenido de proteína con resistencia a enfermedades (particularmente al tizón bacteriano de la hoja) y a plagas de insectos. Los linajes de IR-1103 a IR-480-5-9 se han utilizado como progenitores de alta proteína. Los linajes con alto contenido proteínico de generaciones tempranas de estos cruzamientos se están seleccionando con respecto a su resistencia al tizón bacteriano de la hoja.

Los fitomejoradores del IRRI estudian el comportamiento genético del contenido de proteína mediante 72 cruzas recíprocas en las que se incluyen progenitores semienanos.

EFECTOS DEL ALTO CONTENIDO DE PROTEINA SOBRE LAS PROPIEDADES DEL GRANO

Distribución de la proteína

Conforme aumenta el contenido de proteína, ésta se distribuye con mayor uniformidad en el grano (15). De aquí que, si se elimina el 10% (por peso) del afrecho de una muestra de arroz sin pulir con 8% de proteína, el grano pulido tendrá 7.3%; pero el grano pulido de una muestra de arroz sin pulir con 10% de proteína, tendrá 9.4% de proteína (fig. 3). Los estudios histológicos indican que el incremento del contenido de proteína se debe principalmente a un aumento de los cuerpos proteínicos del endosperma, con un ligero aumento de su tamaño en algunas muestras (15). Sin embargo, los mutantes con alto contenido de proteína (13.4 a 14.8%) logrados mediante irradiaciones con rayos gamma tienen cuerpos de proteína de tamaño normal (15). El análisis Kjeldahl de arroz sin pulir (muestras de 10 ó 20 granos) da un índice de la distribución de la proteína más confiable que el análisis histoquímico de granos individuales (15), que tienen contenidos variables de proteína (2, 14).

Calidad del grano

El arroz sin pulir de alta proteína tendió a mostrar mayores grados de dureza (probador Kiya) y rendimiento de grano en cabeza (grano entero) durante la molienda al mismo nivel que el arroz con un contenido normal de proteína (15). Es también más reciente a la molienda abrasiva (5). El grosor de la

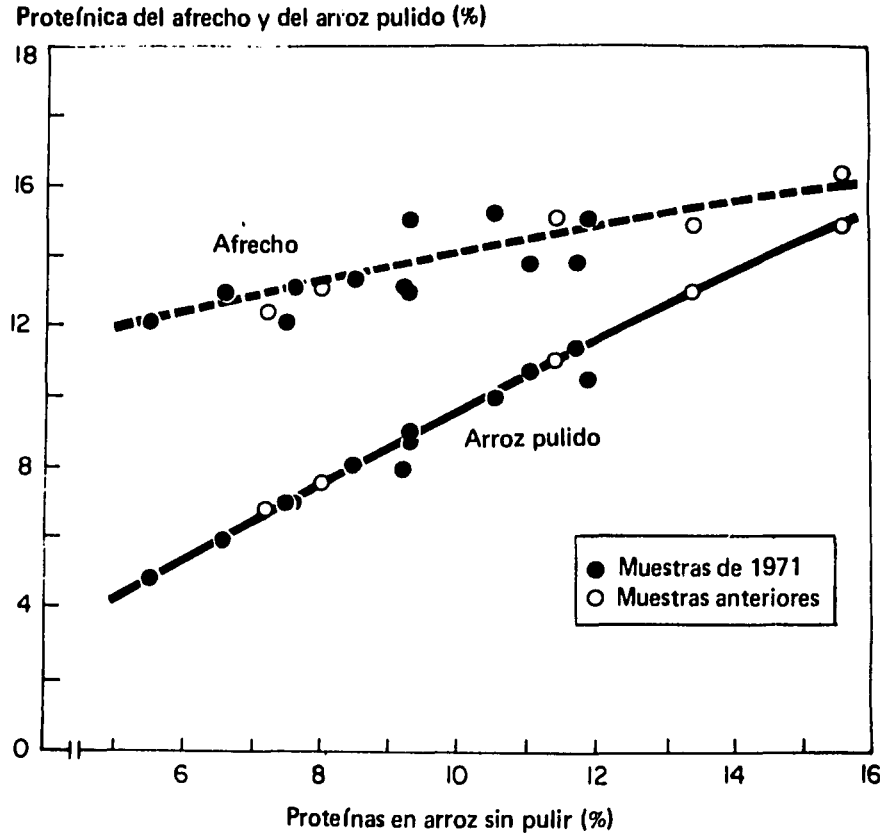


FIGURA 3 Relación entre contenido de proteína en arroz sin pulir y sus fracciones pulidas a 10 ± 1% (por peso) de eliminación del afrecho (15).

capa de aleurona del arroz sin pulir no necesariamente se incrementa al aumentar la proteína. La molienda eliminó en realidad menos de una capa de células del endosperma del arroz IR-480-5-9 sin pulir.

Aunque un aumento de 3 y 4% del contenido de proteína puede afectar adversamente el color del grano (22), los estudios preliminares con linajes derivados de la misma cruza pero que difirieron en el contenido de proteína, indican que un incremento de 2% en la proteína no necesariamente aumenta el grado de color del arroz cocido (tabla 3) (15). Se ha encontrado que el arroz pulido de IR-480-5-9 con 9% de proteína tiene grados de color y textura semejantes a los de las variedadeds que contienen 7% de proteína. El arroz con alto contenido de proteína toma más tiempo de cocción (22) y tiende a ser más resistente a la desintegración cuando se sobrecuece, que el arroz que tiene un contenido normal de proteína, dado que en estos procesos la proteína del arroz, siendo muy insoluble en el agua, actúa como una barrera física.

TABLA 3 Calificaciones medias dadas por un panel de palatabilidad de laboratorio al arroz pulido y cocido de linajes de dos cruzas que diferían en su contenido de proteína

Linaje	*Proteína (% de N X 5.95 a 14% de humedad)*	*Amilosa (% sobre base seca)*	*Calificaciones medias del panel de palatabilidad*[a]			
			Suavidad	*Cohesión*	*Color*	*Brillo*
IR-1100-185-7[b]	8.9	26.2	5.2	4.0	2.2	4.0
IR-1100-89-2[b]	10.9	23.1	4.5	3.2	2.2	4.0
IR-1103-64-4[c]	8.6	27.1	4.7	3.7	2.2	4.3
IR-1103-15-8[c]	11.4	25.2	3.5	2.0	1.8	3.7
IR-1103-15-9[c]	12.7	25.0	3.2	2.0	1.5	3.3
DMS (5%)	–	–	1.6	1.4	1.3	1.3

Fuente: International Rice Research Institute (15).

[a] Calificación media de un panel de seis miembros. La calificación numérica fue de 1 a 9; 1 representó la menor expresión de la propiedad en cuestión y 9 la máxima expresión.

[b] IR-8 X Rikuto Norin 20.

[c] IR-8 X Chow-sung.

Composición de la proteína

Un gran incremento en el contenido de proteína da como resultado mayores niveles de glutelina y prolamina en el arroz sin pulir (5, 16) y un aumento menor, pero significativo, en albúmina (15). La razón de las fracciones proteínicas pudieran no cambiar mucho con un aumento de 2% en el contenido de proteína, y el contenido de lisina de la proteína pudiera no disminuir en más de 0.3% (4). Por ejemplo, el arroz pulido de IR-480-5-9 con 8.2% de proteína tiene 3.8 de lisina 16.8 g de N y otra muestra con 11.2% de proteína tiene 3.5 de lisina 16.8 g de N. En efecto, el contenido de lisina del arroz sin pulir es esencialmente constante arriba del 10% de proteína, en contraste con la relación negativa entre los contenidos de lisina y proteína, abajo del 10% de proteína (fig. 4) (15). Se supone que el aumento del contenido de albúmina contrarresta los efectos del aumento de prolamina sobre el nivel de lisina de la proteína del arroz.

Valor nutritivo

Las pruebas de alimentación con ratas (tabla 4) (4) y con humanos (7) confirmaron la superioridad nutricional del arroz de alto contenido proteínico merced a los mayores niveles de todos los aminoácidos esenciales, inclusive lisina, en el arroz pulido (4, 7). La digestibilidad de la proteína en ratas (11) y en humanos (7) no fue afectada adversamente por el mayor contenido de proteína del arroz pulido. Estos estudios muestran que un aumento de 2% en la proteína del arroz pulido mejora la ingestión de proteína de las regiones tropicales de Asia en por lo menos 10%, en el caso de niños en crecimiento y adultos (sobre la base de 40% de la proteína proveniente del arroz), y en un 25% en niños destetados que se alimentan principalmente con atole de arroz. Este incremento reducirá

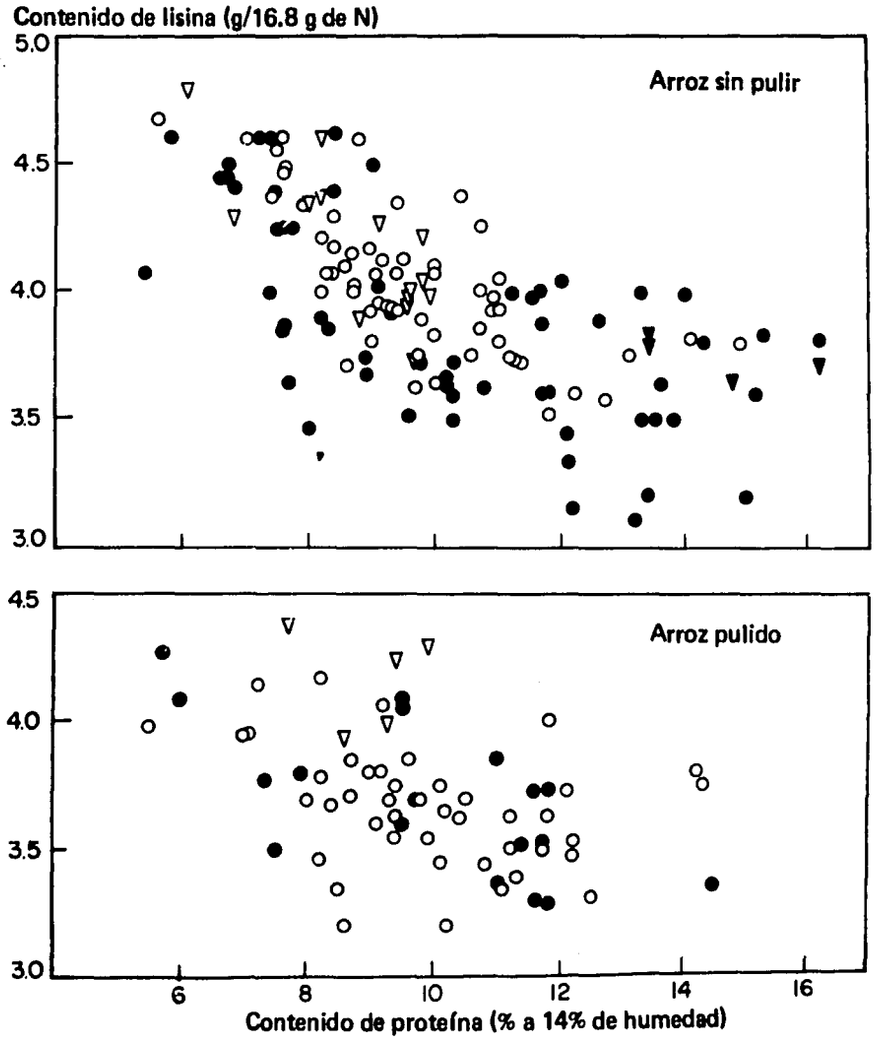


FIGURA 4 Relación entre contenido de proteína y contenido de lisina de la proteína de arroz sin pulir y pulido (15). Círculos, muestras de 1971; círculos sombreados, muestras anteriores; triángulos, muestras con alto contenido de lisina; triángulos, muestras de IRB-100.

definitivamente la deficiencia proteínica de los pueblos cuyo principal alimento es el arroz. Además, el contenido de tiamina del arroz pulido también aumenta al incrementarse la proteína (15).

TABLA 4 Resumen de los índices de calidad proteínica para cuatro muestras de arroz pulido en base a la ganancia en peso de ratas blancas

			0 a 5% de proteína dietética		*Datos de crecimiento neto*	
Variedad	*Contenido de proteína (% de N X 5.95)*	*Contenido de lisina (gr/16.8 gr de N)*	*Calidad relativa (%)*[a]	*Proteína aprovechable (%)*[b]	*Calidad relativa (%)*[a]	*Proteína aprovechable (%)*[b]
Intan	5.7	4.3	80	4.6	47	2.7
IR-8	7.3	3.8	75	5.5	46	3.4
IR-8	9.7	3.7	71	6.9	43	4.2
BPI-76-I	14.3	3.4	57	8.2	42	6.0

Fuente: Bressani *et al* (4).

[a] Sobre la base de 75 para caseína.

[b] Calidad relativa X contenido de proteína/100.

METABOLISMO DEL NITROGENO

En contraste con los resultados de Miller y Mikkelson (24) con el arroz, y de Schweizer y Ries (31) con otros cereales, nuestros estudios indicaron que el nivel de proteína de la semilla no tiene un efecto consistente sobre el peso y contenido de nitrógeno de plántulas de arroz de un mes de edad sembradas en suelo común (14, 15). Los estudios de campo efectuados en el IRRI durante la estación seca de 1972 mostraron que los arroces con alto rendimiento de proteína en el grano, translocaron más nitrógeno de las láminas foliares a los granos en desarrollo que los arroces con un rendimiento promedio de proteína, independientemente del contenido de proteína del grano (29). Cagampang y sus colaboradores (6) encontraron que el arroz con alto rendimiento de proteína en el grano tenía más aminoácidos libres en la savia circulante que se recogió del tallo de plantas en el estado lechoso medio. Puesto que se recogieron volúmenes semejantes de savia en los pares de linajes estudiados (6), se supone que el arroz con alto rendimiento de proteína en el grano tiene tasas de translocación de savia semejantes a las de los arroces con rendimiento normal de proteína, pero la savia contiene más aminoácidos.

Los granos en desarrollo (estado lechoso medio) de IR-480-5-9 tuvieron un mayor nivel de proteína soluble y de nitrógeno amino libre, y una mayor capacidad de incorporación de amioácidos que los granos de IR-8 (29). Este hallazgo concuerda con nuestros resultados anteriores con otras variedades de arroz (8). Así la tasa de translocación de nitrógeno de las láminas foliares a los granos en desarrollo está directamente relacionada con el rendimiento de proteína del grano, pero la tasa de acumulación de proteína en los granos en desarrollo se relaciona directamente con el porcentaje de proteína del grano (29).

INVESTIGACION PARA ENCONTRAR VARIEDADES DE ARROZ CON MAYOR CONTENIDO DE LISINA

Variabilidad de la lisina

Algunos autores han informado de la existencia de variedades de arroz con alto contenido de lisina (32). Aunque las encuestas de consumo (1) y las pruebas de alimentación con niños de edad preescolar (3) indican que la lisina no es el aminoácido esencial primordialmente limitante en las dietas de arroz, la lisina sí podría ser el aminoácido esencial limitante en las dietas de arroz en las cuales el arroz con alto contenido de proteína reemplaza al arroz con contenido normal de proteína. Un arroz con alto contenido de lisina puede beneficiar a infantes destetados que se alimentan principalmente con atole de arroz. Sin embargo, una dieta infantil así carecería aún de las calorías y las proteínas necesarias para lograr una nutrición adecuada (12). Un arroz con alto contenido de lisina puede usarse para mejorar el contenido de lisina de arroces de alta proteína promisorios, como el IR-480-5-9. Los estudios preliminares indican que el contenido de lisina puede variar en no más de 0.5 gramos por 16.8 gramos de nitrógeno del valor medio a cualquier nivel de proteína (fig. 4) (15). Muestras de 11 especies silvestres de *Oryza* y dos híbridos interespecíficos tienen aminogramas semejantes a los del arroz cultivado (13). Aún las muestras de los mutantes por radiación gamma de IRB-100 del Institute of Radiation Breeding de Ohmiya, Japón, que se reportó tenían un alto contenido de lisina (32), mostraron contenidos medios de lisina de 3.6 a 3.9 gramos por 16.8 gramos de nitrógeno en arroz sin pulir (15).

Separación selectiva e identificación de arroz con alto contenido de lisina

Para verificar la constancia del contenido de lisina en arroz, se estudió la capacidad de absorción del colorante (DBC) de 10 493 variedades de la colección mundial del IRRI. El DBC es un buen índice del contenido de lisina de la proteína del arroz sin pulir (15). El colorante Acilane Naranja G se une específicamente con los aminoácidos básicos (27) y solamente la lisina cambia con el nivel de proteína en la proteína del arroz (6, 14, 15). Una disminución en el declive de DBC como una función del contenido de proteína ocurrió arriba del 10% de proteína, lo cual refleja el cambio en la relación entre el contenido de lisina y el nivel de proteína a 10% de proteína (fig. 4).

Treinta y ocho variedades mostraron valores de DBC más altos que la media a sus niveles particulares de proteína. Estas se analizaron con respecto a su contenido de lisina mediante del método de cromotografía de intercambio iónico con *S*-β-(piridiletil)-L-cisteína como estándar (15). De estas 38 variedades, sólo dos variedades en dos cultivos tuvieron contenidos de lisina 0.5 g 116 g de N superiores al valor de la media (fig. 4). De aquí que, potencialmente, el contenido de lisina se puede aumentar solamente 0.5 gramos por 16.8 gramos de nitrógeno. El análisis de la lisina es complicado por la variación en su contenido

dentro de una variedad a un nivel particular de proteína de 0.3 gramos por 16.8 gramos de nitrógeno. Además nuestra diferencia mínima significativa (5%) para el contenido de lisina es 0.3 gramos por 16.8 gramos de nitrógeno. Los dos arroces con mayores niveles de lisina, ARC-10525 y Kolamba 45, tuvieron cuerpos proteínicos de menor tamaño medio (1.7 a 2.0 μm), en contraste con 2.3 a 2.8 μm para otros arroces con contenido normal de lisina, según las mediciones con microscopía de luz (15). Se estudian ahora, sobre la base de plantas individuales mediante la técnica DBC, variantes de estas dos variedades con por lo menos 1 g 16.8 de N más de lisina que el valor promedio para la proteína del arroz.

Esta investigación se realizó gracias al auspicio de los National Institute of Health, E.U.A., por medio de Contract No. PH-43-67-726, del 10 de abril, 1967, al 9 de mayo, 1973, y al financiamiento de la Fundación Rockefeller, del 1o. de julio, 1966, al 9 de abril, 1967.

BIBLIOGRAFIA

1. Autret, M., J. Périssé, F. Sizaret y M. Cresta. 1968. Protein value of different types of diet in the world: their appropriate supplementation. Nutr. Newslett., FAO, 6(4):1-29.
2. Beachell, H. M., G. S. Khush y B. O. Juliano. 1972. Breeding for high protein content in rice. *En* Rice breeding, Intern. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines, págs. 419-428.
3. Begum, A., A. N. Radhakrishnan y S. Pereira. 1970. Effect of amino acid composition of cereal-based diets on growth of preschool children. Amer. J. Clin. Nutr., 23:1175-1183.
4. Bressani, R., L. G. Elias y B. O. Juliano. 1971. Evaluation of the protein quality of milled rices differing in protein content. J. Agr. Food Chem., 19:1028-1034.
5. Cagampang, G. B., L. J. Cruz, S. G. Espiritu, R. G. Santiago y B. O. Juliano. 1966. Studies on the extraction ánd composition of rice proteins. Cereal Chem., 43:145-153.
6. Cagampang, G. B., L. J. Cruz y B. O. Juliano. 1971. Free amino acids in the bleeding sap and the developing grain of the rice plant. Cereal Chem., 48:533-539.
7. Clark, H. E., J. M. Howe y C. J. Lee. 1971. Nitrogen retention of adult human subjects who consumed a high protein rice. Amer. J. Clin. Nutr., 24:324-328.
8. Cruz, L. J., G. B. Cagampang y B. O. Juliano. 1970. Biochemical factors affecting protein accumulation in the rice grain. Plant Physiol., 46:743-747.
9. De Datta, S. K., W. N. Obcemea y R. K. Jana. 1972. Protein content of rice grain as affected by nitrogen fertilizer and some triazines and subtituted ureas. Agron. J., 64:785-788.
10. Del Rosario, A. R., V. P. Briones, A. J. Vidal y B. O. Juliano. 1968. Composition and endosperm structure of developing and mature rice kernel. Cereal Chem., 45:225-235.
11. Eggum, B. O. 1969. Evaluation of protein quality and the development of screening techniques. *En* New aproaches to breeding for improved plant protein. Intern. At. Energy Agency, STI Publ. 12, Viena, págs. 125-135.
12. Hegsted, D. M. 1969. Nutritional value of cereal products in relation to human needs. *En* M. Milner (ed.), Protein-enriched cereal foods for world needs. Amer. Assn. Cereal Chemists, St. Paul, Minn., págs. 38-48.
13. Ignacio, C. C. y B. O. Juliano. 1968. Physicochemical properties of brown rice from Oryza species and hybrids. J. Agr. Food Chem., 16:125-127.
14. International Rice Research Institute. 1971. Ann. Rept. 1970. Los Baños, Philippines. pág. 265.
15. International Rice Research Institute. 1972. Ann. Rept. 1971. Los Baños, Philippines. pág. 238.

16. Juliano, B. O. 1967. Physicochemical studies of rice starch and protein. Intern. Rice Comm. Newslett., Spec. Issue: 93-105.
17. Juliano, B. O. 1972. Physicochemical properties of starch and protein in relation to grain quality and nutritional value of rice. *En* Rice breeding. Intern. Rice Res. Inst., Los Baños, Philippines, págs. 389-405.
18. Juliano, B. O. 1972. The rice caryopsis and its composition. *En* D. F. Houston (ed.), Rice: chemistry and technology. Amer. Assn. Cereal Chemists, St. Paul, Minn., págs. 16-74.
19. Juliano, B. O. 1972. Studies on protein quality and quantity of rice. *En* G. E. Inglett (ed.), Symposium: seed proteins. Avi Publishing Co., Westport, Conn., págs. 114-125.
20. Juliano, B. O., E. L. Albano y G. B. Cagampang. 1964. Variability in protein content, amylose content, and alkali digestibility of rice varieties in Asia. Philippine Agriculturist, 48:234-241.
21. Juliano, B. O., C. C. Ignacio, V. M. Panganiban y C. M. Pérez. 1968. Screening for high protein rice verieties. Cereal Sci. Today, 13:299-301, 313.
22. Juliano, B. O., L. U. Oñate y A. M. del Mundo. 1965. Relation of starch composition, protein content, and gelatinization temperature to cooking and eating qualities of milled rice. Food Technol., 19:1006-1011.
23. Mertz, E. T., L. S. Bates y O. E. Nelson. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increases lysine content of maize endosperm. Science, 145:279-280.
24. Miller, M. D. y D. S. Mikkelsen. 1970. 1969 rice seed protein studies. Rice J., 73(7):38-42.
25. Mitsuda, H., K. Murakami, T. Kusano y K. Yasumoto. 1969. Fine structure of protein bodies isolated from rice endosperm. Arch. Biochem. Biophys., 130:678-680.
26. Mitsudia, H., K. Yasumoto, K. Murakami, T. Kusano y H. Kishida. 1967. Studies on the proteinaceous subcellular particles in rice endosperm: electromicroscopy and isolation. Agr. Biol. Chem. Tokyo, 31:293-300.
27. Mossberg, R. 1969. Evaluation of protein quality and quantity by dye-binding capacity: a tool in plant breeding. *En* New approaches to breeding for improved plant protein. Intern. At. Energy Agency, STI/Publ. 212, Viena, págs. 151-160.
28. Palmiano, E. P., A. M. Almazán y B. O. Juliano. 1968. Physicochemical properties of protein of developing and mature rice grain. Cereal Chem., 45:1-12.
29. Pérez, C. M., G. B. Cagampang, B. V. Esmama, R. U. Monserrate y B. O. Juliano. 1972. Protein metabolism in leaves and developing grains of rices differing in grain protein content. Plant Physiol (suppl.), 49:34 (abstr.).
30. Sato, K. 1971. The development of rice grains under controlled environment. II. The effects of temperature combined with air humidity and light intensity during ripening on grain development. Tohoku J. Agr. Res., 22:69-79.
31. Schweizer, C. J. y S. K. Ries. 1969. Protein content of seeds: increase improves growth and yield. Science, 165:73-75.
32. Tanaka, S. y S. Tamura. 1968. A short report on gamma ray induced rice mutants having high protein content. Japan Agr. Res. Quart., 13(13):32-35.
33. Tecson, E. M. S., B. V. Esmama, L. P. Lontok, y B. O. Juliano. 1971. Studies on the extraction and composition of rice endosperm glutelin and prolamin. Cereal Chem., 48:168-181.

HETEROSIS OBSERVADA EN HIBRIDOS OPACO-2 CON RESPECTO AL RENDIMIENTO Y A LOS COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

I. Kovács*

Los estudios consignados aquí se realizaron sobre la heterosis observada con respecto al rendimiento y los componentes del rendimiento en diferentes tipos de híbridos opaco-2 con progenitores genéticamente parecidos de algún modo. [El autor publicó recientemente un resumen de sus evaluaciones de investigaciones similares con maíz normal (1).] La discusión se centra en los principales resultados de la medida de la heterosis en varios híbridos de cruzamiento simple entre opacos y un híbrido de distintas variedades de opaco.

MATERIALES Y METODOS

Se autofecundaron por cinco generaciones las variedades de polinización libre Illinois Syn Ao_2, Illinois Syn Bo_2 e $IHPo_2$, y se realizó una selección con respecto a las características más importantes. De estas selecciones, se seleccionaron 28 líneas opacas endocriadas, las cuales se cruzaron con dos probadoras endocriadas: Syn B 6-26 o_2 e IHP 1-1 o_2. Durante el año 1971 en Martonvásár se examinaron individualmente 40 plantas de cada híbrido opaco-2 con respecto a las características de la mazorca y su madurez. De las 28 líneas autofecundadas desarrolladas a partir de Syn A, 18 pertenecían a Syn A 3, siete a Syn A 4 y tres a Syn A 5. La heterosis se expresó como *índice de heterosis,* razón del valor observado en el híbrido con valor promedio de sus progenitores.

* Agricultural Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár, Hungría.

TABLA 1 Indice promedio de heterosis en los componentes del rendimiento y en el rendimiento de 56 híbridos opacos producidos mediante cruzamientos con los linajes de prueba Syn B 6-26 e IHP 11.

Genealogía	*1*	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Indice de heterosis de 28 linajes X Syn B6-26	149.4	99.1	121.7	114.2	118.2	103.4	229.7	95.0
Indice de heterosis de 28 linajes opacos X IHP 1-1	138.8	107.6	116.4	124.3	110.6	107.3	217.2	97.5
Indice medio de heterosis	144.1	103.4	119.1	119.2	114.4	105.4	223.4	96.2

Notas: 1, longitud de mazorca (cm); 2, número de hileras; 3, número de granos por hilera; 4, longitud del grano (mm); 5, peso de 1000 granos (g); 6, porcentaje de desgrane; 7, rendimiento por planta (g); 8, días para la floración.

RESULTADOS Y EXAMEN

La tabla 1 resume el índice promedio de heterosis del rendimiento y de los componentes del rendimiento en los 56 cruzamientos simples con opacos producidos en las probadoras Syn B 6-26 e IHP 1-1. Los datos muestran que la heterosis de varios componentes del rendimiento varió en los híbridos opacos de cruzamiento simple estudiados. El índice promedio de heterosis fue mayor para la longitud de la mazorca (144.1%) seguido de 119.2% para la longitud del grano, 119.1% para el número de granos por hilera y 114.4% para el peso por cada 1000 granos. De todos los componentes, el número de hileras por mazorca tuvo el menor índice de heterosis (103.4%). El índice promedio de heterosis por precocidad (96.2%) no fue muy grande. Bajo las condiciones estudiadas los híbridos fueron solamente 3.8% (tres a cuatro días) más precoces que los progenitores.

La tabla 2 muestra los rendimientos de híbridos producidos en dos probadoras. Curiosamente, el comportamiento genético de los linajes sometidos a prueba fue esencialmente el mismo en ambas probadoras. Los rendimientos de Syn A 3-30, Syn A 3-41, Syn A 3-37 y Syn A 3-34 fueron excelentes: prácticamente 1 kg de grano por metro cuadrado de superficie. Se han reportado rendimientos semejantes de grano en los mejores híbridos normales.

Los datos de la tabla 2 también muestran diferencias considerables en el valor de los híbridos de las sublíneas Syn A 3, Syn A 4 y Syn A 5. El comportamiento de los híbridos producidos a partir de las sublíneas Syn A 3 es especialmente interesante. El rendimiento más bajo de estos híbridos fue de 85.4% de la media, y el más alto de 118.9%, una diferencia de 33.5%. La habilidad de combinación específica de las sublíneas Syn A 4 tuvo una tendencia similar. En este grupo, el rendimiento más bajo fue 85.4% de la media y el más alto fue 112.2%, una diferencia de 26.8%. Según estos resultados, los linajes sometidos a prueba parecen poseer diferentes valores genéticos, como fue el caso de las líneas endocriadas normales (2).

La relación entre los comportamientos de los híbridos producidos sobre las dos probadoras se muestra en la tabla 1; el coeficiente de correlación fue $r = 0.7444$, significativo al nivel de 0.1%.

TABLA 2 Rendimiento de 56 híbridos opacos producidos con los linajes de prueba Syn B 6-26 e IHP 1-1

No.	*Linajes*	*Rendimiento por planta (g)*		*Promedio*	*Rendimiento en porcentaje de la media*
		Syn B 6-26	*IHP 1-1*		
1	Syn A 3-8	235.0	187.5	211.2	102.0
2	Syn A 3-11	205.0	193.7	201.2	97.2
3	Syn A 3-12	222.5	193.7	208.1	100.5
4	Syn A 3-13	206.2	192.5	199.4	96.3
5	Syn A 3-17	180.0	173.7	176.8	85.4
6	Syn A 3-18	208.7	180.6	194.6	94.0
7	Syn A 3-19	173.7	162.5	168.1	81.2
8	Syn A 3-25	210.0	187.5	198.8	96.0
9	Syn A 3-27	212.5	197.5	205.0	99.0
10	Syn A 3-28	235.0	218.7	226.8	109.5
11	Syn A 3-30	232.4	260.0	246.2	118.9
12	Syn A 3-32	233.7	216.2	225.0	108.6
13	Syn A 3-34	233.7	245.0	239.4	115.6
14	Syn A 3-35	217.5	213.7	215.6	104.1
15	Syn A 3-37	255.0	233.7	244.4	118.0
16	Syn A 3-38	225.6	219.3	222.4	107.4
17	Syn A 3-41	263.7	228.7	246.2	118.9
18	Syn A 3-43	261.2	205.0	233.1	112.6
19	Syn A 4-2	261.2	203.7	232.4	112.2
20	Syn A 4-3	196.2	170.0	183.1	88.4
21	Syn A 4-4	181.2	172.5	176.8	85.4
22	Syn A 4-5	193.7	165.6	179.6	86.7
23	Syn A 4-8	212.5	181.2	196.8	95.0
24	Syn A 4-13	207.5	186.2	196.8	95.0
25	Syn A 4-14	191.2	163.7	177.4	85.6
26	Syn A 5-1	200.0	191.2	195.6	94.4
27	Syn A 5-4	221.2	203.7	212.4	102.6
28	Syn A 5-5	196.2	177.5	186.8	90.2
	Media	216.9	197.3	207.1	

También se estudió la heterosis para el rendimiento y los componentes del rendimiento en un híbrido de variedades opaco-2. Este híbrido se produjo cruzando Syn A o_2 con Syn B o_2. La tabla 3 muestra el rendimiento y los componentes del rendimiento en las variedades progenitoras y sus híbridos. Esta tabla consigna un descanso en el índice de heterosis de todos los componentes del rendimiento y del rendimiento de grano, comparado con el índice de heterosis de los cruzamientos simples de opaco-2. En comparación con los índices medios de heterosis en la tabla 1, la longitud de la mazorca disminuyó en 32.5%, el número de hileras un 2.6%, el número de granos por hilera un 16.6%, la longitud del grano un 9.5%, el peso de 1 000 granos en un 3.6% y el porcentaje de desgrane en un 4.5%. Sin embargo, el índice de heterosis para el rendimiento decreció en un 144.1%, debido, probablemente, a la habilidad de rendimiento normal de las variedades progenitoras.

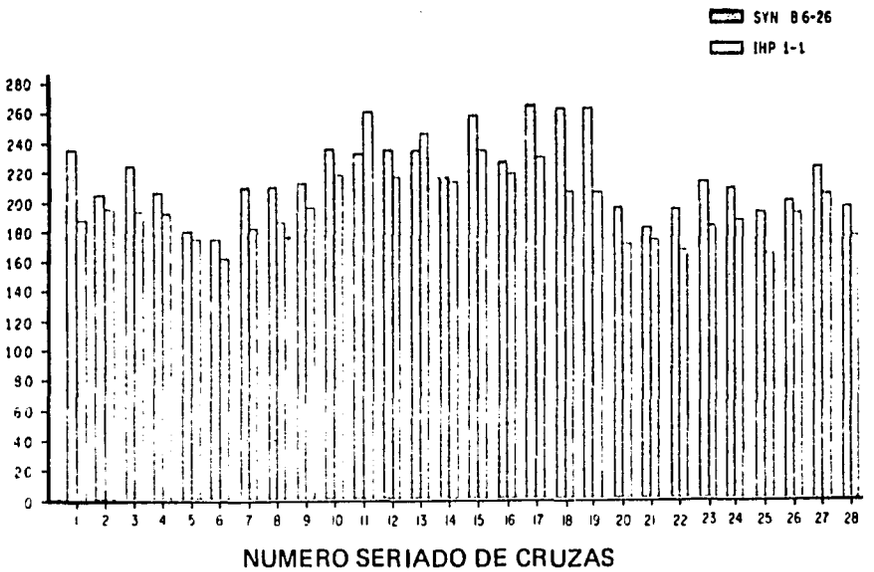


FIGURA 1 Relación del rendimiento de 56 híbridos producidos con los linajes probadores Syn B 6-26 e IHP 1-1.

La tabla 3 muestra también que la combinación de Syn A X Syn B rindió cerca de un 10% más que el promedio de los progenitores. Una situación semejante se presentó en los resultados de los Ensayos Nacionales de Rendimiento (3): en siete estaciones experimentales, Syn A X Syn B produjo un rendimiento de grano promedio de 6 860 kg/ha. Syn A. rindió 6 010 kg/ha.

TABLA 3 Componentes del rendimiento y rendimiento del híbrido varietal opaco producido con Syn A y Syn B

Genealogía	1	2	3	4	5	6	7	8
Syn A X Syn B	23.4	18.5	42.8	8.5	260.5	83.8	198.7	84
Syn A	20.0	18.9	40.5	8.0	238.5	83.5	181.2	83
Syn B	22.0	17.8	43.0	7.5	231.5	82.6	182.5	86
Indice de heterosis	111.4	100.8	102.5	109.7	110.8	100.9	109.3	99.4

Notas: 1, longitud de mazorca (cm); 2, número de hileras; 3, número de granos por hilera; 4, longitud del grano (mm); 5, peso de 1000 granos (g); 6, porcentaje de desgrane; 7, rendimiento por planta (g); 8, días para la floración.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

La evaluación de heterosis en los linajes endocriados de opaco-2 semejante a los endocriados normales, es parte del desarrollo combinado en nuestro programa de mejoramiento. Como una continuación de estudios anteriores, los resultados presentes se pueden resumir como sigue:

1. El índice de heterosis del rendimiento y de los componentes del rendimiento varió en los híbridos opaco-2 estudiados. El índice mayor de heterosis en los componentes del rendimiento fue la longitud de la mazorca; 144.1% en cruzamientos simples y 111.4% en el cruzamiento de las variedades. El número de hileras mostró el índice de heterosis más pequeño: 103.4% para cruzamientos simples y 100.8% para el cruzamiento de las variedades. De todos los factores estudiados, el rendimiento del grano mostró el índice máximo de heterosis. El índice promedio de heterosis de las líneas progenitoras fue de 223.4%, mientras que los híbridos de las variedades de opaco-2 tuvieron un índice promedio de 109.3%.

2. Existen diferencias notables en los valores de los híbridos o habilidades de combinación específica en las sublíneas de Syn A 3, Syn A 4 y Sin A 5. Las mejores de éstas fueron Syn A 3-30, Syn A 3-41, Sin A 3-37 y Syn A 3-34. Los otros sublinajes se pueden utilizar para desarrollar cruzas homocigotas (linaje o_2 X linaje o_2) y con nuestro procedimiento recientemente desarrollado para los híbridos heterocigotos (linaje normal X linaje o_2 X linaje o_2).

3. La relación entre el comportamiento de los híbridos producidos a partir de las dos probadoras muestra un coeficiente de correlación de $r = 0.7444$, significativo al nivel de 0.1%.

4. El cruzamiento de Syn A X el Syn B, híbrido de variedades opaco-2 en siete estaciones experimentales de Ensayos Nacionales de Rendimiento (National Yield Trials) efectuados durante 1970 produjo un rendimiento promedio de grano de 6 860 kg/ha.

BIBLIOGRAFIA

1. Kovács, I. 1970. Study of heterosis of the yield components in hybrids of different types. *En* Some methodological achievements of the Hungarian hybrid maize breeding. Akadémiai Kiadó, Budapest, págs. 217-228.
2. Kovács, I. 1970. Variation of combining ability in populations of long-time inbred lines. *En* Some methodological achievements of the Hungarian hybrid maize breeding. Akadémiai Kiadó, Budapest, págs. 127-146.
3. Váczi, D. 1972. Opaque kukoricák vizsgálata a fajtakisérletekben. 1970. (Opaque maize variety trials, 1970). *En* 1970 évi Országos Fajtakisérletek, págs. 243-262.

CALIDAD PROTEINICA Y VALOR NUTRITIVO DEL MAIZ DE ALTO CONTENIDO DE LISINA (Informe breve)

V. G. Ryadchikov*

La mayor calidad proteínica del maíz opaco-2, en comparación con la del maíz normal, se atribuye a cambios significativos en las proporciones de las fracciones de proteína (1-6). Estos cambios son acompañados por un incremento en las proporciones de algunos aminoácidos esenciales: los niveles de lisina aumentan de un 50% a un 70%, y los niveles de triptófano de un 40 a un 50%. Tanto la arginina como el ácido aspártido muestran incrementos de un 15 a un 20% por encima de los niveles del maíz normal.

Sin embargo, algunos otros aminoácidos disminuyen considerablemente; el contenido de leucina del maíz opaco-2 baja de un 7 a un 8% comparado con el 13 o 14% del maíz normal. El contenido de ácido glutámico es de 15%, con respecto a un 20 ó 21%, y los contenidos de tirosina y de fenilalanina son de 3 contra un 4 o 5% en la proteína del maíz normal.

ENSAYOS DE ALIMENTACION CON LECHONES

Los estudios realizados por el Instituto de Investigaciones Agrícolas de Krasnodar sobre el mejoramiento de los híbridos opaco-2 están siendo supervisados por M. I. Hadjinov. En el período 1969-70 se evaluó la eficiencia del maíz opaco-2 en la alimentación de los cerdos bajo condiciones de producción comercial en las granjas del área de Krasnodar. La evaluación consistió en un procedimiento único que incorporaba diversos diseños (7).

* Laboratorio de Calidad Proteínica, Instituto de Investigaciones Agrícolas, Krasnodar, URSS.

TABLA 1 Eficiencia del maíz con alto contenido de lisina en la alimentación de lechones (de 25 a 100 kg) a base de dietas con diferentes niveles proteínicos (datos resumidos de las granjas del área de Krasnodar)

Grupo	*Composición de las dietas*	*Proteína en la dieta (%)*	*Promedio diario de ganancia en peso*		*Eficiencia del alimento*		*Eficiencia proteínica*	
			Gramos	*% de control*	*kg alim./ kg gan.*	*% de control*	*g proteína/ g ganancia*	*% de control*
1	Maíz opaco-2 (77%), aceite de girasol (8%), chícharo (7%), harina de alfalfa (4%), levadura (1.7%), mezcla mineral (2.3%)	15.0	544	105	4.83	94	725	94
2	*Dieta testigo*: maíz normal (77%), los otros componentes son los mismos que en el grupo 1.	15.0	519	100	5.16	100	774	100
3	Maíz opaco-2 (85%), aceite de girasol (3%); chícharo (3%), harina de alfalfa (4%), levadura (2%), mezcla mineral (4%)	12.5	522	111	4.99	87	624	87
4	*Dieta testigo:* maíz normal (85%) los otros componentes son los mismos que en el grupo 3.	12.5	469	100	5.75	100	719	100
5	Maíz opaco-2 (91%), levadura (2.3%), harina de alfalfa (4%), mezcla mineral (2.7%)	11.0	522	128	5.42	86	596	86
6	*Dieta testigo:* maíz normal (91%), los otros componentes son los mismos que en el grupo 5.	11.0	408	100	6.28	100	691	100
7	Maíz opaco-2 (93%), harina de alfalfa (4%), mezcla mineral (3%)	10.0	430	193	5.87	66	587	66
8	*Dieta testigo:* maíz normal (93%); los otros componentes son los mismos que en el grupo 7	10.0	223	100	8.88	100	888	100

Nota: Todas las dietas se enriquecieron con vitamina B_{12} (25 mg) y con vitamina D_2 (200 IU) por kg de alimento.

La tabla 1 resume los datos de los ensayos de alimentación para lechones. Bajo condiciones extremas, la ganancia diaria de peso de los cerdos alimentados con maíz opaco-2 con 10% de proteína fue de aproximadamente el doble (430 contra 223 g) que la de los cerdos alimentados con maíz normal. La eficiencia del alimento (kilos de alimento por kilos de ganancia) fue de 5.87 contra 8.88 kg del maíz normal. Los ensayos indicaron que el opaco-2 podía constituir una dieta que produjera una calidad de carne en canal igual a la de las dietas del maíz normal, pero con un ahorro del 20 al 24% de proteína que se suministraba con maíz normal.

En los experimentos fisiológicos con lechones Landrace (33 kg) los factores estudiados fueron: niveles de digestibilidad, retención de nitrógeno, disponibilidad de lisina, contenido de aminoácidos libres en el plasma sanguíneo (tanto con alimento racionado como con alimentación "ad libitum"), y las dietas a base de grano opaco-2 y de grano de maíz normal con suplementos de vitaminas, microelementos minerales y macroelementos. Después de veinte días de alimentación con maíz se alimentó a los animales con dietas sin proteínas durante siete días para determinar la excreción de nitrógeno endógeno (heces y orina). Los coeficientes de digestibilidad aparente, retención de nitrógeno y disponibilidad de lisina en el maíz opaco-2 fueron mucho más altos que los obtenidos en el maíz normal para los dos tipos de alimentación (racionado y "ad libitum"). Sin embargo, si se consideran las excresiones endógenas en sus expresiones verdaderas, estos datos no fueron esencialmente diferentes para los dos tipos de grano de maíz (tabla 2).

Cuando se alimentan los cerdos con la proteína desbalanceada del maíz normal, las pérdidas esenciales de nitrógeno endógeno se pueden atribuir al mayor gasto metabólico de proteínas y aminoácidos para la digestión y a la absorción y síntesis de la proteína del cuerpo. Esta explicación se apoya en las pruebas de la concentración de aminoácidos libres en las muestras de plasma sanguíneo tomadas de los cerdos en ayunas; las concentraciones en el caso de los cerdos alimentados con dietas de maíz opaco-2 no fueron significativamente diferentes a las de los cerdos alimentados con maíz normal. Por ejemplo, con el tratamiento de consumo racionado, el nivel de lisina en el plasma en el caso del maíz normal fue de 1.89 mg%; en el del maíz opaco-2 fue de 2.12 mg%; en el tratamiento de alimentación "ad libitum", el nivel de lisina en el plasma fue de 0.68 mg% en el caso del maíz normal y de 0.77 mg% en el del maíz opaco-2.

La cantidad total de aminoácidos en el plasma fue 35.66 mg% en los cerdos alimentados con maíz opaco-2 y 31.25 mg% en el caso del maíz normal (consumo racionado). En el tratamiento de alimentación "ad libitum" la cantidad total de aminoácidos en el plasma fue de 26.83 mg% en el caso del maíz opaco-2 y de 26.16 mg% en el caso del maíz normal.

EXPERIMENTOS CON RATAS

En otros dos experimentos se alimentó individualmente a un grupo de ratas machos recién destetados (48 g) de un linaje endocriado Wistar con una dieta semisintética semejante en contenido de aminoácidos al maíz normal. Se hizo un análisis de la eficiencia al aumentar o disminuir aminoácidos, con niveles de

TABLA 2 Coeficiente de digestión, retención de nitrógeno y disponibilidad de lisina en cerdos alimentados con maíz normal y con maíz opaco-2

		Tratamiento			
		Racionado		*Ad libitum*	
Detalle	*Unidad*	*Opaco-2*	*Normal*	*Opaco-2*	*Normal*
Coeficiente de digestión de N					
Aparente	%	82.1 ± 1.1	77.7 ± 2.5	79.1 ± 1.4	71.8 ± 5.22
Verdadero	%	89.4 ± 1.0	87.7 ± 3.1	84.6 ± 1.6	82.4 ± 5.3
Disponibilidad de lisina					
Aparente	%	83.7 ± 2.3	78.5 ± 1.2	87.9 ± 0.3	77.9 ± 1.4
Verdadero	%	89.0 ± 1.4	88.7 ± 0.8	92.5 ± 0.5	90.1 ± 0.6
N retenido/N absorbido					
Aparente	%	56.0 ± 1.3	51.3 ± 2.0	61.1 ± 4.9	37.4 ± 1.9
Verdadero	%	68.0 ± 1.5	66.4 ± 4.8	71.2 ± 3.5	57.4 ± 2.8
N endógeno (intestinal)					
Lg/N verdaderamente digeridos	g	0.081	0.113	0.065	0.132
en % de opaco-2	%	100.0	139.5	100.0	203.1
Desperdicio total de N μg endógeno					
g N verdaderamente retenidos	g	0.162	0.211	0.134	0.361
en porciento de opaco-2	%	100.0	130.3	100.0	2.694

TABLA 3 Efectos del aumento o disminución del contenido de algunos aminoácidos en la proteína de opaco-2 sobre la tasa de crecimiento y la conversión del alimento en ratas (peso inicial del cuerpo, 48 g; período de alimentación, 21 días; seis ratas en cada grupo)

		Experimento 1		*Experimento 2*	
Grupo	*Composición de las dietas*	*Ganancia diaria de peso (g)*	*Alimento/ ganancia (g)*	*Ganancia diaria de peso (g)*	*Alimento/ ganancia (g)*
1.	Maíz opaco-2 (93%), vitaminas (2%), mezcla mineral (3%), aceite de girasol (2%)	1.70	5.10	1.84	5.33
2.	Maíz normal (93%), mezcla de vitaminas (2%), aceite de girasol (2%), mezcla mineral (3%)	0.81	10.5	0.66	10.80
3.	Maíz normal (60%), mezcla de aminoácidos cristalizados (4%), vitaminas (2%), mezcla mineral (3.5%) aceite de girasol (4%), almidón de maíz (26.5%) (la composición de los aminoácidos es la misma que en el grupo 2).	0.78	9.54	0.90	8.90
4.	Grupo 3 + lisina (0.35%)	–	–	1.15	7.54
5.	Grupo 3 + triptófano (0.08%)	–	–	1.12	7.13
6.	Grupo 3 + lisina (0.35%) + triptófano (0.08%)	1.36	5.91	1.85	5.08
7.	Grupo 6 – leucina (0.52%)	2.11	3.97	2.14	4.63
8.	Grupo 7 – fenilalanina (0.19%) – tirosina (0.16%)	2.09	4.27	–	–
9.	Grupo 8 + ácido aspártico (0.17%)	2.46	3.94	–	–
10.	Grupo 9 – ácido glutámico (0.5%)	2.10	4.20	–	–
11.	Grupo 3 – leucina (0.52%)	–	–	1.15	7.46

concentración que fluctuaban muy cerca de los que se encontraron en el maíz opaco-2 (tabla 3).

Al complementar simultáneamente lisina y triptófano en las cantidades observadas en el maíz opaco-2, se obtuvieron tasas de crecimiento muy semejantes a las observadas en las ratas alimentadas con el maíz opaco-2 (grupo 6). El agregar estos aminoácidos individualmente no dio los resultados esperados (grupos 4 y 5). Los suplementos de ácido aspártico sí fueron efectivos. Las tasas altas de crecimiento se observaron cuando el contenido de leucina se redujo al nivel al que se encuentra en el maíz opaco-2. ($p < 0.001$ para el experimento 1 y $p < 0.05$ para el experimento 2.) Las concentraciones menores de fenilalanina, tirosina (grupo 8) y ácido glutámico (grupo 10) no afectaron significativamente la tasa de crecimiento, pero sí aumentaron algunas relaciones alimento-ganancia en peso.

Notas: Para el primer experimento se tomó Syn A o_2; para el segundo, el híbrido K-81 de alto contenido de lisina. Con el fin de mantener el mismo contenido de N en todos los grupos complementando o reduciendo la concentración de aminoácidos en las dietas, se aumentó o se redujo, la misma cantidad a la mezcla total de aminoácidos. La mezcla de aminoácidos L cristalizados contenía (% de dieta): alanina, 0.3; arginina, 0.22; ácido aspártico, 0.27; cistina, 0.09, ácido glutámico, 0.72; glicina, 0.15; histidina, 0.1; isoleucina, 0.14; leucina, 0.53; lisina, 0.12; metionina, 0.09; fenilalanina, 0.19; prolina, 0.36, serina, 0.19; treonina, 0.14; triptófano, 0.03; tirosina, 0.16; valina, 0.2.

Los datos mostraron que el valor nutritivo del maíz opaco-2 se relacionó en forma positiva con: 1) un aumento en el contenido de lisina y triptófano, 2) una disminución notable en el contenido de leucina y 3) un aumento en la concentración de ácido aspártico, lo que dio como resultado una mejor composición total de aminoácidos para alimentar animales.

El Instituto de Krasnodar está desarrollando una variedad de maíz con alto contenido de proteína y lisina que combina de un 15 a un 17% de proteína con un 0.65 a un 0.70% de lisina en el grano. Estas líneas iniciales tienen una calidad proteínica igual a la de la leche, descubrimiento que ha sido comprobado a través de nuestros experimentos con ratas (tabla 4). Cuando los animales se alimentaron con una dieta de maíz de alto contenido proteínico con 0.54% de lisina, la tasa de crecimiento fue solamente un poco más baja que la de los animales alimentados con un 60 ó 100% de proteína de leche en polvo descremada (grupo 5).

Los datos obtenidos durante dos años de ensayos en el State Performance Nursery sugieren que rápidamente se están desarrollando maíces con alto contenido de lisina y que éstos competirán en rendimiento de grano con las variedades normales de alto rendimiento.

De acuerdo con los datos obtenidos de cinco localidades en el área de Krasnodar en 1970, los rendimientos de las mejores variedades híbridas de maíz con alto contenido de lisina variaron de 510 kg/ha por debajo del estándar del maíz normal, a 410 kg/ha por encima de éste. En datos obtenidos de 14 localidades en el Cáucaso del Norte en 1971, los híbridos de Ikrania y Moldavia mostraron una variación de rendimiento de 210 kg/ha por debajo del estándar

TABLA 4 Ganancia en peso y alimento/ganancia en las ratas alimentadas con maíz opaco-2 de alto contenido proteínico (el vigésimo primer día del experimento)

		Experimento 1				*Experimento 2*			
Grupo	*Composición de las dietas*	*Proteína (%)*	*Lisina (%)*	*Ganancia media diaria de peso (%)*	*Alimento/ ganancia (g)*	*Proteína (%)*	*Lisina (%)*	*Ganancia media diaria de peso (g)*	*Alimento/ ganancia (g)*
1.	Maíz opaco-2 de alto contenido en proteína	16.5	0.54	3.4	3.13	14.7	0.55	2.69	3.8
2.	Maíz normal de alto contenido en proteína	17.3	0.30	0.75	8.76	–	–	–	–
3.	Maíz opaco-2	10.3	0.39	1.67	5.10	8.3	0.33	1.87	4.8
4.	Maíz normal	9.8	0.25	0.82	10.49	8.4	0.22	0.76	8.4
5.	Maíz normal (60%), leche en polvo descremada (30%), aceite de girasol (5.8%), mezcla mineral (3%), vitaminas (2%)	–	–	–	–	14.7	0.75	2.92	3.1
6.	Leche en polvo descremada (45%), aceite de girasol (8%), almidón de maíz (41%), fibra (2%), mezcla mineral (2%), y mezcla de vitaminas (2%)	–	–	–	–	15.9	1.00	2.91	2.9

Notas: Las dietas de los grupos 1 a 4 contenían un 92% de grano de maíz, un 2% de mezcla de vitaminas, un 3% de mezcla mineral y un 3% de aceite de girasol.

del maíz normal a 450 kg/ha por encima. Los ensayos biológicos de estos híbridos indican que su valor nutritivo es semejante al de las variedades iniciales del maíz opaco-2.

RESUMEN

1. Al alimentar puercos con maíz opaco-2, es posible reducir la ingestión de proteína hasta un 20%, comparado con el requerido con el maíz normal, y obtener tasas de crecimiento semejantes.

2. La digestibilidad aparente, la retención de nitrógeno y la disponibilidad de lisina son mucho más altas con el maíz opaco-2 que con el maíz normal en los ensayos de alimentación con cerdos.

3. El notable desperdicio de nitrógeno metabólico que muestra el maíz normal se relaciona con una menor digestibilidad y retención de nitrógeno.

4. Los altos valores biológicos de este nuevo tipo de maíz se pueden atribuir a una concentración mayor de lisina y triptófano y a un cambio completo en la composición total de aminoácidos, particularmente la disminución notable de leucina.

5. El maíz de alta calidad proteínica, con un mayor contenido de lisina, muestra un valor nutritivo superior al valor proteínico de la leche en polvo descremada.

BIBLIOGRAFIA

1. Bressani, R. 1966. Proc. High Lysine Corn Conf., Corn Refiners Assn., Inc. Washington, D. C., pág. 34.
2. Cromwell, G. L. et al. 1907. Poultry Sci., 56(7):705.
3. Hadjinov, M. I. y V. G. Ryadchikov. 1972. Zhivotnovodstvo, 2:51.
4. Mertz, E. T. 1963. Proc. XVIII Ann. Hybrid Corn Ind. Res. Conf. Washington, D. C. Amer. Seed Trade Assn. Publ. 18, págs. 7-12.
5. Mertz, E. T., O. E. Nelson y L. S. Bates. 1965. Science, 159(3702):1469.
6. Mertz, E. T. 1965. Science, 148:1741.
7. Ryadchikov, V. G. y G. V. Miroshnichenko. 1971. Zhivotnovodstvo, 1:50.

Parte XII

Preguntas y respuestas

Ponencia de Bressani (págs. 41-62)

P: (1) ¿Cuántos gramos de lisina y triptófano por 100 g de proteína hubo en el maíz suplementado, para que dieran valores REP de 2.4?
(2) ¿Fue la mezcla de maíz opaco-2-soya igual o mejor que la mezcla maíz normal-soya-lisina-triptófano?

R: (1) Hubo varias dietas que dieron un valor REP de 2.4. Por tanto, es difícil saber a cuál de ellas se está usted refiriendo. Sin embargo, en todos los casos, los niveles suplementarios de lisina y triptófano fueron de 0.35 y 0.05% respectivamente, fuesen a partir de aminoácidos cristalinos o de proteína suplementaria.
(2) Las dos dietas dieron los mismos resultados. Los valores medios de retención de nitrógeno de cuatro experimentos mostraron iguales resultados con maíz opaco-2-soya y con maíz normal-soya-aminoácidos.

P: (1) ¿Deben los fitomejoradores de maíz preocuparse ahora por mejorar la proteína total, o la lisina y el triptófano, o ambos, particularmente porque ello beneficiaría a los niños pequeños?
(2) ¿Cuáles son los niveles deseables de proteína y lisina?

R: (1) La cantidad proteínica es, por supuesto, esencial para el uso eficiente de la proteína; por consiguiente, son importantes los niveles de lisina y triptófano superiores al normal. Sin embargo, es también importante incrementar el contenido de proteína de alrededor del 9% al 14%.
(2) Un mayor contenido de proteína permitirá a los niños obtener proteína a partir de un menor volumen de alimento. Los niveles deseables de lisina y triptófano serían de alrededor de 300 mg de lisina/g de N y alrededor de 70 mg de triptófano/g de N.

P: ¿Cuál es el tratamiento médico de los niños en los ensayos dietéticos? ¿La medicina sola más un tratamiento de higiene desequilibraría sus resultados?

R: Cuando un niño viene a la unidad metabólica (si viene con síntomas de desnutrición por proteína), se le dan primero soluciones electrolizadas, seguidas de vitaminas y calorías. Pocos días más tarde se le proporciona proteína, primero en pequeñas cantidades, y luego en niveles mayores hasta de 2 a 3 g/kg/día. La recuperación tarda de 2 a 3 meses. Durante este período, se cura al niño de infecciones o parásitos. La recuperación es seguida de una serie de mediciones médicas y bioquímicas. Es esencial estandarizar la salud del niño tanto como sea posible, puesto que el grado de deficiencia proteínica interferirá con la evaluación de la proteína.

P: ¿Qué le pasa a una dieta de maíz-soya si se le suplementa únicamente con minerales o vitaminas, o solamente con lisina?

R: Los minerales y las vitaminas incrementarán la calidad proteínica de alrededor de 1 a 1.9. Si sólo se suplementa con lisina, no lo sé. Empero, se puede predecir que el triptófano se convertirá en un aminoácido limitante.

P: En su opinión, ¿deben preocuparse los mejoradores de maíz tanto por la isoleucina como por la lisina y el triptófano tratándose del mejoramiento de la calidad proteínica? ¿Qué es lo importante, el nivel de isoleucina sola o la relación entre isoleucina y leucina?

R: No considero que los fitomejoradores deban preocuparse por la isoleucina. En primer lugar, el mejoramiento proteínico en el maíz opaco-2 implica un cambio en la distribución de proteína. Hay menos zeína, que tiene un alto contenido de leucina. En segundo lugar, el maíz se consume de ordinario junto con otros alimentos que suministran isoleucina.

P: Cuando se suministraron dietas de maíz-soya a los niños, ¿cuántos gramos de proteína se dieron por kilo de peso corporal?

R: 1.25 g de proteína/kg/día más 100 k cal /kg/día.

PONENCIA DE MANER (págs. 63-87)

P: Aunque se encontró que el análisis del endosperma de grano vítreo fue casi igual que el endosperma del opaco-2, su estudio indica que el endosperma vítreo no fue mejor que el normal. Usted señaló que quizás esto se pudo deber a la disponibilidad de aminoácidos. No obstante, si lo entendí bien, el grano vítreo completo demostró ser mejor que el grano completo de opaco-2. ¿Cómo se explica esto?

R: Usted no entendió correctamente los resultados. El grano de opaco-2 tuvo mejor comportamiento que el modificado (vítreo) mexicano cuando se suministró a las ratas como grano completo. El modificado, a su vez, fue muy superior al maíz normal. El endosperma del modificado fue muy inferior al endosperma del maíz opaco-2 (ICA H-208). El endosperma modificado fue igual al grano completo del maíz normal. Esto se esperaría en virtud de que el maíz normal contenía también el germen y más de 9.5% de proteína cruda, en tanto que el endosperma modificado sólo contenía cerca de 6.4% de proteína. Como usted sabe, el germen modifica la calidad proteínica; y el nivel de proteína es muy importante en el crecimiento y en el REP (razón de eficiencia proteínica). El maíz modificado (mexicano) se cultivó en Cali, Colombia, y nuestro análisis mostró que contenía poco menos lisina que el opaco-2 H-208.

P: El Dr. Maner ha encontrado valores nutritivos bajos para los maíces opaco-2 vítreos con endosperma con alto contenido de lisina, cuando se le compara con el maíz normal. Cuando se suministra a ratas, ¿se esperan estos resultados si los endospermas se procesan en la forma acostumbrada para el consumo humano?

R: Esperaríamos resultados similares, como lo indica el Dr. Pradilla.

P: En sus estudios, la ganancia diaria en el peso corporal fue mucho más alta con una dieta de maíz y soya con 10% de proteína, según se le compara con una dieta de opaco-2 con 10% de proteína. Sin embargo, el opaco-2 más lisina más triptófano más treonina con 10% de proteína, fue mejor que la dieta de maíz más soya con 10% de proteína. ¿Podría comentar por favor acerca de las posibles razones?

R: Una dieta de 10% basada en maíz normal más pasta de soya contiene un mejor balance y un mejor nivel de aminoácidos que el maíz opaco-2, que es deficiente en lisina, triptófano y treonina. Cuando las dietas solamente basadas en maíz opaco-2 se suplementan con estos aminoácidos (más isoleucina a fin de contrarrestar el exceso de leucina o a efecto de proporcionar una mejor relación de leucina-isoleucina), usted suministra entonces un balance y un nivel de aminoácidos que rinde resultados iguales o mayores que una dieta de 10% basada en maíz-soya.

P: ¿Se han hecho análisis de aminoácidos con el endosperma de maíz opaco-2 vítreo? ¿Cuáles diferencias contribuyen a los estudios deficientes sobre alimentación de ratas? ¿Se podría deber esta diferencia a la estructura del grano?

R: El grano del maíz vítreo (mexicano) se cultivó en Cali, Colombia, y según los análisis contuvo poco menos lisina que el opaco-2. Yo no considero que la estructura sea importante para las ratas, aunque pudiera serlo para las ratas de campo.

PONENCIA DE SCHEUCH Y FRANCIS (págs. 109-126)

P: ¿Es el contenido de lisina del mutante, doble (fl_1/fl_2, o_2/o_2) mejor que el del mutante sencillo opaco-2? Muchos mutantes dobles son superiores al opaco-2 sólo en contenido de lisina.

R: Aunque probablemente tenemos estos mutantes dobles y sencillos en variedades convertidas de maíz para zonas altas, no se han identificado ni comparado positivamente. El Dr. Cassalett reportó que el mutante doble tiene calidad intermedia entre los tipos de mutantes sencillos opaco-2 y harinoso-2, en condiciones genéticas de zonas bajas.

P: ¿Ha observado usted alguna desviación del fenotipo de endosperma harinoso normal en el mutante doble opaco-2/harinoso-2 introducido al maíz andino?

R: En ningún país de la región tenemos un mutante doble opaco-2/harinoso-2 entre los materiales de zonas altas. La información actual sugiere que el mutante doble con harinoso-1 pudiera ser idéntico al mutante sencilló con sólo opaco-2, en la mayoría de las condiciones genéticas.

P: ¿Piensa usted que una prueba cualitativa, tal como el teñido del endosperma, pudiera separar muestras con alta calidad proteínica de aquéllas con un bajo contenido de proteína? Ambos materiales tendrían un bajo contenido de zeína.

R: Eso bien pudiera ser un factor limitante para el uso de dicho esquema. Muchos materiales de zonas altas tienen un bajo contenido de proteína (algunas veces de 5 a 7%) debido a los gránulos grandes de almidón. Probablemente debemos emplear otros métodos con estos tipos, o bien concentrar nuestros esfuerzos de conversión en variedades con un nivel proteínico más razonable.

P: Al calcular la posible frecuencia de varios genotipos y fenotipos en las combinaciones de harinoso-1 y opaco-2, ¿han considerado ustedes la naturaleza $3n$ del endosperma y las posibles modificaciones que ésta producirá en las frecuencias del carácter del endosperma?

R: Se calcularon todas esas combinaciones, pero las proporciones exactas no aparecen en el documento. En parte el ejercicio es académico, debido al efecto de dosis del harinoso-1, y a los probables efectos modificadores de muchas de estas condiciones genéticas de zonas altas. En otras palabras, las frecuencias calculadas precisas se encontrarían raramente en la práctica.

P: Puesto que se ha mostrado que el color del grano (pericarpio o cáscara coloreada de la semilla) tiene algunos efectos en el valor nutritivo del grano del sorgo, ¿no sería concebible que hayamos estado soslayando posibles efectos de ciertos tipos de color del maíz sobre el valor nutritivo? Esto pudiera ser verificado más a fondo mediante ensayos de alimentación de animales con granos negros, rojos y de otros colores.

R: Esto es posible. Existe una amplia gama de colores entre las razas de maíz, tanto de zonas altas como tropicales, y hasta donde sé, esto no se ha estudiado.

P: ¿No les interesan los fenotipos idénticos de las variedades nativas de harinoso-1 y el de las convertidas a opaco-2? ¿Cómo se distinguirían éstas para propósitos comerciales, y cómo se puede conceder una prima extra a los tipos de alta calidad proteínica?

R: Esto podría ser un problema. Sin embargo, puesto que la gran mayoría de este maíz harinoso de las regiones altas de la Zona Andina se convierte directamente, no se mueve nunca más allá de la finca donde se le siembra. Esto disminuye el problema, pero debemos buscar un marcador apropiado ligado al opaco-2, que ayude a seleccionar y a identificar positivamente los tipos de alta calidad.

PONENCIA DE DUDLEY ET AL (págs. 127-143)

P: Su comentario en el sentido de que los opacos de endosperma duro no son necesarios para los Estados Unidos... ¿se basa en el hecho de que usted obtuvo rendimientos similares con opaco-2 y con normales? ¿Qué hay acerca de otros parámetros tales como pérdidas en la cosecha, mayor vulnerabilidad a los insectos de granos almacenados y posibles dificultades en su utilización debido al carácter de endosperma suave?

R: El comentario se basó en rendimientos similares con tipos de endosperma suave. Dado que nuestros ensayos de rendimiento se cosecharon con maquinaria, se tomaron en cuenta las diferencias en pérdidas de cosecha. Si bien los tipos de endosperma suave pudieran ser aceptables, se lograría una aceptación más rápida en tipos de endosperma duro.

P: Los valores de heretabilidad en general fueron un tanto altos, especialmente los de rendimiento de grano. ¿Podría usted explicar por qué fueron tan altos?

R: En los valores de heretabilidad probablemente están implicados dos factores Los experimentos se establecieron a niveles de poblaciones de plantas relativamente altos (55 000 plantas/hectárea), lo cual incrementó la variancia genética debido a la esterilidad en algunas familias. En segundo lugar, los experimentos se cultivaron en sólo una localidad en un año. Así, la interacción genotipo-ambiente sesgaría hacia arriba las estimaciones de heretabilidad.

P: ¿Cuál sería, en su opinión, la explicación genética de los estimados de heretabilidad mayores para el rendimiento que para los de porcentaje de lisina? ¿Indica esto una influencia amiental o tal vez limitaciones de la medicion?

R: Una mayor heretabilidad del rendimiento es en gran parte el resultado de una mayor variancia genética para el rendimiento con un error de variancia similar. Nótense los coeficientes de variación genéticos y los coeficientes de variación en las tablas. Pienso que están implicadas tanto las influencias ambientales como las limitaciones de la medición.

P: ¿Cuál presión de selección emplea usted en el mejoramiento de poblaciones? ¿La selección tándem —dando prioridad al rendimiento y lugar al porcentaje de lisina— suministra alto rendimiento y buenos valores de proteína con menos dependencia del laboratorio?

R: La intensidad de selección fue una familia seleccionada de cada cinco. Un programa de selección tándem habrá de ser práctico. Sin embargo, no he calculado su efectividad pronosticada en relación con otros sistemas.

P: ¿Cómo colectó usted las muestras para los análisis de lisina y triptófano?

R: Se colectaron muestras a granel de cada parcela directamente del chorro de maíz desgranado que salía por la tolva de la desgranadora; los granos se mezclaron bien antes del análisis.

P: ¿Qué tipo de programa de fitomejoramiento o esquema de selección recomendaría usted para convertir los linajes de opaco-2 en linajes vítreos de opaco-2?

R: No contamos con suficiente información sobre el control genético de los modificadores estudiados como para hacer recomendaciones precisas. Sin embargo, deberá trabajar cualquier sistema apropiado para un carácter cuantitativo con alta heretabilidad.

P: ¿Tiene usted algunas observaciones sobre pudriciones de la mazorca en híbridos de opaco-2 en comparación con los normales?

R: No disponemos de datos experimentales detallados. Sin embargo, muchos híbridos de opaco-2 parecen ser resistentes, en tanto que otros son susceptibles.

P: El porcentaje de proteína es una función (entre otras variables) de la producción de almidón en el grano, y ésta es considerablemente regulada por el ambiente Más que expresar ganancia de lisina y proteína en términos de porcentaje mediante selección, ¿no sería más apropiado pensar en términos del valor total de lisina y proteína por grano, y así, mediante multiplicación del componente, de su valor por hectárea?

R: Nuestro programa de selección se basa en kilogramos de lisina por hectárea. De aquí que yo convenga en que la lisina o la proteína por hectárea sea probable-

mente de mayor importancia práctica que los valores porcentuales. Sin embargo, es necesario un cierto porcentaje de lisina por obtener una respuesta de crecimiento apropiado a partir de dietas. Por tanto, habrá que considerar tanto el porcentaje como las cantidades absolutas de nutrimentos.

P: Usted indicó baja heretabilidad para gramos de lisina por 16 g de N. Con cebada, nuestra experiencia es exactamente la opuesta, según lo indica el análisis de fijación de colorante con verificaciones de intercambio de iones de lisina. ¿Qué análisis utilizan? ¿Considera usted que la correlación negativa de gramos de lisina por 16 g de N con la proteína cruda?

R: Los análisis utilizados se citan en el manuscrito. No intentamos considerar la correlación negativa de gramos de lisina por 100 g de proteína al seleccionar con respecto a lisina por hectárea.

P: Yo pensé que la selección con respecto a alto contenido de proteína llevaba a menor lisina por 100 g de proteína. ¿Fue la conclusión de usted que, cuando se mejora por más proteína, usted podría obtener más lisina por hectárea o por 100 g de proteína?

R: La conclusión fue que la selección por porcentaje de proteína aumenta el porcentaje de lisina en el grano completo.

P: En su investigación al seleccionar por lisina y rendimiento en sintéticos, ¿hubieren sido diferentes sus resultados si usted hubiese podido usar ensayos de alimentación de animales como base para determinar las ganancias o la mejora más que los valores químicos? ¿No debiera ser este el enfoque si la técnica hubiera trabajado, más que la técnica química?

R: Si la respuesta a ensayos de alimentación se relacionara con el rendimiento de manera diferente que el porcentaje de lisina en el grano, los resultados hubiesen diferido. Yo convendría en que los ensayos de alimentación de animales son la última prueba. Sin embargo, para programas de selección intensiva, se requiere un gran número de muestras por día. Hasta ahora, el costo de los ensayos de alimentación de animales es mucho mayor que las técnicas de química analítica.

PONENCIA DE JOHNSON (págs. 149-163)

P: ¿Tiene usted información sobre el comportamiento relativo de los tipos *planta baja* y braquítico-2 en condiciones genéticas comparables?

R: El tipo *planta baja* parece ser más tolerante a las altas poblaciones de plantas y da rendimientos relativamente altos a medida que aumenta la densidad de plantas. A baja densidad, los rendimientos de grano tienden a ser iguales.

P: En el maíz normal, el rendimiento se toma de ordinario a un contenido de humedad de grano de 15.5%, en promedio. ¿Qué nivel se usa para el opaco-2 a fin de obtener una medición adecuada del rendimiento?

R: El porcentaje de humedad se puede fijar arbitrariamente a cualquier nivel que se desee para calcular rendimientos, pero parecería que no hay una buena razón para fijar un nivel diferente en comparación con el maíz normal.

P: Me parece que cada ciclo de rendimiento representa un rendimiento promedio de plantas cruzadas donde los efectos heteróticos contribuyen en algún grado. Esto significaría una reducción de rendimiento luego de cruzar por fecundaciones al azar si el material de ese ciclo se fuera a distribuir como variedad de polinización libre. ¿Tiene usted alguna información con respecto a esta posibilidad?

R: Usted supondría una posible reducción de rendimiento si los apareamientos que se hacen estuvieran arriba del promedio en cuanto a comportamiento, en comparación con las fecundaciones al azar. De otra manera, no habría razón para esperar una baja; y, en efecto, los incrementos de polinización libre de semilla derivada de estos materiales hasta ahora han mostrado menores niveles en los ensayos.

P: ¿Por qué usó usted selección de hermanos completos en el mejoramiento poblacional? ¿Percibe usted una ventaja en particular sobre otros tipos de selección, digamos la selección S_1?

R: La decisión es en gran medida arbitraria, pero la principal razón fue la de utilizar un sistema que propiciara una recombinación rápida en términos de tiempo. El procedimiento S_1 requiere un período más prolongado para completar un ciclo, y por tanto necesitaría ofrecer una ganancia mucho mayor por ciclo para justificar su uso.

P: Los materiales de zonas altas de Africa Oriental muestran una respuesta positiva al ambiente y a la altitud, en tanto que los materiales de programas de zonas bajas no muestran eso. ¿Cómo se comporta su material de *planta baja*?

R: El significado de "respuesta positiva" no es claro, pero las selecciones de *planta baja* se pueden mover hacia otros ambientes, más allá de lo que hemos encontrado posible con las poblaciones originales. Esto puede ser, por lo menos en parte, una función del ciclo más corto de crecimiento requerido para los tipos de *planta baja,* y de su mejor resistencia al acamado. Realmente no hemos intentado estudiar el punto que usted sugiere.

P: ¿Se está probando progenie de selección recíproca en varias altitudes con respecto a amplia adaptación, digamos, de 100 a 3 000 metros de altitud?

R: Aunque nos gustaría evaluar progenies en ambientes tan ampliamente variables como fuera posible, hay límites. Los materiales tropicales simplemente no

maduran a una elevación de 3 000 m. No hay diferenciación que exhiban los materiales en un ambiente tan extremo.

PONENCIA DE SPERLING (págs. 163-177)

P: La reacción de Francés Largo en sus experimentos parece que no es típica cuando se le compara con el promedio de otras poblaciones. ¿Puede usted describir la variedad, su origen, relaciones, etc.?

R: Francés Largo es un dentado de 8 hileras de la República Dominicana que pertenece al linaje Chandel. Se caracteriza por un olote de pequeño diámetro. La entrada normal, pero no la conversión a opaco-2, fue extremadamente susceptible a las pudriciones del tallo, es por eso que rindió poco.

PONENCIA POR ORTEGA ET AL (págs. 193-208)

P: Usted dio información acerca de la susceptibilidad relativa en familias de maíz aisladas al ataque de insectos. ¿Cuál es la situación si a las plagas en los granos almacenados se les ofrece elección libre de maíz normal, opaco-2 y opaco-2 de endosperma duro?

R: Nuestras pruebas de elección libre han indicado que los tipos de endosperma suave (independientemente de la presencia o ausencia de opaco-2) son considerablemente más vulnerables a los insectos en los granos almacenados que los materiales que tienen endosperma más duro.

P: (1) El contenido de humedad de grano normal, opaco y modificado en almacenamiento a 75°F, más 85% de la humedad relativa, varió sobre el período de almacenamiento. ¿Por qué?
(2) ¿Se consideró la determinación de la presencia de aflotoxina a las mazorcas podridas de opaco-2 y modificadas?

R: (1) Todos los granos, en general, tienden a alcanzar una estabilidad o equilibrio de humedad que varía con la humedad relativa del ambiente donde se les coloca.
(2) No; obtuvimos únicamente la información con respecto a la tasa de desarrollo de *Aspergillus* spp.

P: Usted proyectó diapositivas que mostraban grandes infecciones de *Fusarium* spp. ¿Inoculó artificialmente las mazorcas? Si así fue, ¿describiría usted brevemente el procedimiento de inoculación que utilizó? Igualmente, ¿describiría los procedimientos para inocular artificialmente con *Diplodia* spp?

R: Según se mostró durante la presentación, no se inoculó en todos los experimentos establecidos en diferentes lugares. En Tlaltizapán, inoculamos con una

mezcla de esporas tanto de *Diplodia* spp como de *Fusarium* spp mediante la aspersión de los estigmas una semana después de que brotaron. *Diplodia* se cultiva en granos enteros de avena remojados, esterilizados, durante unos 4 meses. *Fusarium* se cultiva en una mezcla de maíz opaco-2 y paja de trigo, también durante unos 4 meses.

P: El expositor sondeó tendencias interesantes de enfermedades e insectos en el programa de mejoramiento de maíz de opaco-2. Africa Oriental ha sido asolada por un severo ataque de gusano cogollero y virus rayado, que el expositor no mencionó. ¿Se está haciendo algún trabajo en esta enfermedad y esta plaga?

R: Estamos trabajando en el desarrollo de una población resistente al gusano cogollero, población que se originó a partir de germoplasma del Caribe. Los resultados muestran que se está mejorando su resistencia. El virus rayado es una enfermedad que no existe en México. Por otra parte, se ha desarrollado una población resistente al achaparramiento a partir de germoplasma del Caribe.

P: Se ha observado que la cobertura de la mazorca, especialmente cuando está bien apretada hacia la punta, es importante en cuanto a la incidencia de varias enfermedades e insectos. ¿Se observó esto? Parecería un objetivo pertinente en la investigación, y hay grandes diferencias en otros materiales si no es que aquéllos con los que usted trabaja.

R: Hemos observado resultados variables con materiales de brácteas apretadas, en lo que se refiere a su reacción a organismos causantes de pudriciones de la mazorca en el campo. Consideramos que aparte de las brácteas hay factores adicionales que desempeñan un papel importante en la resistencia a las enfermedades. Nuestra presentación indicó, y también lo sugiere su pregunta, la estrecha relación encontrada entre el daño del gusano elotero y la incidencia de pudriciones en la mazorca. También hemos encontrado que los cultivos de maíz con brácteas apretadas (por ejemplo, Zapalote Chico, un Tuxpeño llamado *hoja blanca,* de la región central de Veracruz) y un apretado "canal de seda" son menos dañados por los gusanos eloteros.

P: ¿Piensa usted que los efectos descritos, o sea, la susceptibilidad a algunos patógenos del opaco-2 de endosperma suave se pueden atribuir a factores físicos nutricionales, a la humedad, o a qué otros factores del endosperma?

R: No hemos estudiado la causa de la susceptibilidad o resistencia en algunos materiales porque todas las versiones opaco-2 muestran susceptibilidad, según se señaló durante nuestra presentación. Depende del fondo genético. Tal vez, en el caso de genotipos susceptibles y otras más. Es la razón de esa susceptibilidad.

P: En sus programas genotécnicos para obtener la resistencia deseable, parecería más adecuado dedicarse a un programa de desarrollo de poblaciones para enfermedades específicas, y al final desarrollar resistencia genética observada en todo el mundo como insumos de resistencia en estas poblaciones. La población podría ser un tanto específica, con el opaco-2 incluido.

R: Estamos tratando de incluir tantos factores de resistencia como sean posibles en nuestro programa genotécnico. Las conversiones de opaco-2 se realizan simultáneamente con el desarrollo de las poblaciones normales correspondientes.

P: ¿Hay algunas diferencias en las reacciones a insectos y enfermedades entre los fenotipos opaco-2 y harinoso-2?

R: No hemos trabajado con opaco-2

PONENCIA DE VASAL (págs. 213-232)

P: ¿Por qué no introducir el marcador de color de grano en maíces opaco-2 a fin de distinguirlos claramente del maíz normal?

R: Podemos introducir fácilmente el marcador de color de grano con maíces opaco-2. Sin embargo los agricultores y consumidores de regiones particulares tienen preferencias definidas por granos de cierto color; por tanto, la introducción de color a la semilla de opaco-2 pudiera constituir cierto problema para su aceptación.

P: En el análisis de dialelos de varios tipos vítreos, usted los refirió como P_1, P_2, etc. ¿Eran homocigotos estos materiales?

R: Los progenitores empleados para desarrollar el dialelo eran bastante adecuados como material genotécnico con respecto al carácter opaco-2 de fenotipo modificado, pero pudieron ser o no ser completamente homocigotos.

P: ¿Han encontrado ustedes que el endosperma de los opacos modificados es un poco más suave que el de los tipos normales verdaderos? A mí me parece que lo es.

R: Visualmente parece no haber diferencia entre la fracción vítrea de los opacos modificados y los tipos verdaderamente normales. La fracción vítrea de los tipos modificados pudiera ser algo más suave, pero hasta ahora no hemos hecho ese tipo de determinaciones.

P: ¿Qué efecto tiene la ubicación de la fracción vítrea sobre la resistencia a los gorgojos? ¿Qué ubicación recomendaría usted?

R: El grupo de protección vegetal del CIMMYT realizó una prueba en la que se incluyeron materiales opacos y opacos modificadores. La entrada de los gorgojos en el grano opaco-2 modificado fue al azar y no esencialmente restringida a la fracción suave. Por tanto, no hay certeza de cuál ubicación de la fracción vítrea contribuye a la resistencia al gorgojo.

P: Sus datos han sugerido un incremento en el contenido de proteína y una considerable disminución en el triptófano (% en g de proteína). ¿Cuál fue la situación con respecto al contenido de triptófano sobre base de muestra?

R: Sobre la base de la muestra también hubo disminución de triptófano.

P: Algunos de sus datos indican un rendimiento más bajo en las variedades modificadas según se comparan con sus contrapartes de opaco-2. ¿Cuál es la explicación de esto? En relación con este punto, ¿quisiera usted elaborar acerca de su esquema de selección por modificadores con referencia al tamaño de la muestra, intensidad de selección y criterios de selección?

R: El material que el Dr. Sperling utilizó en su estudio (especialmente los tipos modificados) provino del primer ciclo de selección, y es posible que muchas mazorcas que fueron seleccionadas vinieran de progenies que tienen un comportamiento inferior al promedio. Sin embargo, en los datos que aquí he presentado, la mayoría de los tipos modificados ha estado sometida a selección más intensa y la mayoría resultó superior a sus contrapartes opacas. En comparación con sus contrapartes normales, los tipos modificados tuvieron un rendimiento algo menor, pero en la mayoría de los casos las diferencias no fueron significativas. Además, puesto que la acción génica que controla los modificadores es la dominancia parcial, se esperará que los esquemas de selección tales como hermanos completos, medios hermanos y S_1 (que explotan la variancia génica aditiva) tuvieran éxito para acumular la frecuencia de modificadores favorables. En primer lugar, mientras mayor sea la muestra, mejor será; sin embargo, esto depende de nuevo de la frecuencia de los modificadores en la población de opaco-2. En segundo lugar, una intensidad de aproximadamente 20% sería adecuada. Y en tercer lugar, con respecto a los criterios de selección, hay que considerar todas las características agronómicas en conjunto en las familias que muestran una alta frecuencia de granos con fenotipo modificado y que tienen también niveles aceptables de calidad y cantidad proteínica.

PONENCIA DE BAUMAN (págs. 233-244)

P: ¿El aceite de maíz opaco-2 es mayor o menor en polinsaturados que el aceite de maíz normal?

R: Sería ligeramente menor.

P: ¿Se ha hecho una comparación del rendimiento de los híbridos de opaco-2 como una función del potasio aprovechable?

R: Creo que tal estudio se está haciendo en Brasil. Sin embargo, yo no esperaría una gran diferencia, debido a que la diferencia en la cantidad de potasio en base al rendimiento por área es muy pequeña.

P: ¿Han obtenido ustedes tipos modificados en un 100%?

R: Sí, para todos los propósitos prácticos. Sin embargo, el grado de modificación está influido por el ambiente. Generalmente tenemos una mayor expresión en el ensayo de invierno de Florida.

P: Puesto que usted encontró una correlación positiva y significativa entre proteína y magnesio y zinc en P_1, ¿piensa usted que haya una posibilidad de que la acumulación y translocación de estos elementos sean factores limitantes en el contenido de proteína y lisina?

R: Lo dudo, pero realmente no lo sé. Esta relación debe ser investigada más a fondo.

P: ¿Se puede incorporar el tipo opaco-2 vítreo en variedades opaco-2 autofecundadas de otra manera agronómicamente deseables, mediante la técnica de retrocruzamiento?

R: Es posible, pero debe intentarse un procedimiento alternado de autofecundación y retrocruza.

P: ¿Cómo puede estar uno seguro de que los granos vítreos que se aproximan al fenotipo normal son en realidad opaco-2 y no normales?

R: Esto se hace fácilmente mediante el cruzamiento del tipo vítreo como macho con un tipo opaco-2 estándar, lo cual dará un fenotipo opaco-2.

PONENCIA DE ZUBER Y HELM (págs. 259-270)

P: Sus datos sugieren que la h^2 (hereditabilidad lograda) fue a menudo mayor que 1. ¿Cómo justifica usted este valor?

R: No podemos considerar este incremento en el contenido de lisina del ciclo 2 sobre el ciclo 1. Posiblemente se debe a un efecto ambiental, puesto que los dos ciclos se sembraron en años diferentes. Tan pronto como completemos el ciclo 3, nos proponemos sembrar el material de los tres ciclos más la población original bajo el mismo ambiente a fin de evaluar el avance de la selección.

P: ¿Qué pasa con la concentración de proteína y lisina en las muestras de grano entero de materiales de aleurona múltiple?

R: Hasta ahora no contamos con información suficiente para contestar a esta pregunta. Planeamos comparar el contenido de aminoácidos y de proteína de los granos de una sola capa de aleurona con los que tienen capas múltiples en el mismo fondo genético, tan pronto como tengamos material homocigoto adecuado.

P: ¿Tienen datos sobre los gramos de lisina por 100 g de proteína del endosperma en el primero y el segundo ciclos?

R: En el documento se anota el número de gramos de lisina por 100 g de proteína. Para las tres poblaciones, el segundo ciclo mostró un incremento sobre el primer ciclo, en el número de gramos de lisina por 100 g de proteína.

P: ¿Podría ser usted más explícito con respecto al método mediante el cual Wolf y sus colaboradores buscaron los cuerpos de proteína?

R: Se puede encontrar información más detallada sobre el método de microscopía para examinar el tejido del endosperma con respecto a los cuerpos de zeína, en el documento "Mature cereal grain endosperm: rapid glass knife sectioning for examination of proteins", por M. J. Wolf y W. Kwolek (Stain Technol., 45:277-283).

P: El esquema genotécnico para el maíz de calidad proteínica, según se expone en un procedimiento de trabajo, parece simplificar algunos de los complejos aspectos de las técnicas fitotécnicas expuestas por algunos de los ponentes anteriores. ¿Cuáles serían entonces las ventajas prácticas de este esquema con respecto a los de sus colegas que trabajan en el mismo campo en cuanto a tiempo, esfuerzo, gastos y efectividad?

R: La selección recurrente para el mejoramiento de la calidad proteínica en maíz normal sin mutantes mayores de endosperma es un procedimiento lento y tedioso. Implica más gastos debido a que se poliniza un mayor número de plantas y a que se analiza el contenido de lisina de un mayor número de muestras. Sin embargo, si se tiene éxito, se debieran eliminar los problemas que ahora se relacionan con algunos de los mutantes del endosperma. Así, se justificaría un gasto mayor.

P: ¿De qué manera mide su máquina la transmisión de luz en granos de diferente grosor?

R: Medimos la transmisión de luz de grano que tienen el mismo grosor relativo. Eliminamos los granos de tamaños y grosores irregulares.

P: Puesto que el doble mutante ae/o_2 da proteína de alta calidad así como un endosperma translúcido, ¿considera usted alguna posibilidad de que se utilice comercialmente?

R: Aunque el recesivo doble ae/o_2 tuvo en el fondo genético del linaje endocriado W64A un alto contenido de lisina y un grano duro y translúcido, he sabido que en otros fondos genéticos se podría tener el tipo de endosperma suave y opaco. Opino que serían más promisorios ya sea los tipos de granos modificados encontrados en ciertos fondos de opaco-2, o tal vez la selección recurrente por calidad proteínica mejorada entre tipos normales sin mutantes mayores de endosperma.

P: ¿Hay alguna posibilidad de que en su programa de selección recurrente se acumulen algunos genes mutantes mayores que favorezcan el contenido de lisina-triptófano?

R: Hemos notado que de estas poblaciones emergen algunos granos opacos, y no estamos seguros si éstos se relacionan con la síntesis de lisina. Hemos encontrado también un nuevo mutante en la población intermedia, al cual llamamos "cheesy" ("quesoso"). Este mutante tiene alto contenido de lisina, pero no es alélico con respecto al opaco-2; sin embargo, no estamos seguros si es alélico con respecto al harinoso-2. No podemos descartar la posibilidad de otros genes mayores (no reconocibles fenotípicamente) que contribuyan al incremento de lisina en el ciclo 2 sobre el ciclo 1.

P: Si recuerdo correctamente, hace algún tiempo usted estaba examinando variedades normales en base a un alto contenido de lisina y/o proteína. Probablemente usted obtuvo algunos linajes con calidad proteínica mejorada. ¿Quisiera usted comentar acerca de sus avances en el trabajo de laboratorio relacionado?

R: Hace varios años, examinamos un cierto número de líneas exóticas y variedades de polinización libre con respecto a su contenido de lisina y de proteína. Las tres variedades seleccionadas para el estudio de selección recurrente para el mejoramiento de la calidad proteínica presentadas aquí figuraron entre las que tuvieron mayores niveles de lisina. Aunque algunos de los materiales examinados tuvieron un alto contenido de lisina, tuvimos ciertas reservas en cuanto a si las diferencias en lisina eran reales, puesto que más tarde encontramos que las relaciones germen-endosperma pudieron afectar el contenido de lisina cuando éste se determinó en granos enteros.

P: ¿Qué tipo de instrumento utilizan para medir precisamente la cantidad de transmisión de la luz? ¿Dónde se puede adquirir este instrumento y cuánto costaría aproximadamente?

R: La cantidad de luz transmitida a través de los granos individuales de maíz se midió con un fluoromicrofotómetro fotomultiplicador Aminco, Mod. 4-7102. Los detalles del procedimiento se pueden encontrar en el documento intitulado "Quantitative measurement of light transmission through corn endosperm", por Paez, Helm y Zuber (Cereal Chem. 45:595-599, 1968).

PONENCIA DE BROWN (págs. 275-283)

P: En esta etapa, ¿la información que usted tiene afirma la posibilidad de obtener híbridos vítreos de alta lisina, formados sin recurrir a la incorporación del gene opaco-2? ¿Cómo diferenciaría usted estos híbridos de los híbridos normales con baja concentración de lisina en el proceso de producción y comercialización?

R: No hemos identificado tipos vítreos de maíz que no sean opaco-2 y que posean niveles de lisina comparables a los de los genotipos de opaco-2. Los tipos I vítreos y semivítreos referidos son todos opaco-2 homocigotos, y al parecer poseen modificadores que incluyen sobre el fenotipo del endosperma. A menos que se pudiera incorporar un marcador genético fácilmente reconocible en los híbridos de alta lisina de endosperma normal, tendríamos que seguir dependiendo de los análisis químicos para distinguirlos.

P: Una vez que se acepte el maíz opaco-2, se deberá mantener el control de la proteína, lisina y triptófano (y posiblemente de todo el espectro de aminoácidos) tanto en la finca como en los sitios de recepción y distribución comercial (en especial si se paga una prima extra por el maíz opaco-2). ¿Tienen ustedes algunos puntos de vista sobre esto?

R: Es una buena pregunta. En el comercio de granos de los Estados Unidos no hay provisiones para verificar la calidad nutritiva del maíz o para el caso ningún otro grano alimenticio. Si se difunde el uso del maíz opaco-2, y si se va a compensar al productor por la calidad del grano (respecto a su valor nutritivo), habrá que formular algún nuevo sistema. Debido a lo difícil que es mantener separados los diferentes lotes voluminosos de grano en los canales comerciales, espero que las primeras cantidades grandes de maíz opaco-2 que se produzcan a nivel comercial, se cultivarán mediante contratos con firmas elaboradoras de alimentos para el ganado. Sin duda, estas compañías dependerán de análisis químicos para determinar lo que compran en términos de proteína, lisina, etc.

P: ¿Tiene usted alguna idea de cómo se puede detectar la contaminación (en la semilla o en la producción del agricultor) de los tipos opaco-2 modificados?

R: Si los tipos opaco-2 se han modificado hasta el grado en que visiblemente no se distinguen del maíz normal, la detección de la contaminación y el control de la pureza tendrán que depender de las pruebas químicas, a menos que se demuestre la posibilidad de un marcador del endosperma o del pericarpio.

P: ¿Esperaría usted una reducción en un futuro próximo de la superficie sembrada con soya o de algunos otros concentrados proteínicos luego del cultivo en gran escala del maíz opaco-2?

R: Esto dependería del precio del maíz y de la soya. Si no hay cambios drásticos en las razones de los precios, yo no esperaría que el cultivo en gran escala del maíz opaco-2 influyese sobre la superficie de soya en un futuro cercano. Sin embargo, siempre y cuando la producción de soya y las necesidades de soya alcanzaran un equilibrio a nivel mundial, el maíz opaco-2 bien podría suplantar algo del área de soya.

PONENCIA DE CASSALETT DAVILA (págs. 285-287)

P: ¿No afectaría una política de precios de garantía (compensación por el menor rendimiento de las variedades opaco-2) las metas que se buscan con la introducción y utilización del maíz opaco-2 en los países en desarrollo? Es decir, ¿no surge la posibilidad de que el precio del maíz opaco-2 resulte prohibitivo para la gente pobre?

R: No. En Colombia, los precios de garantía siempre han sido comparables con los del maíz normal comercial. El gobierno también tiene control del precio de los productos procesados, de manera que el precio no se incrementaría. El precio de garantía es un incentivo para la producción del maíz de alta calidad proteínica durante las etapas iniciales de promoción.

P: ¿Cuentan ustedes en Colombia con algún método rápido mediante el cual se determine el contenido de lisina en el maíz opaco-2 comercial?

R: No. La producción comercial se lleva a cabo bajo contrato entre el agricultor y las compañías procesadoras. Hay algún control de la calidad del producto. Más aún, fenotípicamente el maíz opaco-2 se distingue con facilidad de los otros tipos harineros que se cultivan en Colombia.

P: ¿Cuán importante ha sido en Colombia el problema de la contaminación por polen extraño en los campos de producción comercial de maíz opaco-2?

R: No ha habido problemas severos. Los contratos de producción requieren que los campos estén en completo aislamiento en cuanto al tiempo o al espacio. No ha habido ningún problema con los pequeños productores.

P: ¿Qué procedimiento se ha empleado para determinar la prima extra en el precio diferencial para el opaco-2? ¿Tamaño de muestra y procedimientos? ¿Determinaciones químicas?

R: El precio de compensación fue considerado como un 10% de diferencia en rendimiento entre el opaco-2 y el maíz normal. Una institución gubernamental llamada IDEMA toma muestras al azar y la identificación se hace fenotípicamente.

PONENCIA DE ROBINSON (págs. 297-303)

P: ¿Se puede utilizar el maíz opaco-2 para elaborar un cereal para el desayuno del tipo de las "hojuelas"?

R: Las actuales variedades de maíz opaco-2 modificado no se pueden usar para este tipo de cereales porque no dan trozos de grano del tamaño necesario.

P: ¿Se han hecho esfuerzos para elaborar y promover hojuelas para el desayuno hechas de maíz opaco-2?

R: No, que yo sepa.

P: ¿Qué pasa con el contenido de lisina y aminoácidos cuando la masa (o maíz molido) se lava con agua para separar el almidón del salvado para obtener *ogi*?

R: No estoy familiarizado con el proceso para hacer el *ogi*. Puedo solamente decir que cuando los maíces opacos modificados se utilizan existe la tendencia de alguna pérdida de proteína soluble en el agua en la operación del lavado.

P: ¿Puede explicar usted si hay alguna diferencia en el valor alimenticio total (cantidad de aminoácidos) del producto cocinado (tortilla) de maíz normal y de opaco-2?

R: La cantidad de lisina y triptófano como porcentaje de la proteína no registra un cambio significativo. El valor nutritivo total en las variedades opacas permanece mejor que en las normales.

PONENCIA DE WALL Y PAULIS (págs. 305-314)

P: Los datos del Dr. Mertz parecen indicar que el maíz que tiene proteína sin zeína y 100% de glutelina sería un alimento muy satisfactorio. Su método para medir el contenido de zeína parece en extremo sencillo y confiable para verificar material vítreo o maíz normal con respecto a los bajos niveles de zeína. ¿Entendí correctamente que sólo el molido y la extracción de alcohol más la determinación de proteína son necesarios para la evaluación de lisina en las muestras?

R: Después de que la zeína se ha extraído de la muestra ponderada de maíz molido, la dispersión se centrifuga y la solución salina se añade vigorosamente a una alícuota del sobrenadante. La turbidez que resulta de la precipitación de la zeína se mide en un colorímetro a 590 mm. Este valor es corregido a la absorción (o absorbencia) por grano de proteína basada en el análisis de nitrógeno de la pasta. Los estimados de lisina se obtienen luego de conjuntar las absorbencias de los extractos con las lisinas estimadas para el analizador de aminoácidos para una serie de muestras de maíz de diferentes genotipos. De nuevo, el Dr. Mertz y yo presentamos datos que indican que la glutelina varía en composición y en calidad, y esto afecta el contenido de lisina en el grano, aunque el factor que más contribuye a la deficiente calidad de la proteína del maíz es su contenido de zeína. Esta variabilidad en la glutelina puede contribuir al error más común en este método.

P: Un método rápido para determinar el contenido de zeína es muy importante para los fitomejoradores que trabajan con maíz opaco-2. (1) Dénos por favor los

detalles del procedimiento, si es que no se ha publicado, y las referencias si ya ha sido publicado. (2) ¿Cuál es el tamaño mínimo de la muestra permitido en este análisis: es decir, es posible el análisis individual de grano? (3) ¿Se desgrasan las muestras antes del análisis? (4) ¿Recomendaría usted esta técnica para los tipos opaco-2 modificados?

R: (1) El procedimiento o análisis rápido de zeína se está preparando para publicarse y en breve se enviará al *Journal of Agricultural and Food Chemistry.*
(2) En la actualidad estamos empleando una muestra de 200 mg/20 ml de extractante. Hemos usado con éxito una cantidad tan pequeña como 100 mg con 10 ml de extractante. El procedimiento se ha aplicado al análisis de tejido de endosperma con buenos resultados. Para el endosperma se necesita una curva estándar diferente. Creemos que el método se podría usar para el análisis de un endosperma de un solo grano si se disminuye apropiadamente, a escala, las cantidades de reactivos.
(3) Las muestras no tienen que desgrasarse antes del análisis, pero si se usan muestras completas con grasa, el análisis se debe hacer inmediatamente después de moler el grano. Los ácidos grasos libres que se forman en el maíz molido almacenado incrementan los valores de turbidez. Se pueden usar muestras desgrasadas, pero se obtiene una correlación ligeramente diferente y un error ligeramente mayor.
(4) Hemos demostrado que este procedimiento diferencia con éxito los tipos vítreos de alta lisina de los maíces dentados con baja lisina.

P: ¿Incluyó usted muestras de maíz normal de muy baja proteína en su estudio de regresión zeína-lisina?

R: Sí. En nuestro estudio incluimos muestras de maíz de muy bajo y de muy alto contenido de lisina. En el análisis de nuestros datos se usa una determinación de proteína basada en el análisis de nitrógeno mediante el método Kjeldahl. El contenido de lisina se correlaciona más directamente con la fracción de proteínas totales que la zeína. Si se examinan las muestras de maíz con contenido similar de proteína, se podría obtener una correlación negativa satisfactoria de lisina-turbidez sola.

P: Usted cita un coeficiente de correlación de $r = 0.87$ entre el contenido de lisina y la turbidez ocasionado por las precipitaciones de sal en opaco-2, harinoso-2 y dentales normales. ¿Cuál es la correlación de la turbidez y el contenido dentro del grupo opaco-2? ¿Del harinoso-2? ¿Del normal?

R: Dentro de cada clase de maíz, los coeficientes de correlación entre la turbidez de los extractos debido a la zeína por gramo de proteína y lisina por 100 g de proteína en el grano no fueron tan satisfactorios como para la gama completa de variabilidad de lisina entre todos los genotipos. Dentro del grupo de opaco-2 el coeficiente de correlación fue de −0.59 y dentro de la clase normal el valor de r fue de −0.36; pero dentro de la clase harinosa-2 el coeficiente de correlación fue de sólo 0.05. Así, dentro de un grupo que tiene análisis similares, el método no distingue pequeñas diferencias en el contenido de lisina. Algo de esta falla se

debe a limitaciones en el análisis de lisina por el analizador y al hecho de que la variación de glutelina también da como resultado algunas diferencias en la lisina. El principal atributo de este método es que permite la diferenciación rápida de niveles altos, intermedios y bajos de contenido de lisina en programas de sondeo o de análisis.

PONENCIA DE MISRA Y COLABORADORES (págs. 315-330)

P: ¿Cuáles factores cree usted que están implicados en causar un cambio en calificar a los trigos, cuando se dan como alimento para determinar los valores de REP y FER?

R: REP y FER miden características diferentes. En el método REP ordinario, las raciones se formulan de manera que contengan iguales niveles de proteína. Puesto que los granos no necesariamente contienen niveles iguales de proteína, esto significa que se deben usar diferentes niveles de diluyentes, tales como almidón. La calificación u ordenamiento por el método REP es determinado primordialmente por el nivel de primer aminoácido limitante por la unidad de paso de la proteína en el material de prueba (lisina en el caso de los materiales de trigo). Se esperaría un incremento en la lisina por unidad de peso de proteína que diese como resultado un incremento en el valor de REP Sin embargo, (1) las diferencias en la digestibilidad (tanto energía como proteína) y la presencia o ausencia relativa de materiales en el grano que influyen en el metabolismo de la proteína, y (2) la utilización, o la utilización y metabolismo de aminoácidos específicos, ocasionan alteraciones de los valores de rango REP pronosticados que se basan puramente en el contenido de lisina por unidad de peso de la proteína, a valores REP determinados realmente en los ensayos de alimentación. A menos que estos factores sean específicamente proteínicos por naturaleza, están contenidos en raciones que difieren en cantidades y proporciones del grano original.

En el método FER usual, las raciones se formulan para que contengan iguales niveles de grano. Puesto que los granos no necesariamente contienen iguales niveles de proteína, las raciones variarán en el contenido de proteína, pero en las mismas proporciones que se encontraron en los granos originales. Así, un trigo de mayor proteína dará como resultado la formulación de una ración con un mayor contenido de proteína que un trigo de bajo contenido de proteína. La calificación o el orden por rango según el método FER es determinado primordialmente por las interacciones entre el contenido de proteína total y el nivel del primer aminoácido limitante sobre la base de peso unitario del *grano*. Es difícil predecir cómo se comportará una muestra específica. Un trigo de alta proteína que tenga un contenido de lisina relativamente bajo sobre la base de un peso unitario de *proteína* pudiera en realidad suministrar más lisina por unidad de peso del *grano* que un trigo de baja proteína que tiene un contenido de lisina relativamente alto sobre la base de unidades de peso de *proteína*. Se desconoce mucho en el área de los requerimientos de aminoácidos y en la de las interacciones proteína-nivel. Las diferencias en digestibilidad (tanto de energía como de proteína) y la presencia o ausencia relativa de materiales en el grano que directa

o indirectamente influyen sobre la utilización y metabolismo de la proteína o de aminoácidos específicos, también influyen sobre los valores REP resultantes. Los materiales que causan estas influencias están presentes en las raciones en el caso del método FER en el mismo nivel por unidad de peso del cereal original. Luego, estos factores secundarios que influyen los valores de REP y FER son los mismos, pero están presentes en grados diferentes, dependiendo del método empleado. Los bioensayos son necesarios porque estos factores no se pueden predecir con exactitud (FER menos que REP) a partir de los valores químicos.

Puesto que los valores que determinan el valor de rango de FER y REP difieren en tipo o grado, no es sorprendente que los valores relativos obtenidos por los dos métodos no sean los mismos. Pero no deben serlo, puesto que constituyen respuestas a preguntas un tanto diferentes. El asunto realmente importante es la selección del método apropiado. En un programa de fitomejoramiento interesado principalmente en la calidad proteína, el valor REP sería apropiado. En un programa de fitomejoramiento interesado en el valor del grano con fuente de proteína (calidad y cantidad), el método FER es apropiado para los procedimientos de selección. Naturalmente, el nutriólogo quisiera usar los dos, más media docena de otros procedimientos, pero esto obviamente no es práctico.

P: ¿Cuál es la razón por la que el método colorimétrico usado para triptófano en maíz no es tan eficiente en sorgo?

R: Hay dos razones: primera, los taninos en sorgo altamente pigmentado interfieren con la digestión de la proteína por la papaína. Segunda, el color de los pigmentos llevados a la solución interfiere con el color obtenido del triptófano con el reactivo ácido glioxílico.

P: ¿Se ha usado el procedimiento modificado de extracción Landry-Moureaux, que se emplea en su laboratorio, en otros cereales como trigo y cebada? En el perfil de aminoácidos de las fracciones II, III y IV, ¿fue el porcentaje de amoníaco similar para cada mutante?

R: El método Landry-Moureaux se ha usado con éxito en nuestro laboratorio con sorgo. Hemos sometido un documento sobre esto al *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* El nivel de amoníaco en nuestro hidrolizado varía dependiendo del contenido de amida en la proteína y del grado de deaminación de algunos de los aminoácidos por el HCl 6N. Los niveles estuvieron en el rango del 2 al 4%, que consideramos "normal".

P: ¿Puede dar una estimación del costo por muestra para el procedimiento Landry-Moureaux sobre las fracciones de la proteína?

R: No tenemos ningún dato sobre esto, puesto que lo hemos usado como una herramienta de investigación básica. El mejor costo sería la mano de obra.

P: ¿Se dispone de algunos métodos rápidos y sencillos para estimar la fracción V, que sus datos mostraron que era la más deseable?

R: No. Nuestro procedimiento original de fraccionamiento por cobre alcalino (Mertz, Lloyd y Bressani, Cereal Chem. 1957) rinde una fracción de glutelina más rapidamente, pero la fracción no es idéntica a la fracción V (la fracción por cobre tiene menos lisina).

P: ¿Cómo se compara el peso de un endosperma doble mutante sin-zeína con el peso del endosperma del maíz "normal"?

R: El peso es mucho menor (25 a 50%) que el de la contraparte normal, debido al almidón y síntesis de proteína menores.

P: En sus métodos para determinar lisina, el pericarpio se elimina. ¿Carece por completo de lisina el pericarpio? ¿Qué aportación hace el pericarpio a la nutrición humana?

R: No. El pericarpio contiene lisina a un nivel bajo (1 a 2 gramos de lisina/100 gramos de proteína). El pericarpio sirve únicamente como fibra o materia dura en la nutrición humana, porque no puede digerirse.

PONENCIA DE MERTZ Y COLABORADORES (págs. 331-356)

P: Al poner varios cereales a un nivel común de proteína (8%) para hacer pruebas biológicas con animales pequeños, ¿piensa usted que le daría el panorama absoluto sobre el valor comparativo de los diversos cereales? Si es así, ¿podemos usar diversos cereales según se tienen para preparación de alimentos para el ganado?

R: El uso de un nivel común de proteína de 10% o menos, prueba con respecto a calidad de proteína. Esto no es una prueba de comportamiento del cereal cuando se suministra a un nivel máximo en la dieta. Ambos métodos ayudan a predecir el valor del cereal.

P: Pese al mayor valor de lisina para el harinoso-2, sus datos han indicado que la tasa de crecimiento y el REP de las ratas no son diferentes que cuando se les alimenta con maíz normal. ¿Sería posible que el gene harinoso-2 pudiese tener algún otro efecto colateral, por ejemplo el incremento de los inhibidores de la proteína?

R: Según los estudios de proteína aprovechable en harinoso-2 realizados por Eggum, y reportados aquí por el Dr. O. E. Nelson, no se encontraron diferencias entre el maíz harinoso-2 y el normal. Esto sugeriría del comportamiento relativamente deficiente del maíz harinoso-2.

P: ¿Hay un conocimiento adecuado de los requerimientos tradicionales de la rata de campo para usarlo como animal de prueba? ¿Son los aminoácidos sintetizados en el tracto intestinal de la rata de campo? Si es así, ¿afecta esto su utilización para este tipo de análisis?

R: En efecto, los datos sobre los requerimientos nutricionales de la rata de campo no son tan extensos como los de la rata blanca. La rata de campo se usa durante un lapso más breve de su período de vida, justo después del destete (16-21 días de edad) cuando se le supone funcionar como animal monogástrico (sin función del resumen). Así, teóricamente, las bacterias del tracto deben contribuir con una gran aportación de los aminoácidos.

P: Según se utilicen animales diferentes, los valores REP comparativos de los varios cereales fueron diferentes en sus estudios, es decir, diferentes cereales se calificaron con valores diferentes, dependiendo del animal utilizado. ¿Quisiera usted comentar un poco sobre este aspecto?

R: Se deben generar condiciones más adecuadas para la utilización de la rata de campo y el ratón en el ensayo de los granos de cereales. En mi opinión, las diferencias en los REP observados entre la rata y las otras dos especies se debieron a la falta de sensibilidad de los procedimientos del ensayo con el uso de la rata silvestre y el ratón. La rata clasificó los granos de los cereales (de los programas cooperativos) según se podía predecir —en el orden de sus contenidos decrecientes de lisina— excepto para una muestra de sorgo que se sabía tenía un alto contenido de taninos.

P: ¿Cómo se compara el REP de un maíz opaco-2 con el REP de maíz opaco-2 de alto valor en aceite que contiene mayor cantidad de proteína en el germen?

R: Si se supone que el endosperma del opaco-2 contiene 10% de proteína con un REP de 80% de caseína, y el germen contiene 20% de proteína con el REP de 100% de caseína, un maíz opaco-2 que contiene 32% de embrión o germen debe tener un REP de alrededor de un 90% de caseína. Esto se calculó bajo la presunción de que nuestros maíces opaco-2 con un REP de 85% de caseína contienen alrededor de un 15% de germen.

P: La ingestión de alimento es obviamente muy importante en el cálculo del REP. Las diferencias en energía posible de metabolizar de las dietas pueden influir en los resultados del REP, así como las diferencias en la calidad de la proteína. ¿Podría usted comentar acerca de esto?

R: En nuestras pruebas cooperativas con ratas, ajustamos proteína, grasa, carbohidratos, minerales y fibra a los mismos niveles en todas las dietas de cereales a fin de mantener en iguales niveles los contenidos de energía metabolizable de las dietas.

P: Según su experiencia, ¿la suplementación de maíz normal con lisina mejorará el crecimiento de la rata y los valores REP a niveles obtenidos con el maíz opaco-2?

R: En estudios realizados con ratas por el Dr. Bressani, un tipo de maíz de Guatemala tenía como el aminoácido más limitante, aunque en la mayoría de las variedades de maíz lo es la lisina. Aún con lisina y triptófano

añadidos a sus niveles óptimos, obtuvimos alguna evidencia que mostraba que el maíz opaco-2 era todavía superior. Posiblemente en ello estaban implicadas la razón leucina-isoleucina o la digestibilidad.

PONENCIA DE VILLEGAS (págs. 357-364)

P: A grosso modo, ¿qué proporción de los análisis que indican un alto nivel de triptófano muestran subsecuentemente ser bajos en lisina?

R: No hemos observado muestra alguna con un alto contenido de triptófano que tenga un bajo contenido de lisina. En la proteína del endosperma del maíz hay una alta correlación entre estos aminoácidos.

P: Hemos encontrado una correlación directa entre el nivel de lisina y el inhibidor tripsina en el endosperma del maíz. Tal vez el contenido del inhibidor tripsina podría también dar una indicación de los niveles de lisina en el endosperma del maíz. ¿Nos podría dar sus comentarios al respecto?

R: Considero que esta correlación sería muy útil para seleccionar materiales si el método para medir el inhibidor tripsina es sencillo y confiable.

P: ¿Recomendaría usted el método de fijación de colorante para la determinación del contenido de proteína en un programa de análisis de maíz?

R: No para medir contenido de proteína, pero sí para determinar la calidad de la proteína.

P: ¿Es la digestión de papaína que usted describió igualmente efectiva para los tipos opaco-2 de endosperma duro y de endosperma suave?

R: Sí. Sin ningún problema hemos usado papaína para todos los tipos de endosperma en un gran número de muestras.

P: ¿Cuál de los siguientes métodos recomendaría usted para analizar y seleccionar maíz de alta lisina en una institución donde los fondos son limitados pero donde se requieren resultados precisos: el método Udy, la cromatografía de papel, o el espectrómetro?

R: Yo recomendaría el método Udy para evaluar la calidad de la proteína, pero no la cantidad.

PONENCIA DE FORMAN Y HORNSTEIN (págs. 381-391)

P: ¿Tiene usted algún conocimiento acerca de la fortificación de dietas humanas con metionina en situaciones de campo, particularmente con referencia al gusto o el sabor y aceptación?

R: No en ensayos de campo. Sin embargo, la evaluación preliminar de yuca fortificada con proteína de soya y metionina eliminó el uso de la metionina debido a problemas de sabor.

P: Entiendo que usted dice que los patrones de consumo de alimentos culturalmente determinados no tienen relación con la nutrición. ¿No sería posible que los patrones de buena nutrición hayan evolucionado a partir de la experimentación dc prueba y error, llevados a cabo durante generaciones y con interacción entre alimentos opcionales y requerimientos nutricionales?

R: Los patrones culturales de alimentación obviamente buscan la supervivencia, pero esto no garantiza la buena nutrición. Un ejemplo interesante de esto es la deficiencia generalizada de vitamina A en regiones donde la palma de aceite está a la puerta.

P: En su programa de fortificación al nivel de la comunidad, ¿quién costea el alimento básico o el costo de la fortificación, el consumidor o su institución?

R: En los ensayos de campo que se tienen en marcha, el costo de la fortificación no se transfiere al consumidor. El interés de esta etapa es evaluar la aceptación, la logística y el efecto nutricional

P: En el caso de la fortificación de la yuca, usted mencionó mezclas de yuca y harina de soya en Brasil y excluyó las posibiliddes de mejoramiento de la proteína de la yuca mediante la genotecnia. ¿No es cierto que es posible mejorar la proteína de la yuca mediante fortificación microbiana (según se reportó en los EUA), y también a través de la genotecnia (según se reportó en Colombia y Nigeria)?

R: La fermentación microbiana es una manera de mejorar la proteína de la yuca. Es esencialmente un procedimiento de fortificación, en el cual el fortificante se prepara in situ. Los reclamos de yuca de alta proteína se basan, al parecer, en determinaciones de nitrógeno total. Un examen más profundo ha mostrado que alrededor de la mitad del nitrógeno está relacionado con el contenido de proteína. Desde el punto de vista de la probabilidad, yo estimaría que es baja la probabilidad de encontrar una yuca de alta proteína verdadera.

PONENCIA DE SPRAGUE (págs. 393-402)

P: Los estudiantes más capaces de los países en desarrollo parecen ser más atraídos por la investigación pura. ¿Qué se puede hacer para volver a dirigir las prioridades educativas y el reconocimiento hacia programas nacionales de alimentación?

R: Las instituciones educativas tienen la gran responsabilidad de orientar las prioridades de la educación. Desafortunadamente, aunque bien intencionadas, pocas personas del sistema educativo poseen una comprensión cabal de lo que se re-

quiere. Hay que encontrar maneras de atraer a los estudiantes de las universidades a programas internacionales de producción de alimentos.

P: ¿Piensa usted que el nivel de adiestramiento (doctorado o maestría) es indispensable para el desarrollo de estos programas?

R: No. Estos programas podrían ser manejados por personas con menor nivel de adiestramiento académico. Sin embargo, se debe recordar que la gente con los más altos grados académicos es generalmente la que asciende a posiciones de toma de decisiones. Esto entraña un riesgo: es posible que la gente con los grados más altos, pero con menor conocimiento de los programas, sea promovida a los puestos de toma de decisiones. Como resultado, se podrían hacer más decisiones incorrectas.

PONENCIA DE MATTERN Y SUS COLABORADORES (págs. 421-431)

P: Algunas de las concentraciones de proteína mostradas en su presentación fueron extremadamente altas en la F_2 o en las generaciones de progenie a granel o conjuntas. ¿Estos niveles son reproducibles y se podrían alcanzar en una variedad de trigo comercial?

R: Las muestras se cultivaron en Yuma, Arizona, con altos niveles de fertilización y, al parecer, tuvieron algo de tensión de calor durante la última parte del ciclo de crecimiento. Es imposible pronosticar el nivel de proteína en el trigo en un ciclo de cultivos determinados, debido al ambiente impredecible. Sin embargo, los trigos con un potencial genético de mayor proteína siempre serán superiores a los tipos normales. Bajo condiciones normales de crecimiento y de niveles de rendimiento, yo no esperaría que las variedades comerciales igualaran el 25% de contenido de proteína de los materiales que se han mostrado.

P: ¿Con cuántas líneas de trigo se hicieron bioensayos este año, y qué se podría decir acerca de las tasas de eficiencia de estas líneas?

R: En nuestro primer año de operaciones bioensayamos aproximadamente 200 muestras. No se han concluido los cálculos de todas. No todas fueron diferentes líneas; algunas fueron duplicaciones de líneas sembradas en diferentes localidades. Recientemente incrementamos nuestra capacidad al comprar nuevas jaulas, y con la práctica podremos aumentar nuestra eficiencia. La mayoría de nuestras evaluaciones se han hecho sobre la base de FER. Una generalización es que se podrían detectar diferencias estadísticas en los valores FER del grano de trigo. En estas diferencias están implicados la cantidad de proteína, calidad de la proteína, digestibilidad (y factores que no se han aislado). Sin embargo, por lo general se pueden separar aquellos materiales que se pueden pronosticar como "buenas" fuentes de proteína de las fuentes "intermedias" y fuentes "deficientes".

PONENCIA DE SCHRICKEL Y CLARK (págs. 433-446)

P: ¿Cómo se compara la calidad de la proteína de avena con la de opaco-2 en la nutrición humana?

R: Bressani demostró (en 1963 o 1964) que el opaco-2 tenía un mayor valor biológico en la alimentación de niños que la avena común. No se han hecho estudios de nutrición de avena de alto contenido proteínico contra el maíz opaco-2.

P: Iodi tiene el doble de contenido de aceite que la mayoría de los cultivos. ¿Ha habido problemas con el almacenamiento y procesamiento de esta variedad de alto contenido de aceite?

R: No hasta donde sé. Los antioxidantes naturales estabilizan el aceite en avena Iodi almacenada. La vaporización, más el secado y el movimiento sirven para estabilizar la avena porque el tratamiento de calor inhibe la lipasa y las enzimas oxidativas.

PONENCIA DE MUNCK Y COLABORADORES (págs. 453-466)

P: ¿Cuáles son las características fenotípicas de los cinco o seis mutantes inducidos EMS que usted reportó en la cebada? ¿Son de alguna manera de tamaño más pequeño y arrugados?

R: Refiriéndonos al Dr. Doll (Dinamarca) en el fenotipo de la planta ocurren cambios menores. Las plantas tienden a ser ligeramente menores. El mutante de alta lisina 1508 tiene granos ligeramente pequeños y rinde alrededor del 90% de la variedad progenitora, Bomi.

P: Por favor, dénos información sobre el procedimiento de sondeo o selección que utilizan usted y su grupo para identificar mutantes de alta lisina.

R: Se emplea el procedimiento de fijación de colorante (DBC), según lo señalé en mi ponencia.

P: ¿Qué evidencia existe en el sentido de que las nuevas variantes inducidas por EMS en cebada "mendelizan"?

R: Refiriéndose de nuevo al Dr. Doll (Dinamarca), los mutantes con 10 a 15%

P: ¿Por qué no se reporta triptófano en sus evaluaciones de aminoácidos?

R: En comparación con el maíz, el triptófano es alto en la cebada (1.3 g/16 g de N) y suficiente desde el punto de vista nutricional. Esto no parece ser una asociación del incremento en lisina con triptófano en la cebada lys, como lo es en el maíz opaco-2.

Indice Albabético

A

Aceite
de la avena, 551
del maíz
en el normal, *passim*, 235-238 *passim*, 254, 260-267, *passim*, 294, 312, 418
en el opaco–2, 100,102, 235-239 *passim*, 294, 300. 301, 312, 536
en los mutantes, 252-255
del sorgo, 418

Acido aspártico
cebada, 461
maíz, 316, 317, 324-328 *passim*, 517, 523
pruebas de alimentación en ratas, 521, 522

Aceite poli-insaturado del maíz, 536

Acido glutámico
en la cebada, 461
en el maíz, 324-328 *passim*, 517
pruebas de alimentación en ratas, 521, 522

Adherencia proteínica de la fécula de la cebada, 457, 461, 462

Advección y pérdidas en la humedad del maíz, 175

Agricultores
y el maíz de alta calidad proteínica, 280-282, 290-291, 375-377, 473-474
y las modificaciones de la planta, 152
y programas de cultivo en los países en vías de desarrollo, 398, 400

Alanina en los mutantes del endosperma del maíz, 316-328 *passim*

Albúmina
arroz, 500, 505
cebada, 457
maíz, 459

Alimento de exportación para los países en vías de desarrollo, 21

Alimento de importación, 27

Alimento
abastecimiento, 21, 24-25
fortificación de proteínas, 11-13, 382-390, 549
producción de, 18-28 *passim*

Almacenamiento
cultivos, 24
del maíz opaco–2, 375

Altitud y crecimiento del maíz tropical, 179-185, *passim*

Amilasa, en el endosperma del maíz mutante, 246

Amilopectina, en el endosperma del maíz mutante, 246

Aminoácidos (*Ver también* Aminoácidos específicos)
cebada, 441-443, 453-464 *passim*
cereales, 333-336, *passim*, 404, 468-470
esenciales, 32-38, *passim*, 46, 55-60 *passim*, 63-71 *passim*, 103, 209, 212 *passim*, 367-369, 408-414 *passim*, 441, 442, 457, 500, 506

Aminoácidos limitantes, (*Ver* Aminoácidos limitantes)

Aminogramas, del endosperma del maíz opaco–2, 31

Amonio, en las fracciones Landry–Moureaux, 545-546

Análisis biológicos de los granos de cereal, 470-471

Análisis colorimétrico, 308, 310, 468-469 470, 545

Análisis químico de los granos de cereal, 467-470

Analizador automático de aminoácidos, 468, 469

Análogo en la lisina, inhibidor del crecimiento, 212

Antimetabolitos (*Ver* depresores del crecimiento en los granos de cereales)

Area foliar, 181-191 *passim*

Arginina
cebada, 459, 460, 462
maíz, 316, 317, 324-328 *passim*, 517

Arroz
aminoácidos del, 441, 442, 496, 497, 500, 506, 507, 508
contenido de lisina, 499, 501, 504-509 *passim*
contenido proteínico del, 441, 442, 443, 499-509
en la nutrición humana, 504-509 *passim*
fortificación del, 385-387
mejoramiento del, 500-503
metabolismo del nitrógeno en el, 507
molienda del, 496-507 *passim*
pardo, 496-509 *passim*
propiedades del grano, 502-506
pruebas de alimentación en ratas, 504-505, 507

Asimiladores, 181, 185

Aspergillus, especies, 194, 203-206 *passim*

Aumento de la población, 3, 4, 18-19, 20, 28

Avena, copos, 439-441

Avena
de alta calidad proteínica, 433-444, 551
harina, 439, 442, 443
mejoramiento de la, 433-445 *passim*
valor biológico, 440, 444, 470

Avenina, en la avena, 442

B

Balance de nitrógeno
cebada, 461, 463
dietas con maíz y frijoles, 56-58
en mezclas de proteínas vegetales, 48-49
en porcinos lactantes, 82-83
maíz, 37-48 *passim*, 299
proteína de la leche, 44

Banco para préstamos hipotecarios como una restricción en la producción alimenticia, 26

Banda teñida
en el arroz, 508
en la cebada, 455, 461, 464, 551
en el maíz, 310, 358, 548
descripción, 469

Brasil, uso del maíz, 272, 276, 289-295

C

Calidad proteínica
en arroz, 504-506, 507
en avena, 433-445, 551

en cereales, 20, 29-30, 331-356, 403-405 546-548
en el trigo, 421-431, 550
en la dieta humana, 9-13 *passim*, 41-59, 377, 549
en los alimentos de consumo cotidiano, 382-390
en los triticales, 331-355, 447, 452
maíz de alta,
evaluación bioquímica del, 305-313, 469, 542-544
mejoramiento del, 96, 106
145-147, 161-162, 209-212
mutante, 245-257 *passim*
mezclas vegetales con el maíz
opaco – 2, 35, 36
normal, 36, 259-269, 333-355 *passim*, 538
opaco–2, 36, 37-38, 331-355

Calorías de los granos de cereal, 404
passim, 489, 495, 517-524, 547, 548

Cambios en la materia seca del maíz, 167-168 *passim*, 234-235, 240-241, 242

Capa obscura, formación en el maíz, 167, 168, 169, 176, 235

Capa testigo en el sorgo, 407, 410, 413, 418

Características del gene sencillo en el mejoramiento de la planta, 151, 153, 154

Carbohidratos en los granos de cereal, 191, 404

Cáscara del maíz y resistencia a las enfermedades, 534

Cebada
alto contenido de lisina, 455-464, 551
aminoácidos, 441, 442, 453-464 *passim*
morfología de la semilla, 456-457
proteína, *passim* 441, 442, 455-463
pruebas de alimentación en ratas, 461-462, 463
valor biológico, 461, 463, 470

Centeno
aminoácidos del, 441, 442
de elevada tasa proteínica, 441, 442
pruebas de alimentación en aves de corral, 449, 450

Cephalosporium acremonium, 94

Cereales– leguminosas dieta de, 404-405

Cereales
aminoácidos en el endosperma de 453, 455
análisis bioquímico de, 467-471
de alta calidad proteínica, 20, 29-30, 331-355, 403-405, 546-548
elevado contenido de lisina, 462, 463
investigaciones, 281-282
mejoramiento de, 89-90, 403-405
para desayuno, 542
rendimiento del grano con respecto al contenido de proteína, 434-439 *passim*

Cistina
cebada, 459, 460, 461
mutantes del endosperma del maíz, 248
sorgo, 408, 414

Citrato diamónico, en las dietas con maíz opaco – 2, 34

Cobre, en los mutantes del endosperma del maíz, 249

Colombia, uso del maíz en, 272, 282, 285-287, 386, 541-542

Color del grano del maíz, 528-529

Como suplemento en los alimentos cotidianos, 383-388 *passim*

Complemento proteínico para mejorar la calidad proteínica del maíz, 48-50

Concentrados proteínicos y Revolución Verde, 8

Constante universal del nitrógeno, 439
equilibrio de nitrógeno en el maíz, 43, 44

Consumidores del maíz
de proteína modificada, 145, 146, 14,
opaco–2, 213, 214, 271-272, 281, 291-302, *passim* 368-370, 379, 477-478

Consumo de carne, 3-8 *passim*, 13

Consumo de proteínas animales, 5-8 *passim*

Contaminación del maíz opaco–2 por medio del polen, 541

Contenido de humedad en el maíz, 93, 102, 165, 166, 171-177, *passim*, 199, 207, *passim*, 235

Contenido proteínico de la sémola, 434-445, *passim*

Control del precio de mercado, 24

Correlaciones fenotípicas entre los maíces sintéticos
opaco–2 y harinoso–2, 134-137

Correlaciones genotípicas del maíz sintético opaco–2 y del harinoso–2, 135, 136, 137

Cultivos
de rotaciones múltiples, 26
precios, 23-24, 27, 395
producción, 23-24, 393-402, 549-550
rendimiento 20, 25-27, *passim*

Cultivos de rotaciones múltiples, 26

Cuerpos proteínicos
de la cebada, 456, 459
del arroz, 495, 496, 503, 508
del maíz, 307, 308
en la semilla de avena, 438, 439

CH

Cheesy, maíz mutante, 539

Chilo Zonellus, 95

D

DL–metionina, 72

DL–triptófano, 48-57 *passim*, 370

Dentado, maíz, 90, 91, 128-129, 312-313 (*también ver* Maíz normal)

Depresores del crecimiento del grano de cereal, 447-448, 449, 470

Descascaramiento alcalino del grano de sorgo, 414-415, 418

Descascaramiento del grano de sorgo, 413-415, 418

Descomposición de la mazorca del maíz por la *diplodia*, 165, 167, 194, 197, 199, 533

Descomposición de la mazorca en el maíz, 154, 176, 193-197, *passim*, 207, 243, 279, 290, 291, 533-534

Descomposición de la semilla en el maíz, 94, 95

Descomposición del tallo en el maíz, 153, 157, 532

Diatraea saccharalis, 194, 200, 201

Digestibilidad
de los aminoácidos de la cebada, 462, 463
de las proteínas de los cereales, 403
de las mezclas vegetales que contienen el maíz opaco–2, 35, 36
maíz de las proteínas del, 306, 312
mutante del endosperma del, 246, 250 256, 277-278
opaco–2, 46, 243, 520, 521, 524

Dieta de caseína, 34, 36, 332-356, *passim*

Dieta humana (*ver también* Nutrición humana)
de alta calidad proteínica, 9-13 *passim*, 41-59, 377, 549
maíz (*ver* Maíz en la dieta humana)

Dieta maíz–frijol, 54-59 *passim*, 405

Dieta maíz–frijol soya, 64-84 *passim*, 525, 526, 527

Dominancia, en el maíz, 104, 225

Dosificación y tipo de endosperma, 140

Duryea, 13, 286-287

E

Eficiencia alimenticia del maíz opaco–2, en la nutrición de porcinos, 513, 514

Embrión
de la cebada, 455
del maíz, 105, 211, 253, 358, 455

Endosperma
aminoácidos en cereales, 453, 455
de la avena, 436, 438
de la cebada, 453, 461 *passim*
del arroz, 496, 500, 503-504
del maíz
análisis, 358-363, 548
del opaco–2. (*ver* endosperma del maíz opaco–2)

distribución del nitrógeno en el, 319-320, 321-323
efecto sobre las mutantes, 109-124 *passim*, 245-257, 276, 277-278, 315-329, 528, 546
fracciones Landry-Moureaux, 318-329
peso del, 546
proteína del, 306, 307
susceptibilidad a las plagas y enfermedades, 193-207 *passim*, 533, 534
del sorgo, 407, 410, 419

Energía metabolizable para los granos de cereal, 404

Entrenamiento de personal para el programa nacional del cultivo, 400, 401, 550

Escala de conversión alimenticia para porcinos, 70-81 *passim*

Estratos de aleurona
arroz, 496, 503, 505
cebada, 462
maíz, 211

Equipos de extensión en los programas de producción
de cultivos, 395, 402 *passim*

Equivalentes de calorías en la planta, 7, 8, 9

Equivalentes calóricos del grano, 7

Equivalentes catequina en el sorgo, 411-414 *passim*

Excesiva dureza de los granos del maíz opaco–2, 482

Extendedor de la amilosa (ae) del maíz mutante, 246, 255 *passim*, 539

Extracción de agua del maíz por medio de electroforesis poliacrilamida, 459, 460

F

Fécula
granos
cebada, 456-457
arroz, 500, 501
síntesis endospérmica de, 246, 255-256

Fenilalanina
en el maíz opaco–2, 517
en pruebas de alimentación en ratas, 521, 522

Fenilcetonuria, maíz opaco–2
tratamiento de la, 303

Fertilizador nitrógeno
en el arroz, 500-503 *passim*
en el maíz opaco–2, 489-494 *passim*

Fertilizantes
abastecimiento para países en desarrollo 24
nitrógeno
arroz, 500-503 *passim*
maíz opaco–2, 489-495 *passim*
pequeños granos, 440
producción del cultivo, 395

Fitomejoramiento (*ver también* Selección)
arroz, 500-503
avena, 433-444 *passim*
con respecto a la fortificación, 387-388, 549
de la calidad proteínica de los cereales, 403-405
de la cebada, 453-464 *passim*
del maíz, 145-147, 209-212, 531-532
opaco–2, 93-106, 129-140, 141, 275-278 *passim*, 481-487 *passim*, 511, 516
para la calidad proteínica, 93-106, 145-147, 162-163, 209-212
para la resistencia a las plagas, 207, 534
para la vidriosidad del grano del maíz, 229-230, 231, 241, 243, 536
proteína modificada, 89-106, 149-162
selección química, 357-358, 363
tropical, 179, 180, 190-191
planta, 149-162 *passim*
trigo, 421-430 *passim*, 439, 550
triticales, 448, 451-452

Flósculos
alternantes, 211
fértiles, 180, 181

Fortificación
de los alimentos de consumo normal, 382-390, 549
del maíz, 370, 384-385

Fortificación proteínica de los alimentos de consumo normal, 11, 12, 382-391, 549

Fortificación de la yuca, 386-387, 549

Fosforo en el maíz, 235, 236, 237, 249

Fotosíntesis en el maíz, 180, 183

Fracciones ácido solubles en el endosperma del maíz, 218-221 *passim*

Fracciones alcohol-solubles
en los cereales, 441-443

en el maíz, 307-308, 309, 319 (*ver también* Fracciones Landry–Moureaux)

Fracciones de extracción Osborne, 459

Fracción opaca en el maíz opaco–2, 214-219 *passim*, 224, 239-240, 260

Fracciones proteínicas
del arroz, 496, 500-501, 505
del maíz, 218-221, 222, 517

Fracción vidriosa del maíz opaco–2, 214-225 *passim*, 239-240, 260, 535

Fracciones Landry-Moureaux (*Ver también* Landry-Moureaux, fracciones)

Fracciones Landry-Moureaux, 323-329
arroz, 441-443, 496, 497, 498, 506, 507 508
avena, 440-444 *passim*
limitante, 404, 405, 444 (*Ver también* Aminoácidos esenciales)
maíz, 66, 67, 453, 459
esenciales, 32-38 *passim*, 46, 37, 103, 209-212 *passim*, 366-368, 517
mutantes del endosperma, 247-248 256, 315-329, *passim*
normales, 31, 41-59, 94, 247, 248, 256 370
opaco–2, 31-38 *passim*, 94, 96, 218, 219, 224, 366, 367, 368, 517
proteínas modificadas, 209-212 *passim*
selección para, 211
síntesis, 211-212
morfología de la semilla, 456-459
nutrición de cerdos, 63, 70, 521, 527
pruebas de alimentación en ratas, 517, 521, 522
sintéticos, 50-52
sorgo, 407-413 *passim*
suplementarios
alimento, 11-13, 55-59 *passim*, 383-387 *passim*
para mejorar la proteína del maíz, 42-52 *passim*, 89, 90, 477, 478, 525, 526

Frecuencia de un gene, en el mejoramiento del maíz, 154, 159

Frijol de soya
como fuente proteínica, 7, 12
como suplemento
en relación con el maíz opaco–2, 540
en los alimentos de consumo cotidiano, 384-388 *passim*
del maíz, 47-51 *passim* 385, 525, 526

Fungidosis en el grano del maíz almacenado, 194, 202-206

Fusarium
descomposición de la mazorca, *passim*, 193-198 *passim*, 208, 279, 534
descomposición de la semilla, 94, 95
descomposición del tallo, 194, 201

G

Gene (s) (*Ver* tipo específico)

Gene de lisina en la cebada, 445-462 *passim*

Genes mayores
en la cebada, 461
en el maíz, 211, 482, 539
en el mejoramiento de la planta, 151

Genes menores en la cebada, 461-462

Genes modificados para el maíz de uno o pocos caracteres genéticos, 151
opaco–2, 38, 140-146 *passim*, 162, 213-215 *passim*, 222-231 *passim*, 243, 459, 482, 535-537 *passim*

Genes proteínicos
en avena, 433-440 *passim*
en cereales, 404
en trigo, 427

Genes supresores en el maíz, 482, 483

Genética (*también ver* Mejoramiento; Genes modificadores, para el maíz, selección)
mutante del endosperma del maíz, 245-257

Genotipos (*ver también* Mutantes)
del maíz (*ver*, Tipo específico del maíz)
del sorgo, 412-414
del trigo de invierno, 425, 426-427

Germen
del maíz, 224, 252
normal, 223, 224, 254, 260-268 *passim*
opaco–2, 237, 238, 300, 301, 547
proteínico, 249

Germen plasmático
del maíz
harinoso–2, 129
opaco–2, 129, 482-483
del trigo, 424, 426

Germinación en el maíz, 203, 204, 206, 279, 280

Gibberella spp., 165, 179

Glicina en el maíz, 35, 316, 317, 324-329 *passim*

Globulina
en el arroz, 500, 501
en la cebada, 459
en el maíz, 459

Gorgojos del maíz, 95, 96, 99, 194, 207-208 279, 290, 291, 292, 535

Glutelina
en el arroz, 500, 501, 505
en la cebada, 459
en el maíz, 65, 220-221, *passim*, 249, 255, 307, 308, 319-329 *passim*, 459, 542

Grano de sorgo (*Ver* Sorgo)

Grano (s)
de maíz
análisis del, 358, 359
densidad, 102, 104, 141, 222, 249, 252, 253
digestibilidad de las proteínas, 306, 312
longitud, 512, 513, 514
normal, 93-96 *passim*, 223, 224, 234-242 *passim*, 253
número, 94, 95, 99, 175, 512, 513, 514
opaco–2, 93-104 *passim*, 141, 145, 146, 213-243 *passim*, 292, 482, 494, 495 *passim*, 512, 513, 514, 515
peso, 93, 96, 99, 145, 146, 234, 235, 252-254, 482, 492 *passim*,
profundidad, 174-175
rendimiento, 234, 240, 241, 242
avena, 436, 437, 438

Grano de maíz
apariencia del, 93, 96
cambios en la materia seca del, 165-176 *passim*
contenido de humedad, 171-174, 175-177
color del, 528-529
peso, 170, 171, 175, 486, 512, 513
rendimiento (*Ver* Tipos específicos del maíz)

Granos de leguminosas (*Ver* Leguminosas)

Grasas en el maíz opaco–2, 100, 483-486 *passim*

Gusano de la esciara en el maíz, 533

Gusanos de la mazorca en el maíz, 194, 199-202 *passim*, 207, 534

Gusano de la yema en el maíz, 201

H

Harina
avena, 438, 441, 442
maíz opaco–2, 300-302
frijol soya, 48-49 *passim*, 384

Harinoso–2, maíz
análisis de endosperma, 363
combinaciones de doble mutante, 245-256, 257, 277, 316-321 *passim*, 528
consumidores, 145, 146
gene, 483
lisina, 130-142 *passim*, 210, 211, 310, 529, 530, 531, 543
maíces sintéticos, 129-130
mejoramiento del, 129, 139
proteína, 210, 316-356 *passim*, 546-547
rendimiento, 131-146 *passim*

Heliothis zea, 194, 200, 202

Heritabilidad, de los rasgos agronómicos del maíz, 104, 130-136 *passim*, 138, 530, 531

Heterosis en los híbridos del maíz opaco–2, 511-516

Híbridos
maíz
desarrollo, 161-162
opaco–2, 128-129, 278-281, 511-516
producción de semillas, 278-280, 396
trigo, 427-428

Hierro
como suplemento en los alimentos de consumo normal, 383-386 *passim*
del maíz, 235, 236, 237 249

Hongos en los granos de maíz almacenados, 194, 202-206

Horadadores del maíz, 96

Horadadores del tallo del maíz, 196, 197, 201, 202

I

Incaparina, 13, 48-53 *passim*, 58

Indicadores de aleurona, al convertir el maíz harinoso, en maíz opaco–2, 116-117

Industrias agrícolas en los países en desarrollo, 25

Influencia materna y vidriosidad del grano, 227-228

Infusión de los aminoácidos sintéticos dentro de
los granos de maíz, 49-52

Ingreso y la demanda de proteína, 3-10 *passim*

Inhibidor tripsina en el endosperma del maíz, 548

Insecticida y producción del cultivo, 395

Interacción ambiente-genotipo
sobre el maíz, 103, 104, 139
sobre el mejoramiento de la planta, 152

Interrelación costos-beneficios en la producción
del maíz opaco–2, 365, 379

Interacción genotipo-ambiente
en el maíz, 102-103, 139
en el mejoramiento de la planta, 151
sorgo, 417-419
tamaño, 222, 223, 224, 263, 268, 418

Isoleusina
en cereales, 334, 335, 336
en maíz, 41, 42, 44, 66, 67, 103, 316, 324-328, 526
en la nutrición de porcinos, 63-67 *passim*, 76, 527

Investigaciones agrícolas, 22, 394, 401

Investigación agrícola, 22, 394-402 (*también ver* Mejoramiento)

L

La familia en los programas del mejoramiento del maíz, 154-162 *passim*

Landry-Moureaux, fracciones
del maíz, 307, 317-329
del sorgo, 409-410
proceso de extracción, 545-546

Leguminosas
como fuente de proteína, 6
en la dieta humana, 29, 404-405

Leucina
en cereales, 333-336 *passim*
en el maíz, 41, 66, 95, 247, 248, 316, 317, 324-329 *passim*, 517, 522, 524
en el sorgo, 407, 409, 414
pruebas de alimentación en ratas, 521, 522

Lípidos (*Ver* Grasas en el maíz opaco–2)

Lisina HCl, 383, 386, 410

L-lisina, 48, 52-57 *passim*, 69-81 *passim*, 352, 370, 386

Lisina
como requerimiento humano, 367, 368
en la cebada, 455-465 *passim*, 551
en cereales, 334, 335, 336, 352-355 *passim*, 404, 405, 443, 468-469, 470
maíz, 66, 67, 95-105 *passim*, 307-312 *passim*, 358-363 *passim*, 455, 459, *passim*, 543, 544, 547
fracciones Landry-Moureaux, 320-330 *passim*
harinoso–2, 130-142 *passim*, 210, 211 307, 529, 530, 531, 544
infusión, 49-52
mutante del endosperma, 245, 257 *passim*, 277, 316, 329 *passim*
normal, 41, 235, 236-237, 247-269 *passim*, 370-418, 538, 539, 544
proteína modificada, 209-212 *passim*
opaco–2, 31-38 *passim*, 99, 100, 103 103-132 *passim*, 209-214 *passim*, 218, 219, 223, 231, 235-240 *passim*, 276, 277, 301, 366, 367, 482-486 *passim*, 517, 522-531 *passim*, 540, 543
suplementario, 42-59 *passim*, 525, 526, 548
como suplemento en los alimentos de consumo normal, 383-386 *passim*
deficiencia de zeína en la lisina, 65
en el sorgo, 407-419 *passim*, 470
en arroz, 499, 500, 504-508 *passim*
en la avena, 441-444 *passim*
en el trigo, 421-430 *passim*
en la nutrición de porcinos, 63-84 *passim*, 519, 520, 521, 524, 527
pruebas de alimentación en ratas, 519-523 *passim*
sobreproducción de plantas, 212
triticales, 448-451 *passim*, 470

Localización en el mejoramiento del maíz, 103, 104, 139, 160

L-treonina, 72, 76, 386

L-triptófano, 69-81 *passim*

M

Magnesio en el maíz, 235,236, 237, 249537

Mancha
de la avena, 436, 438
del arroz, 459, 502-503

Maíces mutantes de genes sencillo, 162-163

Maíz
dentado (*Ver* Dentado, maíz)
dureza (*Ver* Maíz duro)
embrión, 105, 211, 253, 358, 455
en Colombia, 272, 276, 281, 285-286, 541-542
fortificación del, 370, 384, 385
harinoso—2 (*Ver* Harinoso—2, maíz)
mejoramiento del, 145-147, 209-212 531-532, (*Ver también* Mejoramiento del maíz)
valor biológico del, 43-46 *passim*,65,470
Con respecto al sorgo, 418, 419
contenido de triptófano en el, 247, 248
en la nutrición de porcinos, 370-376 *passim*, 400, 520-524 *passim*
rendimiento del, 93, 94, 95, 165-171, 174—177, 234, 235, 240-242
Con respecto al opaco—2, 93-96 *passim*, 260
Contenido de aceite del, 235-238 *passim*, 254, 260-267 *passim* 294, 312, 418
Contenido de humedad, 171-176 *passim*,
Contenido de licina en el, 41, 235, 236-237, 247-269 *passim*, 370, 418, 538, 539, 543
Contenido de proteínas del, 36, 218-220, 235, 236, 237, 250, 259-269, 306-312 *passim*, 333-355 *passim*, 537, 538-539
de alta calidad proteínica (*Ver* Maíz proteína de alta calidad)
de alto contenido en lisina en comparación con la cebada, 453-459 *passim*
de alta calidad proteínica (*Ver* maíz de alta calidad proteínica)
eficiente proporción de proteínas, 34, 37 46, 313, 441, 442, 525
en la dieta humana, 29, 30, 38, 41-59, 109, 125, 282, 286, 474 (*Ver también* Nutrición humana)
en pruebas de alimentación en ratas, 521, 523
granos del, 93-96 *passim*, 222, 223, 234-242 *passim*, 253
híbridos en relación con las variedades, 396
minerales del, 235, 236-237
mutantes del (*Ver* Mutantes del maíz)
molienda del, 297, 300-301, 312-313
normal
aminoácidos del, 31, 41-59, 95, 248, 249, 257, 260
análisis de endosperma, 363
cambios en la materia seca, 167-176 *passim*, 234, 235, 240, 241, 242
cruza del opaco—2 con el, 267, 277, 278
formación de la capa obscura en el, 235
germen, 222,224,254,260-265 *passim*
interacción genotipo—ambiente, 104
peso del olote, 235
susceptibilidad a las enfermedades,176, 194-207, 533
valor proteínico efectivo, 298-299
opaco—2 (*Ver* maíz opaco—2)
proteína modificada del
(*Ver* Maíz de proteína modificada)
sintético (s), 129-142 *passim*
tropical (*Ver* Maíz tropical)

Maíz de alta calidad proteínica
(*también ver* Maíz de proteína modificada; Maíz opaco—2)
características agronómicas del, 167-177
en la nutrición de porcinos, 63-84, 400, 473-474
en la nutrición humana, 29-39
producción del, 271, 273, 365-379, 393-401, 474
selección química del, 357, 363, 548
susceptibilidad a las plagas y enfermedades, 193-207

Maíz de alta calidad proteínica como alimento para animales, 294, 300, 301, 473-474, 523 (*ver también* Maíz en la nutrición de porcinos)

Maíz de alto contenido de lisina
(*Ver* Maíz harinoso—2;
Maíz de proteína modificada;
Maíz opaco —2; Maíz de alta calidad proteínica)

Maíz de proteína modificada (*ver también* Harinoso—2, maíz; maíz opaco—2;
maíz de alta calidad porteínica)
consumidores del, 145, 146, 147

Maíz de proteína modificada (*ver también* maíz de alta calidad proteínica)
consumidores del, 145, 146, 147
Harinoso—2; maíz opaco—2;
mejoramiento del, 89-106, 127-142, 529-532

Maíz de tierra alta, 183, 184-186

Maíz de tierras bajas, 181-189 *passim*

Maíz duro, 111, 287, 312-313, 483
(*También ver* Maíz normal)

Maíz en las combinaciones de mutante doble, 245, 257 *passim*, 276, 277-278, 317-329 *passim*, 528, 529, 546, (*ver también* Maíces mutantes)

Maíz en la nutrición de porcinos,
de alta calidad proteínica, 63-84, 400, 473-474
de alto contenido en aceite, 255
normal, 371-375, 400, 520-523 *passim*
opaco—2, 66-84, 280-282, 292, 370-375, 518, 521 *passim*

Maíz en los Estados Unidos, 271-280 *passim*

Maíz harinoso convertido a maíz opaco—2, 109-126 *passim*, 528, 52[illegible]

Maíz harinoso—1, 109-125 *passim*, 250-257 *passim*, 528, 529

Maíz mutante azucarado—1 (su_1), 246-249 *passim*, 255-256, 317, 322, 323, 329

Maíz mutante azucarado—2 (su_2), 246-255 *passim*, 277-278

Maíz mutante brilloso—1 (bt_1), 246-249 *passim*, 254-255, 317, 322, 329

Maíz mutante brilloso—2 (bt_2), 249, 254-255, 315-328 *passim*, 458

Maíz mutante opaco (du), 246-255 *passim*

Maíz mutante rugoso—1 (sh_1), 317, 322, 329

Maíz mutante rugoso—2 (sh_2), 323-347 *passim*, 255-256, 317, 322, 329

Maíz mutante rugoso—4 (sh[illegible]), 317, 322, 323, 329

Maíz opaco—2 (*ver también*
maíz de alta calidad proteínica;
maíz de proteína modificada)
aceites del, 99,100, 235-239 *passim*, 300, 301, 312, 536
almacenamiento, 375
cambios en la materia seca, 165-176 *passim*, 234-235, 240-242
combinaciones de mutante doble, 245-256, *passim*, 277-278, 316-329 *passim*, 528, 539 (*ver también* mutantes del maíz)
como alimento animal, 294, 301, 302, 523 (*ver también* el maíz opaco—2 en la nutrición de porcinos)
consumidores del (*ver* consumidores del maíz opaco—2)
contenido de humedad, 93, 102, 171-177 *passim*, 200-206 *passim*, 235
conversión del maíz harinoso en maíz opaco—2, 109-126 *passim*, 528-529
cruces con el maíz normal, 323, 490
densidad del cultivo, 489-495 *passim*
en Brasil, 290-295
en Colombia, 285-287, 541-542
en dietas de maíz-frijol, 56-57
endosperma del
análisis del, 363
cereal de alta calidad proteínica, 333, 343-355 *passim*, 547
duro, 31, 37-38, 140, 141, 165, 213-230 *passim*, 341-356 *passim*
fenotipo modificado, 214-232, 535
fracciones del, 214-224 *passim*, 239-240, 260
genes modificadores, 140-146 *passim*, 162
pastoso, 37-38, 140, 141, 213-231 *passim*, 271, 278, 279, 344-355 *passim*, 456
peso del, 238, 239
selección de tipo, 276-277, 278
susceptibilidad a las enfermedades y plagas, 193-207 *passim*
sustancias que se encuentran en, 236-238
vidrioso, 139-141, 276, 277, 527
en la nutrición humana, 31-39, 286-287, 292, 303 *passim*, 367-370 *passim*, 377, 477, 478, 525, 526 (*también ver* Maíz en la dieta humana)
en relación con el frijol de soya, 541
en relación con el maíz normal, 93-97 *passim*, 260
formación de la capa obscura, 235
fertilización con nitrógeno, 489-495 *passim*
genes del, 30-32, 65, 93-106 *passim*, 139 141, 151, 179, 233-243, 481-483
genes modificadores (*ver* genes modificadores para el maíz opaco—2)

germen del, 237, 238, 300, 301, 547
grado de secado, 146
granjeros, 280-282, 290-291, 375-377
granos (*ver* granos del maíz opaco-2)
grasa, 100, 483-486 *passim*
hibrídos, 128-129, 278, 280, 511, 516
lisina (*ver* lisina del maíz opaco–2)
mejoramiento del, 93-106, 129-140, 275-279 *passim*, 481-486 *passim*, 511-513
minerales del, 235, 236-237
modificado, 165-176, 194, 197, 207 *passim*
molienda del, 297, 300-301
nutrición de porcinos, 66, 84, 280-282, 292, 370-375, 517-527 *passim*
peso del olote, 235
producción comercial del, 213, 271-273, 280-292 *passim*, 365-386 *passim*, 478-479, 540, 541, 542
producción de semillas del, 275-283, 286, 290
producción en los Estados Unidos, 91
productos alimenticios, 35-36, 272-273, 297-303, 542
proteína del, 31, 36, 37-38, 98-103, *passim*, 130-132 *passim*, 235-240 *passim*, 306, 313 *passim*, 316-354 *passim*, 483-484 *passim*, 517-523, 530, 531, 537, 547, 548
prueba de alimentación en ratas, 519-523 *passim*
rasgos agronómicos del, 93-97 *passim*
rendimiento del, 90-102 *passim*, 128-146 *passim*, 165-170 *passim*, 174-175, 176, 213, 234-242 *passim* 277-293 *passim*, 375-379 *passim*, 489-495 *passim*, 511-516 *passim*, 523, 529-532 *passim*
sintético, 131-142 *passim*
susceptibilidad a las enfermedades y plagas 93-94, 95, 146-147, 176, 193-207 278-279, 280, 290, 291, 293, 533, 534
triptófano (*ver* contenido de triptófano en el maíz opaco–2
valor proteínico efectivo, 298-300

Maíz opaco–2 como alimento para el ganado, 243, 255

Maíz recesivo sencillo
en la conversión de maíz harinoso a opaco–2, 113-118

Maíz sintético, 129-142 *passim*

Maíz tropical, 153, 161, *passim*, 179, 191 *passim*, 531-532

Mazorca (s) del maíz
contenido de humedad de la (s), 172, 173, 176
diámetro de la (s), 94, 95, 96
longitud de la (s), 94, 95, 96, 175, 512, 513, 514
número de, 183, 184-185, 190
seca, 194, 200

Mecanización de la agricultura, 24-25

Mejoramiento de la planta, 160-163 *passim*

Mercado
cultivo en los países en desarrollo, 24
del maíz opaco–2, 278

Metabolismo del nitrógeno
en el arroz, 507
en el trigo, 430-431

Metionina
como suplemento en los alimentos de consumo cotidiano, 549
dieta cereal–leguminosa, 405
en cereales, 441, 442
en el maíz, 103, 210, 247
en el sorgo, 408, 409, 414
en la avena, 442, 443
en la cebada, 459-462, *passim*
en la nutrición de porcinos, 63-74, *passim*
sobreproducción de plantas, 212

Método de ensayo microbiológico, para la determinación de aminoácidos, 468, 470

Método de gas cromatográfico para la determinación de aminoácidos, 468-469

Método de intercambio iónico para la determinación de aminoácidos
en granos de cereal, 468, 469, 508

Método de lisina decarboxilasa, para la determinación de lisina en el grano de cereal, 468, 470

Método micro-Kjeldahal para la determinación
de proteínas, 467, 469, 500, 503

Método Udy para la evaluación de la calidad proteínica
en el maíz, 458

Método vainilla para el análisis
de tanino, 411

Minerales
del maíz

en el normal, 235, 236-237
en el opaco–2, 235, 236-237
en los mutantes, 249

Modelos de mazorcas en el maíz opaco–2, 279, 280

Modelos electroforéticos de acrilamina, 505
detergente
de los mutantes del maíz, 320-323

Modificadores genéticos (*ver* Genes modificadores para el maíz)

Molienda
del arroz, 495-503, 504
del maíz, 297, 300, 301, 312, 313
del sorgo, 418

Mutágenos para elevar las proteínas en la avena, 434, 438

Mutantes
arroz, 504, 508
cebada, 455-464 *passim*, 522
maíz, 109-125 *passim*, 245-257, 315-329, 453, 459, 460, 539, (*ver también* Maíz de combinaciones de mutante doble; Maíz de mutantes con edospermas simples)
sorgo, 419

Mutantes de endosperma del maíz en condiciones genéticas de híbrido, 249-256

Mutantes de maíz de endosperma sencillo 245-256 *passim*, 217-329 *passim*, 528 (*ver también* maíces mutantes)

Mutante maíz ceroso, (wx), 246-255 *passim*

Mutante maíz opaco–4, 256

Mutante maíz opaco–7, 255-256, 267-328 *passim*

Mutantes endospérmicos en los antecedentes del maíz endocriado, 246-249, 257

N

Nitrógeno
análisis, 359, 360
esencial, 32
fracciones Landry–Moureaux, 318-323 *passim*
no esencial, 34-35
nutrición de porcinos, 68, 70
sorgo, 408-409, 418
suelo y grano de cereales, 438, 439

Nutrición
de porcinos (*ver* el maíz en la nutrición de porcinos)
humana (*ver* nutrición humana)

Nutrición humana (*ver también* Dieta humana)
cereales, 403-405
proteína dietética, 10-14 *passim*
y la Revolución Verde, 29-30
maíz
de alta calidad proteínica, 29-38
harinoso, 109, 126
opaco–2, 31-39, 286-287, 292-304 *passim*, 367-370 *passim*, 377, 477,, 478, 525, 526

O

Olote del maíz, 165-175 *passim*, 235

P

Panícula del arroz, 500-501

Pasta de frijol soya
como alimento animal, 128, 370-373 *passim*
como suplementos del sorgo, 415-418
pruebas de alimentación en pollo, 351-356 *passim*, 449, 450

Penicillium, especies 194, 202, 206 *passim*

Período final del grano de maíz, 167–169, 183, 184, 185

Personal para la investigación de cultivos y para los programas de producción, 394-402 *passim*, 550

Peso seco del maíz tropical, 180-191 *passim*

Peso seco total (TDW) del maíz tropical 182-188 *passim*

peso testigo del maíz opaco–2, 213, 222, 223, 224, 276, 282

Piridina, método para determinación de lisina, 469

Plaga bacterial de la hoja en el arroz, 502

Plaga bacteriana en la hoja del arroz, 503

Plagas de insectos (*Ver* Susceptibilidad a las plagas;
plagas de insectos en los granos de maíz almacenado)

Plagas de insectos en los granos de maíz almacenado, 193, 194, 206-207, 279, 533-534

Plagas de maíz, 194-201

Plagas en el grano de maíz almacenado, 193, 194, 206-208, 279, 532-533

Población (es) (*ver también* mejoramiento)
maíz opaco–2 y densidad, 489-495 *passim*

Polillas en el maíz, 194, 207

Polinización en el mejoramiento del maíz, 1110-125 *passim*, 155-161 *passim*

Polipéptidos en las proteínas gluteínicas del maíz, 308, 309, 310

Porcentaje de desgranamiento en el maíz, 95, 96, 97, 513

Porcinos (*también ver* Maíz,
en la nutrición de porcinos)
críos de, 63-73 *passim*, 83, 84
desarrollados, 63-67 *passim*, 76-84 *passim*, 370-375 *passim*,
gestantes, 64, 82, 83, 84, 370-374 *passim*
en desarrollo, 63-67 *passim*, 83-84 *passim*, 370-375 *passim*
lactantes, 63-64, 82-84, 370-375 *passim*

Potasio en el maíz, 235, 236, 237, 249, 536

Precio mínimo como un incentivo en la producción del cultivo, 24, 378, 541, 542

Precios, cosecha, 23-24, 27, 395
(*ver también* producción comercial del maíz)

Precocidad del maíz opaco–2, 512

Procesamiento del maíz, 297, 300-301, 311-313

Producción agrícola en los países en desarrollo, 21

Producción alimenticia en regiones tropicales, 18

Producción (*ver* Producción comercial del maíz)

Producción comercial del maíz opaco–2, 213, 271-273, 279-292 *passim*, 365-379 *passim*, 478-479, 540, 541, 542
de alta calidad proteínica, 271-273, 365-379, 393-402, 474

Producción de alimentos en regiones templadas, 18

Producción de calorías proteínicas, 128

Producción de huevos y dietas con triticales, 450

Producción de proteínas–calorías, 128

Programa de producción para cosechas, 393-402, 549-550

Programa para apoyar los precios del maíz opaco–2, 378, 541, 542

Prolamina
en el arroz, 500-501, 504-505
en el maíz, 459
en el sorgo, 407, 419
en la cebada, 459
en la zeína, 358
proporciones eficientes en las proteínas de cereales, 440-441

Prolina en los mutantes endospérmicos del maíz, 316, 324-329 *passim*

Proporción de eficiencia alimenticia (FER)
de cereales, 470
del sorgo, 417
del trigo, 543-545, 550

Proporción de secado del maíz opaco–2 146

Proporción peso del olote, peso del grano en el maíz, 170, 171, 175

Proporción proteínica eficiente (PER)
en avena, 440, 441
en cereales, 337-356 *passim*, 441, 442, 470, 546, 547, 548
en dietas de maíz y frijol, 57
en maíz, 25, 27, 46, 312, 441, 442, 525
en trigo, 544, 545
en triticales, 449, 450

Proteínas
abastecimiento de, 4, 5, 6, 11-14
balance de, 29-30
del arroz, 441, 442, 443, 495-509 *passim*
del trigo, 331-356 *passim*, 421-431 *passim*, 440-443 *passim*, 544, 545, 550
del sorgo, 331-356 *passim*, 407-419
demanda de, 3-11 *passim*
en cereal, 29-30, 331, 356, 403-405 467, 470-471, 546-547
en el maíz, 66, 215-231 *passim*, 293, 306-309, 459
análisis de las, 358, 359-360
digestibilidad de las, 306, 312
fracciones Landry-Moureaux, 318-329
glutelina de la, 308, 309, 310, 542
mutantes, 247-252 *passim*, 256, 315-329
normal (*ver* Maíz normal proteína)
opaco–2 (*ver* proteína del maíz opaco–2,
selección, 99-106 *passim*
en la avena, 433-445, 551
en la cebada, 441, 442, 455-464 *passim*
en la nutrición de porcinos, 63-84 *passim* 371-376 *passim*
necesidades de, 3-14 *passim*
síntesis de
en el maíz, 211
en el trigo, 319, 320

Proteínas complejas en los granos de sorgo, 408, 410, 416, 418

Proteína de la leche en comparación con proteína del maíz, 42-44, 45, 299, 300

Proteínas matrices
en la cebada, 456, 457
en el endosperma del maíz, 306, 307

Proteínas solubles en agua en la cebada, 460, 461

Proteína vegetal, 7, 12, 30

Pruebas alimenticias para cereales, 331-335 *passim*, 441, 442, 449-452, 461-464, 463, 471, 505-506, 507, 521-523 *passim*, 544-548 *passim*

Pruebas con alimento de pollos, para los cereales de alta calidad proteínica, 351-356 *passim*, 449-450, 451

Pruebas de alimentación en ratas campestres, para la calidad proteínica en cereales, 346-350 *passim*, 441, 449, 450-451, 471, 547

Prueba de alimentación en ratas, para la calidad
proteínica del cereal, 334, 337-344, 410-416 *passim*, 441, 442, 461-462, 463, 471, 505-506, 507, 508-523, *passim*, 546, 547, 548

Pruebas de alimentación en ratas, para cereal de alta calidad proteínica, 344

Pruebas de proteínas de cereales en animales, 331-356 *passim*, 545-548

Rasgos agronómicos del maíz, 93-96 *passim* 154-155, 162, 167-176

Razón proteína–caloría, 4, 8, 9, 10, 14

Reducción de nitratos en el trigo, 430

Rendimiento
de la avena, 434-439
de la cebada, 455, 456
del arroz, 500, 501, 502, 507
del maíz (*ver* tipos específicos de maíz)
del trigo, 426, 427, 439

Resorcinol en los triticales, 449, 451

Retención del nitrógeno
en dietas maíz–frijol, 56, 57
en el maíz opaco–2, 34-35, 42-45 *passim*, 299, 300, 301, 524
mezclas vegetales que contienen maíz opaco–2, 35, 36

Revolución Verde, 8, 17, 29-30

Riboflavina
como suplemento del maíz, 52
para la fortificación de los granos de arroz, 385, 386

Rotación de cultivos, 26

Rotación de granos en animales, 26

Roya en el maíz, 194, 201

S

Savia, translocación en el arroz, 507

Segregación
de la lisina de la cebada, 461
del maíz opaco–2, 152, 276, 277
del trigo, 427, 428

Selección de hermanos completos, en los programas del mejoramiento del maíz, 157-162 *passim*, 532

Selección del medio hermanos para el rendimiento del maíz, 161

Selección química del maíz de alta calidad proteínica, 357-363, 548

Selección (*ver también* Mejoramiento)
del maíz, 152-162 *passim*
aceite, porcentaje en el, 239
conversión del harinoso–2 en opaco–2, 109-114
hermanos completos, 157-162 *passim*, 502
medio hermanos, 161
de un aminoácido, 211
de tipo endospérmico, 228-229, 231, 276-277, 278, 536-537
examen de peso, 276, 283
lisina, contenido en el, 261-269
recurrente, 260-269, 538-539
rendimiento del, 175, 176
sintético, 131-139

Semillas (s)
de avena, 438
de cebada, 457, 458, 459
de maíz
humedad, 203, 205-207,
opaco–2, 203,-207 *passim*, 275-290 *passim*, 456, 458, 535
producción, 275-291, *passim*, 396
tejidos de la, 211
viabilidad, 203, 204, 206
de sorgo, 407-408, 418

Sémola del maíz opaco–2, 300-301

Sitophilus oryzae, 94

Sitophilus zeamais, 194, 207

Sitotroga cerealella, 194, 207

Sobreproducción
alimenticia, 25
de aminoácidos, 211-212

Sorgo
aminoácidos, 408-413 *passim*
capa testigo, 407, 410, 414, 418
como suplemento en las comidas de frijol soya, 415, 147
contenido de tanino en el, 407-419 *passim*, 470-545
contenido de triptófano en el, 408-409, 417
descascaramiento alcalino del, 414-415, 417
frecuencia genotípica, 412-414
proteínas, 331-356 *passim*, 407-419, 441, 442
pruebas de alimentación en ratas, 410-416 *passim*
valor biólogico, 414, 470

Sorgo con alto contenido de tanina, 409-418 *passim*

Sorgo con bajo contenido de tanina, 409-419 *passim*

Suplementación proteínica para mejorar la calidad proteínica del maíz, 46-53 *passim*, 89

Suplementos vitamínicos
en el maíz, 52-53
en los alimentos de consumo cotidiano, 383-388 *passim*

Susceptibilidad a las enfermedades,
del cultivo, 149
del maíz
normal, 176, 193-207, 535
opaco–2, 93-94, 95, 146-147, 165, 167, 176, 193-207, 278-280, 281, 290, 291, 533-534
tropical 153-161 *passim*

Susceptibilidad de las plagas
del cultivo, 150
del maíz, 93-95, 96, 146-147, 153-161, *passim*, 193, 208, 278-280, 290, 291, 293, 532-535

Tallo del maíz, daño al, 196, 197, 201-202, 207

Taninas, contenido en el sorgo, 407-419 *passim*, 470, 545

Tecnología de distribución de las proteínas, 12-13

Temperatura y desarrollo del maíz tropical, 179-181, 189-191

Tiamina en el arroz, 385, 386, 506

Tirosina
en el maíz opaco–2, 517
pruebas de alimentación en ratas, 521, 522

Tortillas de maíz opaco–2, 301, 542

Toxinas en los granos de cereal, 470, 471

Transmisión de la luz en los granos de maíz, 538, 539

Treonina
en avena, 441, 442-443
en cereales, 442, 443
en la fortificación de granos de arroz, 386
en la nutrición de porcinos, 63-82 *passim*, 527
en maíz, 66, 67

Trigo
aminoácidos, 442, 443
de invierno, 421-427 *passim*, 440
fortificación del, 383-384
producción, 25, 26, 27
proteína , 331-335 *passim*, 421-430
passim 543, 545, 500
valor biológico, 470

Triptófano
deficiente en zeina, 65
en cereales, 333, 335, 336, 468-469, 470
en el maíz, 66, 67, 95-103, 211, 215-222 *passim*, 224, 228, 231, 359-360, 370, 535, 548
Fracciones Landry-Moureaux, 322-329 *passim*
mutantes, 247, 248, 256, 315, 316, 317 322-329 *passim*
Infusión, 50-52
opaco–2, 31, 35, 37, 367, 368, 369, 482-483 *passim*, 517, 523, 524
suplementario, 42-59 *passim*, 525, 548
en el sorgo, 408-409, 545
en la cebada, 551
en la nutrición de porcinos, 63-83 *passim*, 527
pruebas de alimentación en ratas, 519, 521, 523
triticales, 448
requerimiento humano de, 367, 368, 369

Triticales
calidad proteínica de los, 331, 355, 447, 452
valor biológico, 470

Triticales como alimento de aves de corral, 448-452 *passim*

Turbidado y determinación de lisina, 310, 469, 470, 542-543, 544

U

Ubicación de la raíz en el maíz, 159

Uniformidad genética, riesgos biológicos de la, 162

Utilización de proteínas
en el maíz, 48, 59
en la cebada, 461, 462, 463
en las dietas de maíz-frijol, 56-57-58
en las mezclas vegetales con maíz opaco–2, 35, 36

Utilización neta de proteínas
(*ver* Utilización de proteínas)

V

Valor biológico
avena, 440, 444, 470
cebada, 462, 463, 470
definido, 46
del maíz, 43-46 *passim*, 65-470
mezclas vegetales con el maíz opaco–2, 35, 36
sorgo, 416, 470

Valor proteínico efectivo del maíz, 298-300

Valor proteínico efectivo del maíz opaco–2 298-301

Variabilidad
en el mejoramiento de la planta, 150-153
en las características del maíz opaco–2, 96-105 *passim*, 134, 146, 225-229 *passim*

Variabilidad genética (*ver* Variabilidad)

Variedad de virus en el maíz, 533

Vertedero, 181, 191

Vidriosidad del grano de maíz, 96-97, 139-141, 214-231 *passim*, 239-243, 537, 540

Z

Zeína (*ver también* prolamina)
balance del nitrógeno, 42-44
deficiencia en lisina, triptófano, 65
definición, 42
en el maíz, 118, 211, 219-223 *passim*, 248-249, 254, 255, 308-311 *passim*, 319-329 *passim*, 359, 542, 543
supresión de la síntesis, 321, 323, 329

Zinc, en el maíz, 235, 236, 237, 340