XN-ABC-869-A

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

"DISEÑO Y EVALUACION DEL PROCESO DE FERMENTACION SOLIDA DE LA PULPA DE CAFE"

JORGE LEONEL RIVERA MENDEZ

Rec'd 3 sa Dec 14, 1988

GUATEMALA, ENERO DE 1988

91

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO Y EVALUACION DEL PROCESO DE FERMENTACION SOLIDA DE LA PULPA DE CAFE

T E S I S

Presentada a la Honorable Junta Directiva
de la Facultad de Ingeniería

POR

JORGE LEONEL RIVERA MENDEZ

Al Conferírsele el Título de

INGENIERO QUIMICO

T-435
INCAP

Guatemala, Enero de 1988

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado:

DISEÑO Y EVALUACION DEL PROCESO DE FERMENTACION SOLIDA DE LA PULPA DE CAFE,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de

INGENIERIA QUIMICA

con fecha 4 de febrero de 1986.

firma del estudiante

MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	ING. ROBERTO MAYORGA ROUGE
VOCAL 1o.	ING. JACINTO QUAN CHU
VOCAL 2o.	ING. JORGE MARIO MORALES
VOCAL 3o.	ING. PEDRO AGUILAR POLANCO
VOCAL 4o.	BR. CARLOS EFRAIN ZECEÑA
VOCAL 5o.	BR. BORIS ENRIQUEZ CENTES
SECRETARIO:	ING. PEDRO AGUILAR POLANCO

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	ING. ROBERTO MAYORGA ROUGE
EXAMINADOR	ING. HECTOR ADOLFO RUIZ GODOY
EXAMINADOR	ING. Q. CESAR ALFONSO GARCIA G.
EXAMINADOR	ING Q. ALBERTO ARANGO
SECRETARIO	ING. PEDRO AGUILAR POLANCO

INSTITUTO DE NUTRICION DE CENTRO AMERICA Y PANAMA

OFICINA SANITARIA PANAMERICANA
Oficina Regional de la
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

IN-120-87/CAE

29 de septiembre de 1987

Ing. Rodolfo Espinosa, Director
Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria
Presente

Estimado Ing. Espinosa:

Por este medio le comunico que he revisado el informe final de tesis del Br. Jorge Leonel Rivera Méndez, intitulado: "Diseño y Evaluación del Proceso de Fermentación Sólida de la Pulpa de Café", el cual lo he encontrado satisfactorio. Considero que dicho trabajo no solo cumple con los requisitos para ser presentado como informe final de tesis, sino también representa un aporte académico valioso que apoya una alternativa plausible para el uso de un subproducto como la pulpa de café en la alimentación animal.

Agradeciendo su atención a la presente, quedo de usted,

Muy atentamente,

Mario R. Molina, M.Sc., Ph.D.

Calzada Roosevelt Zona 11 — Apartado Postal 1188 — Teléfonos: 723762 al 723767 — Cable: INCAP — Telex: 5696 INCAP
Guatemala, C. A.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Tecnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 27 de octubre de 1987.

Ingeniero
Rodolfo Espinosa
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero.

Por este medio me permito informar a usted que habiendo revisado el Trabajo de Tesis del estudiante Jorge Leonel Rivera Méndez titulado: DISEÑO Y EVALUACION DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN SOLIDA DE LA PULPA DE CAFE, dejo constancia de aprobación para proceder a la autorización del mismo.

Sin otro particular y agradeciéndole la atención que se sirva dar a la presente, quedo de usted.

Atentamente,

" ID Y ENSEÑAD A TODOS "

Ing. Edgar Bravatti
REVISOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Tecnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Química; ING. RODOLFO ESPINOSA, después de conocer el dictamen del Asesor con el visto Bueno del Jefe de Departamento, al trabajo de tesis del estudiante; JORGE LEONEL RIVERA MENDEZ titulado: DISEÑO Y EVALUACION DEL PROCESO DE FERMENTACION SOLIDA DE LA PULPA DE CAFE procede a la autorización del mismo.

Ing. Rodolfo Espinosa
DIRECTOR
ESCUELA INGENIERIA QUIMICA

Guatemala, 29 de octubre de 1987.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de tesis titulado: DISEÑO Y EVALUACION DEL PROCESO DE FERMENTACION SOLIDA DE LA PULPA DE CAFE

del estudiante: JORGE LEONEL RIVERA MENDEZ

Procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Roberto Mayorga R.
DECANO

Guatemala, 29 de octubre de 1987

DEDICO ESTE ACTO

A DIOS

A MIS PADRES:	Timoteo Rivera Orozco Josefina Méndez de Rivera
A MIS HERMANOS:	Pfa. Ana María Rivera Ing. Israel Rivera Ing. Nehemías Rivera
A MI SOBRINO:	Pablo José

A MIS ABUELOS

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi especial agradecimiento al Dr. Mario Roberto Molina, por su valiosa asesoría, orientación y colaboración brindada para la realización de este trabajo de investigación.

Extensivo mi agradecimiento al Instituto Nutricional de Centro América y Panamá; a los Profesionales y Personal Técnico de la División Química Agrícola, especialmente al Ing. Q. Marco Antonio Batten.

CONTENIDO

		Pág.
I.	RESUMEN	1
II.	INTRODUCCION	3
III.	REVISION DE LITERATURA	4
IV.	JUSTIFICACIONES	17
V.	OBJETIVOS	18
VI.	HIPOTESIS	19
VII.	MATERIALES Y METODOS	20
	DESARROLLO DE TECNOLOGIA	23
	PROYECTO ECONOMICO DE INGENIERIA	29
VIII.	RESULTADOS Y DISCUSION	32
IX.	CONCLUSIONES	45
X.	RECOMENDACIONES	47
XI.	BIBLIOGRAFIA	48
XII.	ANEXOS	52

101

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1 PRODUCCION DE CAFE EN LA DECADA 1974-1984

CUADRO 2 DISTRIBUCION PORCENTUAL DEL GRANO DE CAFE CEREZA.

CUADRO 3 COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL DE LA PULPA DE CAFE

CUADRO 4 COMPUESTOS ORGANICOS DE LA PULPA DE CAFE

CUADRO 5 MINERALES DE LA PULPA DE CAFE

CUADRO 6 AMINOACIDOS DE LA PULPA DE CAFE COMPARADA CON LA DE OTROS CEREALES

CUADRO 7 VARIACION DE LAS SALES UREA, K_2HPO_4 Y $(NH_4)_2SO_4$, PARA CADA TRATAMIENTO DE PULPA DE CAFE A FERMENTAR

CUADRO 8 AMINOACIDOS TOTALES DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 9 CONTENIDO DE CAFEINA DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 10 CONTENIDO DE CENIZAS DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 11 EXTRACTO ETEREO DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 12 FIBRA CRUDA DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 13 TANINOS DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 14 PERDIDA DE MATERIA SECA EN EL PROCESO DE FERMENTACION

CUADRO 15 EFECTO DE LAS SALES AGREGADAS A LA PULPA SOBRE EL CONTENIDO DE AMINOACIDOS DE LA PULPA DE CAFE

CUADRO 16 EFECTO DE LAS SALES AGREGADAS SOBRE LA CAFEINA EN LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 17 EFECTO DE LAS SALES SOBRE EL CONTENIDO DE CENIZAS DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 18 EFECTO DE LAS SALES SOBRE EL CONTENIDO DE EXTRACTO ETEREO DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 19 EFECTO DE LAS SALES AGREGADAS SOBRE EL CONTENIDO DE FIBRA CRUDA DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 20 EFECTO DE LAS SALES AGREGADAS SOBRE EL CONTENIDO DE NITROGENO DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA

CUADRO 21 HUMEDAD Y pH INICIAL Y FINAL DE LA PULPA FERMENTADA

CUADRO 22 COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA EN PLANTA PILOTO (PRIMERA ALTERNATIVA)

CUADRO 23 COSTOS FIJOS CALCULADOS PARA LA PRIMERA ALTERNATIVA DE FERMENTACION

CUADRO 24 COSTOS DE MANUFACTURA PARA LA PRIMERA ALTERNATIVA DE FERMENTACION

CUADRO 25 COSTOS FIJOS DE LA SEGUNDA ALTERNATIVA DE FERMENTACION

CUADRO 26 COSTOS DE MANUFACTURA PARA LA SEGUNDA ALTERNATIVA DE FERMENTACION

CUADRO 27 ESTIMACION DE LOS COSTOS DE LOS MATERIALES AUXILIARES DE FERMENTACION

LISTA DE GRAFICAS

GRAFICAS 11-3	AMINOACIDOS DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA EN FUNCION DE LAS SALES AGREGADAS
GRAFICAS 4-6	CAFEINA DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA EN FUNCION DE LAS SALES AGREGADAS
GRAFICA 7	CENIZAS DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA EN FUNCION DEL FOSFATO DIBASICO DE POTASIO AGREGADO
GRAFICAS 8-10	FIBRA CRUDA DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA EN FUNCION DE LAS SALES AGREGADAS
GRAFICAS 11-12	FIBRA CRUDA DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA EN FUNCION DE LAS SALES AGREGADAS
GRAFICAS 13-15	NITROGENO TOTAL DE LA PULPA DE CAFE FERMENTADA EN FUNCION DE LAS SALES AGREGADAS

LISTA DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1	PROCESO DE DESPULPADO DEL GRANO DE CAFE CEREZA
DIAGRAMA 2	USOS POTENCIALES DE LA PULPA DE CAFE
DIAGRAMA 3	PROCESO SUGERIDO PARA LA PRIMERA ALTERNATIVA DE FERMENTACION
DIAGRAMA 4	PROCESO SUGERIDO PARA LA SEGUNDA ALTERNATIVA DE FERMENTACION

LISTA DE PLANOS

PLANO 1	MEDIDAS DEL AGITADOR AIREADOR DE LA PRIMERA ALTERNATIVA DE FERMENTACION
PLANO 2	AGITADOR AIREADOR VISTA DE PLANTA (PRIMERA ALTERNATIVA)
PLANO 3	ACCESORIOS DEL AGITADOR AIREADOR (PRIMERA ALTERNATIVA)
PLANO 4	UNIDAD FERMENTADORA DE LA PRIMERA ALTERNATIVA.
PLANO 5	INFRAESTRUCTURA SUGERIDA PARA LAS FACILIDADES DE FERMENTACION

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	CORTE LONGITUDINAL DE UN GRANO DE CAFE CEREZA
FIGURA 2	COLUMNA FERMENTACION A NIVEL DE LABORATORIO.

I. RESUMEN

La disponibilidad de la pulpa de café en Guatemala y América Latina ha originado la realización de una serie de trabajos de investigación, los que se enfocan a definir varios procesos, dependiendo de su posterior utilización. El presente trabajo tiene como finalidad: Diseñar y evaluar un sistema de fermentación sólida de la pulpa de café, empleando el microorganismo **A. niger**, en presencia de fuentes agregadas de nitrógeno y fósforo en cantidades óptimas para obtener un concentrado apto para alimentación animal.

Para la realización del trabajo, éste se dividió en tres etapas.

- Primera etapa: Optimización de los datos a nivel de laboratorio
- Segunda etapa: Diseño, construcción y evaluación del equipo y del proceso de fermentación en planta piloto
- Tercera etapa: Estimación de los costos de producción de la pulpa de café fermentada para consumo animal a nivel agroindustrial.

En la primera etapa se determinó experimentalmente el nivel óptimo a agregar de urea, K_2HPO_4 y $(NH_4)_2SO_4$; en base al crecimiento del microorganismo **A. niger** en la pulpa de café (parámetro que define el aumento de la proteína por biomasa); y a la posible degradación de sustancias antinutricionales como: la cafeína, los polifenoles y la fibra cruda. Mediante el uso del fermentador desarrollado por Raimbault y Alazard (46), y columnas con 10 g de material seco, con 80% de humedad, a pH inicial de 3.5; con flujo de aire saturado a razón de 8 lt/min/kg de material seco y un inóculo de 2.7×10^7 esporas/g de material seco a 35ºC. Se llegó a la conclusión que las sales necesarias para la fermentación son urea y K_2HPO_4 en las concentraciones de 2.5 y 2.0 g de cada sal, respectivamente, por 100 g de pulpa seca. Se observó que la pulpa fermentada con esta metodología aumenta su contenido de aminoácidos totales y disminuye los contenidos de fibra cruda y de taninos, mientras que la cafeína se comporta en forma incierta.

En la segunda parte del trabajo se desarrolló la tecnología apropiada para realizar la fermentación sólida de la pulpa de café con el microorganismo **A. niger** y el agregado de las sales encontradas en la primera etapa, tomando en cuenta las variables de: temperatura, aireación, pH y humedad del sustrato, llegándose

a diseñar y construir el equipo de fermentación a nivel planta piloto, con capacidad de 100 kg de pulpa de café al 80% de humedad y sus respectivos controles de temperatura, humedad pH y aireación.

La operación y evaluación del equipo diseñado se realizó con dos lotes de 100 kg de pulpa de café al 80% de humedad. La eficiencia se calculó con base en la conversión de aminoácidos totales, fibra cruda, cafeína y polifenoles de la pulpa. Se obtuvo una eficiencia de conversión de 65%, la que podría mejorarse al optimizar las variables que interfieren en el proceso de fermentación.

En la tercera etapa se presenta el análisis económico para la industrialización del proceso. Se estima con los costos fijos totales y los costos de producción por año (costo por kg de producto). Se presentan dos alternativas, la primera es la extrapolación de los datos con base en el diseño presentado, teniéndose que el costo por kg de producto, y la ganancia neta obtenida es de Q0.68 y Q0.07 respectivamente. La segunda alternativa tiene la modificación del equipo para la fermentación, la cual se realiza en bandejas; siendo el costo total del producto, y la ganancia neta por kg de producto de: Q0.58 y Q0.12, respectivamente. El costo por kg de producto es menor en la segunda alternativa y, además, reporta la mayor ganancia neta por kg de producto.

II. INTRODUCCION

En la región de América Latina, durante muchos años la producción de café ha sido una de las más importantes económicamente y, en Guatemala, es la base de la economía nacional. En el Cuadro 1 puede observarse la producción de café durante la década de 1974-1984, notándose el aumento prómedio de la producción (4).

Sin embargo, la tecnología usada para su proceso ha cambiado muy poco, y el aprovechamiento de los subproductos es prácticamente nulo, usándose únicamente como abono orgánico, y en la mayoría de casos se desecha en los ríos, creándose problemas de contaminación ambiental.

Para aprovechar al máximo los subproductos del café se han realizado varios estudios, entre ellos, se ha evaluado la utilización de la pulpa de café en la alimentación animal, encontrándose que la pulpa tiene sustancias antinutricionales para los animales que provocan disminución tanto del crecimiento como de la ganancia de peso en los mismos (10, 28).

Las sustancias antinutricionales encontradas en la pulpa pueden reducirse considerablemente por medio de su fermentación usando el microorganismo **A. niger**, pero la preparación de la pulpa como sustrato requiere de sales inorgánicas, sustancias que aumentan el precio del producto (1, 25).

El objetivo de este trabajo fue reducir al máximo el uso de las sales mencionadas en la preparación del sustrato, obteniendo siempre un producto de buena calidad nutricional, y desprovisto de sustancias antinutricionales, adecuado para la alimentación de animales monogástricos.

Además, se pretende realizar el estudio y diseño del equipo de fermentación, que provea las condiciones óptimas obtenidas en el laboratorio para la fermentación de la pulpa de café con el moho **A. niger** a nivel de planta piloto.

III. REVISION DE LITERATURA

1. Aspectos Generales.

En Centroamérica y especialmente en Guatemala, la producción del café beneficia grandemente al país en su economía nacional. Durante muchos años se han realizado trabajos de extensión sobre el cultivo del café con la finalidad de mejorar los procesos de producción; sin embargo, los métodos han cambiado muy poco desde su inicio (31).

La especie de café cultivada en Guatemala es **C.arábica** en sus variedades, Typica y Burbon, y una mezcla de ambas derivada por hibridación, siendo estas variedades de café de muy buena calidad (9, 31).

Al revisar un grano de café cereza, en un corte longitudinal, como se observa en la Fig. 1, se encuentra que la parte externa de la pulpa forma una capa esponjosa, seguida de otra intermedia llamada mucílago, que cubre la cascarilla, la cual contiene el grano de café.

En la región de Guatemala y América Central, el café cereza se cosecha durante el período de agosto a marzo; el amplio período se debe a la maduración heterogénea del fruto, debiéndose a varios factores, entre los cuales se tiene: la especie de café, el clima y la altitud del terreno, las técnicas de cultivo, etc. La cosecha se realiza cuando el café presenta el color marrón obscuro. Cuando el fruto es cortado de las plantas, se lleva a los beneficios, lugar donde se procesa.

El método para procesar el café en Guatemala, es el método húmedo (9, 11, 42), el cual consiste en: lavado del café, para quitarle la tierra y los frutos en mal estado luego, el café se despulpa, operación que separa la pulpa del grano; el grano queda con una cubierta mucilaginosa, la cascarilla y el café propiamente luego, el café se fermenta por un tiempo de 48 a 72 horas para quitarle la capa mucilaginosa o también se trata químicamente. Seguidamente, el café se lava y se deja secar para luego quitarle la cascarilla. La pulpa se desecha en los ríos o se vierte como abono orgánico en las mismas plantaciones. El proceso descrito se observa en el Diagrama 1 (8).

Los análisis de balance de materiales indican que la pulpa representa aproximadamente el 29% del fruto de café en base seca (9). En el Cuadro 2 se presen-

ta la distribución porcentual del fruto de café cereza de las tres variedades cultivadas en Guatemala.

2. Composición Química de la Pulpa de Café.

Debido a las futuras perspectivas industriales que presenta la pulpa de café, como alimento animal, se ha analizado su composición química en los estados de: pulpa fresca, deshidratada y fermentada (9,12). Un resumen de los resultados se presenta en el Cuadro 3. Como puede apreciarse, el material contiene un alto porcentaje de humedad, factor problemático que afecta grandemente el proceso de utilización de la pulpa. Cuando la humedad se elimina por cualquiera de los métodos evaluados, la composición química permanece similar, lo cual es indicativo que después de separada del grano, se puede optar por diversos procesos de secado. Es importante indicar que la composición química de la pulpa puede variar según la variedad del café, las técnicas de cultivo, el clima, y la altitud del terreno (20).

En la formulación dietética de los animales es importante estudiar los factores adversos del producto. Se ha encontrado que compuestos orgánicos son los responsables de la toxicidad encontrada en la pulpa de café. En el Cuadro 4 se indican los compuestos orgánicos encontrados (9), destacándose el contenido de taninos, cafeína, ácido clorogénico y ácido caféico, sustancias que han sido reportadas como las responsables de la toxicidad del material (12, 36).

En el Cuadro 5 se presenta el contenido de minerales en la fracción de cenizas de la pulpa de café (12), siendo de importancia el alto contenido de potasio y calcio.

En el Cuadro 6 se presenta el contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales de la pulpa de café, el maíz, la soya, la semilla de algodón y la harina de pescado. Se observa que todos los aminoácidos existentes en la pulpa se encuentran en cantidades comparables a la de los alimentos tradicionales (12).

Bressani y col. (12), indican que la pulpa de café contiene cantidades de proteína comparables a otros alimentos, aún cuando su contenido de fibra es mayor y su extracto libre de nitrógeno es menor. Por otro lado, indican que la cafeína y los polifenoles son los responsables de la toxicidad observada en los animales que la consumen (12).

Entre los minerales, el potasio se encuentra en alta cantidad, siendo posiblemente otro factor tóxico en la alimentación animal. En cuanto al hierro y calcio, éstos se encuentran en cantidades adecuadas. Los aminoácidos esenciales de la pulpa de café se encuentran en cantidades similares, y aún mejores a la de otras fuentes como harina de soya o algodón, como se observa en el Cuadro 6.

3. Estudios y Usos Potenciales de la Pulpa de Café.

El despulpado del café se realiza en los beneficios, lugar factible donde también podrían aprovecharse los subproductos para un uso industrial apropiado, teniéndose la ventaja del amplio período de cosecha. Con este fin, puede instalarse maquinaria pequeña y económicamente rentable, tomándose en cuenta el volumen de materia prima disponible para procesar en el diseño del equipo apropiado para un determinado período de tiempo.

En el Diagrama 2 se encuentran los posibles usos de la pulpa, siendo los más investigados la extracción de la cafeína, la producción de gas, y la fermentación para alimento animal, desarrollándose en cada caso, métodos y tecnologías apropiadas (9).

3.1 Ensilaje de la pulpa de café: La producción de café en Guatemala es estacional, entonces, para su aprovechamiento en la alimentación animal, se necesita conservarla y a la vez mejorar su calidad nutricional. Para ello se ha estudiado el método de ensilaje, descrito por Bressani y Braham (9), Bohkenford y Fonseca (5). La pulpa como tal, es prensada hasta obtener el 60 ó 65% de humedad, se vacía en los silos construídos para este fin (24) luego, se agrega de 3 a 5% de melaza de caña de azúcar con relación al peso de la pulpa vaciada (9). Jaffe y Ortiz (28), y Bressani y Braham (9), encontraron que la cafeína y los taninos disminuían en la pulpa ensilada, además, que el proceso efectuado con melaza u otros forrajes, mejora su palatabilidad y digestibilidad, lo que aumenta su consumo por los animales, observándose aumento de peso y crecimiento de los mismos.

Los estudios de ensilaje se han realizado con: pulpa fresca, prensada y parcialmente deshidratada; obteniéndose los mejores resultados de ensilaje con la pulpa fresca al término de 72 horas de ensilaje.

3.2 Deshidratación de la pulpa de café: La deshidratación de la pulpa de café es otra alternativa de conservación, para ser utilizada como alimento animal. Estudios realizados por Molina y col (35), indican que la pulpa se deshidrata fácil-

mente. Molina y Avendaño (34), encontraron que el mejor método de secado de la pulpa es cuando se usa el secador rotatorio, el que presenta el menor costo por quintal de pulpa seca con pocas posibilidades de contaminación, se realiza en corto tiempo, y requiere de una menor área de secado. Los resultados biológicos indican que las sustancias tóxicas no disminuyen con el secado, los animales consumen la pulpa en porcentajes pequeños o no la consumen del todo.

3.3 Extracción de la cafeína: La cafeína es un alcaloide, con amplio uso en la industria farmaceútica, su precio es relativamente alto y la disponibilidad de esta sustancia en la pulpa de café, ha motivado que se estudie ampliamente. Cuevas (19), Molina (36), informan sobre los estudios relacionados sobre la extracción de la cafeína de la pulpa de café, indicando que los mejores resultados de extracción de este alcaloide se han obtenido por el método de percolación, donde se ha extraído el 99% de cafeína presente en la pulpa junto con 29% de residuos totales como impurezas.

3.4 Extracción de la proteína: La pulpa de café tiene un alto contenido de proteína y aminoácidos disponibles, como se observa en los Cuadros 3 y 6 pero, la proteína es muy poco utilizada por los animales debido a las sustancias que interfieren en su asimilación. Por esta razón, se ha pensado en extraer la proteína de la pulpa. Bressani y Braham (9), citan que se ha logrado extraer considerables concentraciones de nitrógeno disponible de la pulpa pero, se tiene el inconveniente de su recuperación, la que se logra en pequeñas cantidades. Se considera que los taninos (polifenoles) interfieren en la extracción de la proteína, porque forman complejos. Los polifenoles cuando se oxidan a quinonas son agentes oxidantes poderosos, y son capaces de actuar sobre los grupos funcionales de la proteína, también pueden dimerizarse formando enlaces covalentes con la proteína, evitando de esta forma, su extracción de la pulpa de café. Actualmente se estudia el proceso de bloquear la oxidación y los efectos negativos de los taninos en la extracción de la proteína en la pulpa de café (21).

3.5 Crecimiento de microorganismos: Los primeros estudios sobre la utilización de la pulpa de café en la producción de levaduras se realizaron en Colombia. Se informó que a nivel de planta piloto se obtuvo 700 g de levadura seca por 100 kg de café (9), la levadura contenía aproximadamente 45% de proteína; el microorganismo utilizado fue **Totulopsis utilis.** Estudios en Costa Rica y Guatemala (INCAP, ICAITI), sin embargo, señalan que al usar los microorganismos **A. ori-**

zae, B. megatheriun y **S. cerevisae,** se obtuvieron buenos resultados, obteniéndose un producto con 45% de proteína aproximadamente (9).

3.6 Fertilizante orgánico: En años pasados, y aún en la actualidad, la pulpa de café se desecha en los ríos, o bien se usa como abono en las mismas plantaciones, sin usar técnicas adecuadas. Por dichos motivos se presentan problemas de contaminación ambiental, y problemas de manipuleo de la pulpa por su alto contenido de humedad. Sin embargo, considerando su uso eventual como fertilizante se informa que 100 kg de pulpa seca son equivalentes a la composición química de 5 kg de fertilizante inorgánico con la formulación 14-3-37 o equivalente a 10 kg de aquél con la fórmula 7-1.5-18.5 (nitrógeno-fósforo-potasio). Se puede apreciar su alto contenido de potasio. Estos datos fueron compilados por Bressani y Braham (9).

3.7 Producción de biogas: Los desperdicios agrícolas como la pulpa de café, usada junto a excremento humano o animal, pueden fermentarse anaeróbicamente a las condiciones de: 25-30ºC en un medio levemente alcalino. Esta producción de gas la realiza una variada población de microorganismos.

El gas obtenido es una mezcla de: hidrógeno bióxido de carbono, gases inertes y metano. Del Total de gas producido el metano constituye la mayor parte (60-65%). Las características del gas son: es poco explosivo, de alto poder calorífico y no tóxico (18).

Calle (18), recomienda la construcción de plantas fermentadoras de metal, por ser bastante eficientes al ser comparadas con las construidas con otro tipo de material. Los rendimientos de las plantas fermentadoras son proporcionales a la frecuencia de carga y a la temperatura del sustrato; el autor recomienda que la planta sea cargada cada 40 días, y que la temperatura del medio sea en promedio de 25ºC.

3.8 Pulpa de café en alimentación animal: Los estudios sobre el uso de la pulpa de café en alimentación animal han sido numerosos, especialmente usando animales rumiantes. Bressani (9), indica que los rumiantes reusan el consumo de la pulpa por su baja palatabilidad, causada por la presencia de cafeína y polifenoles, pero cuando el material se mezcla con otros forrajes mejora su palatabilidad y aumenta el consumo voluntario de los mismos.

Los datos sobre la digestibilidad de la pulpa de café en los animales son diversos, y esto se atribuye a que los estudios se realizaron en lugares distintos, donde posiblemente las técnicas de cultivo, la especie de café, los métodos de procesamiento del café, la raza de los animales usados en el estudio no eran las mismas. Sin embargo, Cabezas y col. (16), indican que el aumento de consumo de la pulpa por los animales rumiantes disminuye la digestibilidad de la proteína disponible, debido a la existencia de sustancias adversas que se encuentran en la pulpa.

Para conservar la pulpa destinada al consumo animal, se han estudiado diversos métodos, como secado, dando origen a la pulpa de café deshidratada (PCD) y ensilada originando el ensilaje de la pulpa de café (EPCD). De estos métodos estudiados se han obtenido mejores rendimientos en los animales cuando consumen ensilaje de pulpa de café (EPCD) (3, 38).

Los análisis realizados en el INCAP usando pulpa de café deshidratada y ensilaje de pulpa de café, revelan que el ensilaje tiene una mejor palatabilidad, con menor cantidad de sustancias tóxicas, reflejándose esto en un mejor aprovechamiento de la proteína por los animales, y en una mejor digestibilidad del material, lo que produce una mayor ganancia de peso y mayor crecimiento de los animales que consumen PECD que los que consumen PCD (9, 16). Cabezas y col. (15), analizaron la utilización del nitrógeno disponible de la pulpa de café en la alimentación de rumiantes. Los autores concluyeron que el aumento en el nivel de pulpa deshidratada en las raciones disminuye significativamente la cantidad de nitrógeno ingerido, absorvido y retenido.

Los autores también informan que el aumento de la PCD en la ración causa diuresis, aumento en la actividad fisiológica, que a la vez provoca un aumento del volumen de la orina excretada por día, factor que causa que la cantidad de nitrógeno excretado sea aún mayor.

Los estudios realizados para determinar si algunos parámetros del suero sanguíneo de animales rumiantes, sufren alguna alteración al ser alimentados con pulpa de café, indican que la concentración de glucosa, proteína, albúmina, nitrógeno de urea, calcio, fósforo y ácido oxaloacético y glutámico-pirúvico, en terneros alimentados con y sin pulpa de café, no sufrió diferencia alguna. Sin embargo, la concentración de ácidos grasos libres del suero sanguíneo sufrió un aumento significativo en los animales que consumen raciones conteniendo pulpa de café,

cuando se compara a los que no la consumen (9, 19).

Los factores antinutricionales de la pulpa de café no se conocen, pero se atribuyen a la presencia de cafeína, taninos o polifenoles y a su alto contenido de fibra no digerible. Cabezas y col. (16) administraron cafeína en concentraciones de 0.12%, cantidad contenida en las raciones de pulpa de café deshidratada, y observaron una disminución en el crecimiento de terneros. También administraron ácido tánico en concentraciones de 0.75 a 1.5%, que corresponde a la concentración encontrada en las raciones conteniendo pulpa de café deshidratada, pero en este caso, no observaron efecto alguno en el crecimiento de los terneros. Sin embargo, cuando se administraron la cafeína y el ácido tánico juntos en las mismas concentraciones, la disminución de crecimiento y ganancia de peso fue mucho más severo que cuando las sustancias se administraron en forma independiente. También observaron los autores que cuando las concentraciones aumentaban, los efectos se hacían mucho más graves, presentando los animales convulsiones, hemorragias y otros síntomas (16). Los estudios descritos indican que la cafeína y los taninos presentes en la pulpa de café son los factores condicionantes de su uso en la alimentación animal (6, 37).

La cafeína es la sustancia que aparentemente causa más daño al animal cuando se usa pulpa de café en la ración, por ser la responsable de la baja palatabilidad de la pulpa, la baja absorción de la proteína y la baja retención de nitrógeno, causado por su efecto diurético indicado por varios autores (9).

En estudios realizados sobre alimentación de cerdos con pulpa de café (9), se encontró que el porcentaje máximo de pulpa en la ración para que la consuman los cerdos es de 12 a 16%. En estas proporciones no se presentan efectos negativos en el rendimiento del animal al compararlo con los resultados obtenidos en cerdos alimentados con otro tipo de material. En los estudios de suero sanguíneo realizados en cerdos, se obtuvieron resultados similares a los obtenidos con rumiantes (9).

La pulpa de café en ración para pollos en crecimiento es aceptable hasta 8%. Estos animales tienen el inconveniente de no digerir la celulosa, sustancia que constituye un alto porcentaje de la fibra cruda (Cuadro 3). Cuando se aumenta el porcentaje de la pulpa de café de 0 a 10% en las raciones para pollos, se observa una disminución del crecimiento y menor ganancia de peso. Cuando se pasa del 10% se observa mortalidad de los pollos en poco tiempo (5, 9, 13).

Bressani y Braham (9), citan la evaluación del posible uso de la pulpa de café en raciones para pollos, adicionando 1 y 2% de metabisulfito de sodio a la pulpa. Los resultados indicaron que la alimentación de pollos con pulpa tratada con metabisulfito de sodio al 1% y pulpa de café, sin tratamiento, disminuían tanto el crecimiento como la ganancia de peso en forma similar. La adición de metabisulfito de sodio al 2% aparentemente mejora un poco la calidad nutricional de la pulpa, observándose un mejor rendimiento de los animales, en ganancia de peso y crecimiento.

4. Factores Antifisiológicos de la Pulpa de Café.

Las sustancias que son directamente responsables de los efectos observados en los animales alimentados con raciones conteniendo pulpa de café no se conocen aún. Al analizar, con base en los resultados químicos de la pulpa de café, y de los efectos observados de las pruebas realizadas con ratas, pollos, cerdos y rumiantes, se concluye que las sustancias posiblemente responsables son: la cafeína, los taninos o polifenoles, el potasio y el alto contenido de fibra cruda no digerible del material. Todas estas sustancias, individuales o en conjunto, tienen efectos que provocan la baja digestibilidad y metabolismo de los nutrientes presentes en la pulpa. A estas sustancias se les ha denominado "Sustancias adversas" (9).

4.1 Cafeína: Es un alcaloide conocido como 1-3-7 trimetil xantina, tiene acción sobre el sistema nervioso central (12, 31), actúa también sobre los riñones produciendo diuresis, estimula el músculo cardíaco, tiene acciones ulcerogénicas, e incrementa el metabolismo basal al poco tiempo de ser ingerido; en dosis altas produce convulsiones, hemorragias y en algunos casos llega hasta la muerte, causada por fallo del sistema respiratorio (19).

Cabezas y col. (16) informan que al aumentar la cantidad de cafeína en la alimentación animal, con raciones conteniendo más del 20% de pulpa de café, se produce una marcada disminución del crecimiento y ganancia de peso (9). Al analizar el aumento de los ácidos grasos libres observados en terneros, éste se le ha atribuido a la acción lipolítica de la cafeína de la pulpa (9). Los resultados indican que la cafeína incorporada a niveles de 0.05 a 0.1% en raciones para gallinas ponedoras y gallos, inhibe la función reproductora. Así también, en las ratas, además de disminuir su crecimiento y ganancia de peso, también inhibe su función reproductora (9).

Estudios recientes (1, 25, 42), indican que la cafeína presente en la pulpa puede ser disminuida por fermentación usando el microorganismo **A. niger**. Además esta fermentación mejora la calidad química nutricional de la pulpa, porque aumenta el contenido de proteína y aminoácidos esenciales.

Investigando otras formas de eliminar la cafeína de la pulpa, se encontró que el mejor método de decafeinización es el de percolación usando agua hirviente como solvente (19, 36).

4.2 Taninos: Son formas derivadas de los polifenoles, su administración causa irritación por acción astringente, siendo causa de diarrea. Los taninos en presencia de proteína, forman complejos, evitando su extracción y su asimilación por los animales (52). Cabezas y col. (16), encontraron que el ácido tánico no causa efectos negativos en los rumiantes, pero cuando se encuentra en presencia de cafeína, produce efectos severos (16).

Bressani y Braham (9), encontraron que el ácido tánico reduce la energía metabólica y la retención de nitrógeno en pollos y disminuye su crecimiento al incluirlo en la dieta al 0.5%. Cuando se incluye al 5% causa la muerte del 70% de la población en los primeros días de consumo (19).

Cuevas (19), indica que los taninos disminuyen el crecimiento de las ratas en todos los niveles de consumo, produciéndoles la muerte al consumirlos en altos porcentajes.

De Rozo (21, 56), dirigió estudios sobre el efecto de los polifenoles en la absorción del hierro en los animales, y concluyó que la cantidad de polifenoles existentes en la pulpa es suficiente para disminuir la concentración de hierro fisiológicamente activa. También analizó la interacción de los polifenoles con la proteína, y observó que los de mayor peso se ligan más fácilmente que los polifenoles de menor peso molecular.

4.3 Potasio: Es un mineral con peso molecular de 39.102 ; en el organismo animal actúa como un electrólito, que regula la osmósis (52). La pulpa de café contiene niveles altos de potasio (Cuadro 5), su efecto que tiene al usar la pulpa de café como alimento animal, no es conocido (8), pero en otros estudios se conoce que con niveles altos de iones potasio inhibe los cofactores enzimáticos de algunas proteínas (32), además de afectar negativa o positivamente el equilibrio osmótico.

117

4.4 Fibra cruda: Son carbohidratos de cadena larga, esencialmente está formado de celulosa, lignina y hemicelulosa, sustancias que son poco digeribles por el metabolismo de los animales, resumiéndose en digestibilidad baja del material orgánico de la pulpa de café (8). En el Cuadro 4 se observa el contenido promedio de fibra cruda de la pulpa de café.

Las sustancias descritas individual o sinérgicamente son a las que se les atribuye la responsabilidad de los efectos adversos encontrados en la alimentación animal.

5. Métodos Analizados para Mejorar y Conservar la Calidad Química-Biológica de la Pulpa de Café.

La utilización de la pulpa de café en la alimentación animal se investiga por ser una buena opción como sustituto de otros forrajes. Existen 3 métodos posibles de conservación, estudiándose desde el punto de vista físico-químico y biológico.

5.1 Método físico: Este método consiste en reducir al máximo el contenido de agua existente en la pulpa de café (Cuadro 3). Molina y col. (35), analizaron la calidad química y biológica de la pulpa seca, observándose que al reducir el contenido de agua de la pulpa, por secado, no se obtienen mayores cambios en su composición química, comprobándose que las sustancias adversas a la alimentación animal persisten después del secado.

Debido a lo anterior este método físico no se cree que mejore la calidad de la pulpa de café, aunque no deja de ser una opción viable para su conservación.

5.2 Método biológico: Se refiere al proceso de fermentación anaeróbica o aeróbica, usando un sustrato sólido. Su más corriente aplicación a la pulpa de café ha sido en forma de ensilaje, proceso al cual se le ha dado mucha importancia. Bressani y Braham (9), presentan un análisis de los estudios sobre ensilaje, realizados e indican que, los silos de fosa dieron los mejores resultados. Agregando un porcentaje de melaza de caña de azúcar a la pulpa, mejora la calidad nutricional y la palatabilidad del forraje, permitiendo estimular la fermentación rápidamente. Los autores informan de estudios que señalan que el ensilaje por este método, reduce la cantidad de cafeína y taninos (9).

115

Se han estudiado varios tipos de microorganismos, ideales para la fermentación sólida aeróbica de la pulpa de café. Calderón (17), indica que la levadura **Sacchromyces sp.** reduce la cafeína de la pulpa. Estos estudios se realizaron fermentando la pulpa en forma de compost, obteniéndose al final un producto con alto contenido de proteína disponible.

Bressani y Braham (9), informan de estudios realizados en la pulpa de café, usando el microorganismo **Candida utilis,** obteniendo en planta piloto rendimientos considerables de hasta 750 g de levadura seca por 100 kg de fruto de café, con alrededor de 45% de proteína; datos similares fueron obtenidos en Colombia y Costa Rica (9).

Estudios realizados por Peñaloza (41) sobre fermentación sólida aeróbica de la pulpa de café usando los mohos: **A. niger, P. crustosum** y **T. harzianum**, revelan que el moho **A. niger** presenta el mejor comportamiento, brindando un producto con un alto porcentaje de proteína disponible.

La fermentación en medio sólido también ha sido de mucha importancia para la producción de alimentos de consumo humano, usándose en una amplia variedad de procesos, como por ejemplo, la maduración de los quesos, la elaboración de la salsa de soya, la elaboración del koji y el tempeh en el Medio Oriente, así como para mejorar la calidad nutritiva de la yuca (46).

Raimbault (46), concluye que la fermentación sólida tiene ventajas sobre la fermentación líquida, radicándose en el menor contenido de agua del sustrato sólido. Entre las principales ventajas se tienen:

- Ocupa menor espacio, requiriéndose de equipo menos complicado
- Por su menor contenido de agua, el costo de concentración del producto final es más económico
- Por su poco contenido de agua, los riesgos de contaminación son mínimos
- La preparación del medio es simple, utilizando granos, tubérculos y frutos

Entre las desventajas de la fermentación sólida se tienen:

- La baja disponibilidad de agua únicamente permite el desarrollo de mohos, restringiendo el uso de bacterias
- La fermentación sólida a gran escala presenta problemas de controles
- La agitación es un problema, porque se requiere de mucha potencia en medios sólidos

- Por ser un campo de estudio reciente, se cuenta con poca fuente de información.

Por su agitación, las fermentaciones en medio sólido se clasifican en: estáticas y con agitación.

5.2.1 Fermentación sólida estática: Este tipo de proceso se ha usado en la fermentación de productos alimenticios. En el Medio Oriente se realiza la inoculación del microorganismo al medio sólido, dejándose después en reposo, el tiempo necesario (42).

5.2.2 Fermentación sólida con agitación: La agitación contínua de la materia fermentándose con este sistema es importante, porque con ello se consigue el control homogéneo de la temperatura pH, humedad y se facilita el intercambio gaseoso. Este método tiene amplio uso en la industria alimenticia de fermentación líquida, pero es limitada en la fermentación sólida porque constituye un alto costo de energía el realizar la agitación (42).

6. Características del Aspergillus niger.

Considerando los buenos rendimientos que se han obtenido en la fermentación sólida de la pulpa de café con el moho **A. niger**, es necesario conocer sus características principales: El **A. niger** se clasifica como homgo verdadero, división Mycota, subdivisión Eumycotina, clase Deuteromycetes. (41).

La forma de reproducción conocida del **A. niger** es asexual, en forma de conídias, llevándose a cabo sobre la parte superior del esterigma, apollada por la vesícula del conifióforo de la célula basal.

Sus características morfológicas se basan en su tipo y disposición de las conidias, es por ello que su cultivo no es satisfactorio en medios líquidos; por lo que debe favorecerse las condiciones de temperatura, pH, humedad, aireación y los nutrientes disponibles en el medio sólido para que puedan desarrollarse satisfactoriamente.

En general, los mohos pueden sobrevivir en condiciones severas; según Pelczar (41), soportan concentraciones pequeñas de azúcares, tienen un pH entre 2 y 9, aunque el óptimo es de 5.6, los mohos necesitan un nivel de humedad de 60 a 70% pero pueden existir en medios con niveles menores, porque pueden tomar el agua necesaria de la atmósfera. Son microorganismos aeróbicos por excelencia

y soportan un amplio intervalo de temperatura, pero la temperatura ideal es de 35-37ºC (41).

El **A. niger** como todos los mohos necesitan obtener los nutrientes de algún medio apropiado, aunque la capacidad de sintetizar algunos nutrientes es específica en cada uno. Sin embargo, todos necesitan de: agua, fuentes de carbono, nitrógeno y algunos micronutrientes, así como de oxígeno.

IV. JUSTIFICACIONES

El café es el principal producto agrícola de Guatemala, como se observa en los datos de producción presentados en el Cuadro 1. La composición del grano de café indica que la pulpa constituye el 29% (Cuadro 2). Al observar los Cuadros 3-6 se concluye que la pulpa es un material al cual puede dársele diversos usos, como se muestra en el Diagrama 2; sin embargo, estos posibles usos en Guatemala están todavía en fase experimental de laboratorio. Entre los anteriores estudios destaca el posible uso de la pulpa como alimento animal (9).

Los análisis realizados por algunos autores (1, 42) indican, que en el proceso que podría ser factible la utilización de la pulpa como alimento animal está la fermentación sólida, usando el microorganismo **A. niger.** Este microorganismo se caracteriza por ser bastante celulósico, resistente a severas condiciones del medio y que degrada en parte la cafeína y los polifenoles, reduciéndolos notablemente.

Dado que los resultados de los procesos de fermentación se han obtenido solamente a nivel de laboratorio, es evidente la necesidad que existe de extrapolar los resultados de laboratorio hasta ahora obtenidos, diseñar el equipo de fermentación a nivel planta piloto, y evaluar el proceso de fermentación para obtener un producto económico, de buena calidad nutricional mediante una tecnología apropiada para su funcionamiento en el medio guatemalteco.

V. OBJETIVOS

1. Generales:

Optimizar los resultados de laboratorio hasta ahora obtenidos en la fermentación sólida aeróbica de la pulpa de café usando **A. niger** para su uso en alimentación animal, y desarrollar la tecnología adecuada para su funcionamiento a nivel piloto.

2. Específicos:

2.1 Determinar las concentraciones mínimas de urea, sulfato de amonio y fosfato monoácido de potasio a agregar a la pulpa de café, para obtener un producto similar al conseguido con las concentraciones estándar usadas hasta ahora.

2.2 Diseñar y evaluar la unidad de fermentación sólida para pulpa de café a nivel piloto con base en las condiciones óptimas de fermentación determinadas en el laboratorio.

2.3 Determinar los costos de producción de un material fermentado de buena calidad nutricional, producido a escala agroindustrial, y destinado para la alimentación de pollos o cerdos.

VI. HIPOTESIS

1. Es posible disminuir la concentración de sales agregadas al medio de fermentación de las concentraciones estándar agregadas al sustrato, sin que cambie la calidad físico-química y nutricional de la pulpa fermentada.

2. Es posible diseñar un equipo de fermentación sólida aeróbica que reuna todas las características necesarias, usando sistemas de tecnología apropiada, y asegurando su buen funcionamiento a nivel piloto agro-industrial.

VII. MATERIALES Y METODOS

1. Generalidades

La selección de las condiciones óptimas de fermentación de la pulpa de café se efectuó con base en la cinética de fermentación realizada por Peñaloza (42) para el moho **A. niger.**

Como fermentador a nivel de laboratorio se usaron las columnas con el arreglo dado por Raimbault (46), similar al usado por otros autores (1, 25, 42) en fermentación sólida de la pulpa de café (Figura 2). El material fermentado se produjo en cantidad suficiente para poder realizar las determinaciones de la composición química. El estudio experimental se realizó en 3 etapas.

1.1 Primera etapa.

1.1.1 Objetivo.

Determinar la cantidad mínima de sales a agregar para efectuar la fermentación y obtener un producto que químicamente tenga el menor contenido de sustancias antinutricionales conocidas y el mayor contenido de proteína verdadera a nivel de laboratorio.

1.1.2 Materiales y equipo.

- Pulpa de café: se usó pulpa de café, obtenida del municipio de Amatitlán Guatemala, siendo la cosecha del año 1980. Esta fue secada al sol hasta obtener un contenido de humedad promedio de 10%, luego se realizó la molienda con un molino de martillo de 1/4 hp, usando el tamiz No. 20.

- Sustancias químicas: se usaron para preparar el sustrato, sulfato de amonio, urea, fosfato monoácido de potasio, grado reactivo.

- Microorganismo: se inoculó el sustrato con el moho **A. niger** (cepa No. 10 de la Oficina de Investigación Científica y Técnica de Ultramar ORSTOM, París, Francia).

- Fermentador: se usaron las columnas con el arreglo a nivel laboratorio diseñado por Raimbault (46).

1.1.3 Métodos:

- Composición del medio sólido: A cada 100 g de pulpa seca, se le añadió fosfato monoácido de potasio, sulfato de amonio y urea en diferentes cantidades, desde cero hasta las concentraciones estándar dadas por Peñaloza (42). Las sales

se disolvieron en las cantidades de agua calculadas para obtener 80% de humedad en la pulpa seca. Luego se ajustó el pH a 3.5 con ácido clorhídrico y se homogenizó el sustrato.

- Mantenimiento de cepas: Para el mantenimiento de cepas y producción de esporas se usó agar papa (PDA). La incubación se efectuó a 35ºC durante el tiempo necesario para alcanzar una buena esporulación (4 - 5 días).

La suspensión de esporas para la inoculación del medio se preparó según la metodología de Mudget y Bajrachaya (39), y se almacenó a 4ºC hasta su uso en el experimento.

- Método de fermentación: 10 g del medio preparado se empacaron en cada columna del fermentador. El flujo de aire saturado con agua se controló a 8 lt/min /kg de materia seca. Este flujo se calibró para obtenerlo con ventilador tipo Eliote 802. La temperatura se controló colocando las columnas con el medio inoculado en un baño de agua con agitación forzada a temperatura de 35ºC. Esta temperatura equivale a la recomendada por Peñaloza (42). El tiempo de fermentación fue de 48 hr basado en los datos obtenidos de la cinética de fermentación realizada por Peñaloza (42). El pH inicial fue de 3.5 como se señaló antes.

1.1.4 Variables del experimento:

Las variables evaluadas fueron las diferentes concentraciones de sales, las cuales se presentan en el Cuadro 7.

1.1.5 Análisis físico-químico:

Estos análisis se realizaron a la pulpa antes y después de fermentada, con el objeto de verificar el cambio producido durante el proceso, así como el efecto de las diferentes cantidades de sales agregadas. Los análisis fueron:

- Verificación del pH y control de temperatura.
- Determinación de la composición química proximal de la pulpa de café, por los métodos de la AOAC (2).
- Determinación del contenido de cafeína por el método de Ishler y col. (27).
- Determinación del contenido de taninos (45).
- Determinación de aminoácidos totales (39).

1.2 Segunda etapa:

1.2.1 Objetivo:

Diseñar y construir el equipo de fermentación a nivel piloto con las condiciones ideales obtenidas en el laboratorio.

1.2.2 Materiales disponibles.

Se encuentra disponible para el diseño una marmita de doble camisa, con capacidad de 120 lt modelo 1972 de la Lee Metal Products Co., NATL BD No. 40A de la serie No A. 1482.

1.2.3 Equipo a diseñar:

- Equipo de agitación
- Equipo de aireación
- Equipo de abastecimiento de agua para la camisa y agua depurada aceptada para el medio.

1.2.4 Métodos de diseño:

- Diseños preliminares o estimaciones rápidas
- Diseño con estimaciones detalladas
- Diseños definitivos del proceso
- Construcción del diseño definitivo

1.3 Tercera parte.

1.3.1 Objetivo:

Evaluar el diseño piloto de fermentación sólida de la pulpa de café, diseñado con las condiciones óptimas de laboratorio y las concentraciones de sales mínimas para máximas respuestas obtenidas en la primera etapa.

1.3.2 Materiales y métodos:

Se utilizaron los métodos descritos en la primera etapa y las condiciones óptimas identificadas a nivel de laboratorio.

1.3.3 Equipo:

El equipo utilizado fue el diseñado en la segunda etapa, el cual se instaló en la planta piloto del INCAP.

1.4 Análisis de datos:

Para analizar los datos se hizo uso de las técnicas: "t" de Student y análisis de varianza, aplicando regresión y correlación lineal (51).

SEGUNDA PARTE

DESARROLLO DE TECNOLOGIA.

Para el diseño del equipo de fermentación sólida de la pulpa de café, a nivel de planta piloto, se trató de aprovechar todo el equipo ya existente y disponible, para adecuarlo a los fines de operación. El diseño también se basó en los resultados obtenidos en laboratorio como: temperatura de fermentación 35ºC, pH inicial 3.5, flujo de aire 8lt/min/kg de materia seca, humedad inicial 80%, y el agregado de las respectivas cantidades de sulfato de amonio, urea y fosfato dibásico de potasio. Para simplificar el diseño del equipo se analizó en las siguientes partes:

1. Diseño de la marmita o envoltura.
2. Diseño del agitador y potencia del motor.
3. Diseño de los controles de pH, humedad y temperatura.
4. Diseño de abastecimiento de agua.

1. Diseño de la marmita o envoltura.

Se dispone de una marmita enchaquetada de acero inoxidable con medidas de equipo a nivel piloto, de marca Lee Metal Products Co. Natl Bd No. 30 A serie A 1482 del año de 1972. Esta está construida de metal apropiado para los fines de uso, y provista de chaqueta para calentamiento. La marmita tiene capacidad de 0.15 m^3. En base a la capacidad de la marmita y la densidad de la pulpa de café húmeda se obtiene el peso por lote.

Densidad de la pulpa 1140 kg/m^3. Volumen útil de la marmita 0.1 m^3 peso pulpa por lote = densidad por volumen

= 114 kg de pulpa como sustrato. (120 kg)

2. Diseño del agitador y potencia del motor.

El equipo de agitación tiene los siguientes objetivos:

1. Mezclar el sustrato homogéneamente.
2. Distribuir homogéneamente la temperatura.
3. Dispersar el aire.

Antes de tomar la decisión del material del agitador se estudiarán las condiciones a las cuales será expuesto.

ESFUERZOS MECANICOS: Debido a la agitación necesaria para obtener lo indicado por los objetivos, el agitador estará expuesto a soportar altas tensiones, esfuerzos y cargas, ya que estará moviendo una sustancia semisólida de alta viscosidad, y con peso de 120 kg por lote (53).

CORROSION QUIMICA: Tomando en cuenta las sustancias que se agregan para preparar el sustrato y las posibles sustancias que se forman debido a la fermentación, el material de construcción deberá ser inerte químicamente a las sustancias siguientes: fosfato dibásico de potasio, urea, ácido clorhídrico, bióxido y monóxido de carbono, y al oxígeno.

Después del análisis de Perry (43), Striter (54) y Richarson (49), se concluye que los materiales ideales para este tipo de accesorios son, en prioridad decreciente.

1. Acero inoxidable 316
2. Acero inoxidable 301
3. Durichlor 140

2.1 Composición química del acero 316.

Fe; 16-18% Cr; 10-14% Ni; 0.1% max. C; 1.57-2.75% Mo.

El acero se encuentra disponible en forma de: barras, laminado en frío, estirado, laminado en caliente, planchas, barrillas, tubos y alambre.

2.2 Forma del agitador.

La forma del agitador es importante, tanto para que la agitación sea eficiente, como para que el material pueda soportar los esfuerzos, las tensiones y cargas a las cuales será sometido (54, 14).

El agitador diseñado fue de dos anclas, ubicadas a 90º entre si con un soporte en el centro, y dos élices de forma de paleta con inclinación de 45º a la par del soporte. El movimiento del ancla es contraria al de las élices. El ancla tiene raspadores de bisagra intercalados entre cada ala. Los raspadores tienen un cojinete de teflón para evitar el desgaste de la marmita, (véase planos 1, 2 y 3).

2.3 Medidas del agitador. (Ver plano 1).

2.4 Potencia necesaria para el agitador.

Para obtener la potencia necesaria del agitador, Perry (43) plantea una ecuación para la agitación de sustancias altamente viscosas.

$$HP = \& \; L^{4.7} \; n^{2.85} \; d^{0.85} z^{0.15} \qquad (1)$$

Donde HP Potencia del motor necesaria

& Parámetro de función de potencia, que depende de la forma del rodete o impulsor.

n Revoluciones por segundo

d Densidad del material

z Viscosidad del material

L Longitud de la paleta.

El parámetro, función de potencia (&) es diferente para cada tipo y número de paletas (43). Los datos usados para el cálculo de la potencia fueron:

Elice de dos paletas con inclinación 45º	&	=	0.00312
Turbina de cuatro paletas con inclinación de 45º	&	=	0.00408
Paletas planas de cuatro hojas	&	=	0.00720

2.4.1 Potencia necesaria para la élice superior (cálculo de muestra)

Datos:

L	0.45 m.	& 0.00312			
n	0.5 rpm	d 1140 kg/m^3	z	100	kg/m.s.

al sustituir los datos en la ecuación (1) se tiene:

$$HP = 0.0080$$

De igual forma se efectuaron los cálculos para los soportes, de las paletas planas curvadas del ancla. Los datos se resumen en:

élice superior	0.0080
élice inferior	0.0004
paleta con inclinación	0.0172
paleta plana curvada	1.5242
paleta plana horizontal	0.0478
POTENCIA TEORICA	1.5976 HP.

Tomando en cuenta la conversión de energía eléctrica a la mecánica, se tiene que el factor de conversión promedio es de 0.8 (43). Dado el movimiento contrario de las élices y el ancla se asumió 30% más de potencia necesaria, además del dato teórico obtenido. La potencia ideal del motor para mover el agitador fue, entonces, de 2.5 HP.

2.5 Relación entre agitador y equipo de aireación.

El aire necesario para la fermentación es de 8 lt /min/kg de pulpa seca. Esta aireación se induce en el eje del agitador y se dispersa en el fondo por medio de un atomizador y la parte baja del ancla. El diseño se dividió en: Diseño del atomizador y de los agujeros del ancla.

2.6.1 Diseño del atomizador.

El atomizador se diseñó con la forma y en las medidas que se indican en el plano 3.A. Perry (43), presenta la fórmula para calcular el área de un arco, así:

$$A = r * H * 2 * 3.1416$$

Donde: r es el radio del círculo que contiene el arco
H es la altura del arco.

del análisis gráfico se tiene que r 3.43 cm y H 1.9cm.

$$\text{área} = 41.03 \text{ cm}^2$$

Para la densidad del orificio; acorde a Timmerhaus (55) se tiene que la densidad ideal es de 25 orificios por pulgada cuadrada, con un diámetro de 1 mm. Para los fines que se persiguen se obtiene un total de 159 orificios para el atomizador.

El total del área de salida de aire en el atomizador se obtiene con la fórmula:

$$A' = n * Pi * D^2 * 1/4$$

A' área de salida del aire en el atomizador
n número de orificios (159)
D diámetro de los orificios.

obteniéndose el área de 1.25 cm^2

2.6.2 Diseño de los agujeros del ancla.

Los orificios del ancla, se ubicaron en la cara superior del ancla, colocados desde el soporte medio hasta el fondo del atomizador. La densidad y el diámetro de los orificios, fue la descrita en el inciso 2.6.1.

El ancla fue de 5.08 cm de ancho, con una longitud útil del ancla bajo el soporte para colocar los orificios de 0.56 m por ancla, disponiéndose de un área de 0.056 m^2 por las dos anclas.

El total de orificios fue de 2,200 de 1 mm de diámetro, espaciados a cada 4 mm, siendo el área total por orificios de 17.28 cm^2. El área total de salida de aire (orificios del ancla y atomizador) fue de 18.53 cm^2.

2.7 Presión del aire en el agitador.

a. La presión total que debe vencer el aire para salir del agitador está definida por los siguientes componentes:

a. presión atmosférica 11,449.26 kg/m^2
b. presión debida al peso de la pulpa
c. pérdida de presión por fricción.

b. Para estimar la presión debida al peso de la pulpa de café Perry (43), Brown (14), McCabe y Smith (33), presentan la fórmula de pérdida de cabeza debida al peso de un material:

$$\text{Presión} = d \times h \times g/g_c$$

Donde: d es la densidad de la pulpa de café
h es la altura de la sustancia
g es el factor de gravedad
g_c es el factor de conversión

Para este caso se asumió que la altura de la pulpa es la que existe entre el orificio más lejano a la parte superior del material al llenar la marmita, y es de 0.48 m, luego:

$$\text{Presión} = 723.27\ kg/cm^2$$

y asumiendo 15% de pérdida de presión por fricción y por expansión de volumen al salir del atomizador:

$$\text{PRESION TOTAL DEL AIRE} = 14{,}059\ kg/m^2$$

131

La presión del aire que llega a la planta piloto es de 36,996 kg/m^2, entonces para obtener la presión de entrada del aire, con el flujo necesario, se dispuso de una válvula reguladora de presión.

2.8 Diseño de los raspadores.

Los raspadores fueron construidos con las medidas y forma indicadas en el plano 3B. La colocación sobre el ancla se hizo por medio de una bisagra, la cual tuvo la función de evitar esfuerzos grandes sobre la misma aspa. Además los raspadores fueron recubiertos con teflón del lado de la cara que rozaba con la pared de la marmita (53).

3. Diseño de los controles.

3.1 Control de temperatura: La temperatura ideal para la fermentación es de 35ºC. Con el fin de mantener esta temperatura se dispuso de la marmita enchaquetada, la cual se calienta con vapor, y la temperatura se controla con un termostato, donde la terminal se sumergió en el sustrato de pulpa de café, y los controles regularon el flujo de vapor por medio de una señal eléctrica en la válvula selenoide.

3.2 Control de humedad: la humedad ideal para la fermentación es de 80%, la cual se midió con un medidor de humedad, cuya función fue regular el flujo de agua, el que se logró dispersándolo por un atomizador y regulándolo con una válvula selenoide.

4. Diseño del abastecimiento de agua y aire.

Para el abastecimiento de agua y aire se aprovechó el ya existente en la planta piloto, y únicamente se colocaron reguladores para obtener las condiciones necesarias de flujo como se indica en el plano 4.

TERCERA PARTE

PROYECTO ECONOMICO DE INGENIERIA.

1. Descripción del proceso:

La representación del proceso de fermentación de la pulpa de café con el microorganismo **A. niger** se observa en el Diagrama 3. Las etapas del proceso para obtener el producto para alimentación animal consisten básicamente de las operaciones de: secado, molienda, mezclado, fermentación, empaque y almacenamiento de materia prima y producto.

El despulpado del grano de café se realiza por el proceso húmedo, y la pulpa se obtiene del beneficio con alto contenido de humedad (arriba del 85%). Entonces, es necesario secarla a humedad de 20 a 30% para realizar el proceso de molienda y humedecerla luego para utilizarla en fermentación con 80% de humedad. El producto fermentado se seca hasta lograr un contenido de humedad de 30% previo a la molienda del producto el cual se empaca en bolsas de 100 kg y se almacena. El proceso de secado se realiza por el método de secado mecánico, con el secador rotatorio, Molina y col. (35) informaron sobre comparaciones de varios métodos de secado y éste fue el que resultó más económico y eficiente, aunque el secado solar es un buen método económicamente, pero tiene el inconveniente de que necesita usar extensiones grandes para el secado, las cuales se usan también para secar el grano de café, que tiene un mejor precio en el mercado, sin embargo, debería estudiarse más a fondo el método de secado por acción solar a manera de optimizarse porque presenta gran potencial económico de energéticos.

2. Evaluación económica.

Al plantear el análisis económico para la industrialización del producto obtenido por fermentación de la pulpa de café, como ingrediente para concentrado animal, se presentan dos alternativas: La primera alternativa se basa en la extrapolación de los datos de producción obtenidos a nivel de planta piloto, utilizando varias unidades similares a la diseñada, pero con mayor capacidad (0.5 Tm). La segunda alternativa tiene la modificación de realizar la fermentación en bandejas con medidas de 1 m de ancho, 1.20 m de largo y 0.10 m de alto, con altura de sustrato de 5.08 cm y capacidad de 68.4 kg de materia por bandeja y un total de 210 bandejas, instaladas en un cuarto con temperatura, aireación, pH y humedad controlada a las condiciones necesarias para la fermentación. La metodo-

logía para la evaluación económica de las dos alternativas fue:

1. Establecimiento del equipo necesario para el proceso
2. Determinación de los costos del equipo para producción
3. Balance de materia y energía para el proceso
4. Cálculo de los costos fijos para el proceso
5. Cálculo de los costos de manufactura
6. Cálculo de los costos de producción total
7. Análisis de ganancia basado en ventas brutas y costo total del producto, expresado al final, como costo total del producto, por año, y costo de producto por kilogramo.

Primera alternativa:

El Diagrama de Flujo 3 presenta la secuencia de este proceso, el que incluye las operaciones fundamentales del mismo. El equipo necesario se lista en el Cuadro 23 en el que se presenta el costo de cada equipo instalado, obtenido por medio de tablas, gráficas y costos de equipos cotizados, los que se actualizaron por medio de índices de costos y por volumen o potencia, según el equipo. Se observa que el costo total del equipo instalado es de Q347,700.oo, de esta forma los costos fijos totales son de: Q381,700.oo, estimados con certeza de ± 15%. Con estos datos se observa que los costos del total del equipo constituyen el 62.27% del total de los costos fijos. Los costos de manufactura se estimaron por el modelo propuesto por Happel y Jordan (26), y los datos se presentan en los Cuadros 23-26. Como puede apreciarse, los costos se estimaron por año y por kg de producto obtenido, con 70% de sólidos y 30% de humedad. El análisis se realizó para obtener una producción de: 302,400 kg de producto por año para las dos alternativas, a partir de 1,008 Tm de pulpa de café con 70% de humedad como materia húmeda, con costo de Q1.oo/100 kg de materia. La localización de la planta debe ser cerca o adherida a un beneficio de café. Los costos del producto se realizaron para: materiales directos o indirectos, mano de obra directa e indirecta, etc., y por año de producción. El costo total para la primera alternativa es de Q208,076.35/año, y de Q0.68/kg de producto. A partir de este resultado, se calculó la ganancia bruta y la neta para esa alternativa, siendo de Q21,993.37/año y Q0.072/kg de producto, respectivamente (Cuadro 24).

Segunda alternativa:

En el Diagrama de Flujo 4 se presenta la segunda alternativa y se observa

que la variante del proceso es que la fermentación se realiza en bandejas, preparándose el medio en una mezcladora. El equipo necesario para la fermentación así como su costo se presenta en el Cuadro 25, siendo el costo total de Q115,250.oo. Los costos fijos se estimaron de igual forma que la alternativa anterior y ascienden a Q156,250.oo, como se observan en el Cuadro 25, y representan aproximadamente el 60% de la primera alternativa, los costos de manufactura se estimaron en la primera alternativa y ascienden a Q185,404.oo/año de producción y Q0.586/kg de producto, respectivamente (Cuadro 26). A partir de este resultado se obtiene la ganancia neta y la ganancia bruta, las cuales ascienden a Q36,734.88/año de producción, Q0.121/kg de producto y Q56,515.20/año de producción Q0.186/kg de producto, respectivamente (Cuadro 26). Al comparar las dos alternativas se tiene que el costo por equipo, el consumo de energía y la mano de obra son los factores que hacen diferente la economía de las dos alternativas. Con base en los datos presentados se concluyó que la segunda alternativa es la que representa el mejor proyecto económico de ingeniería para la industrialización de la pulpa de café fermentada para obtener un concentrado para alimentación animal.

VIII RESULTADOS Y DISCUSION

1. Materia Prima: La pulpa de café para la investigación fue obtenida del municipio de Amatitlán, Guatemala. Al momento de recoger la pulpa de café de los beneficios se observó que estaba mezclada con bastante cascabillo de café, lo cual constituía un problema para los fines de este estudio porque el cascabillo de café es un material cuya composición química, la constituyen valores altos de fibra cruda (9).

Por otra parte, se observó que en la pulpa de café, al tener alto contenido de humedad durante un período de tiempo, se desarrolla un crecimiento natural de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, lo que da como resultado una fermentación natural no controlada, por el crecimiento de una diversa gama de microorganismos. Esto puede dar como resultado la aparición de sustancias formadas por la fermentación, que por el desconocimiento de los microorganismos que las producen pueden, en algunos casos, ser nocivas a los animales. El usar esta pulpa como materia prima para la fermentación aeróbica conlleva la posibilidad que la fermentación aeróbica sea contaminada con microorganismos patógenos, que cambiarían el equilibrio de la fermentación ya optimizada en el laboratorio. Debido a lo anterior, fue necesario conservar adecuadamente la pulpa de café, para luego utilizarla como materia prima en la fermentación. Molina y col. (35), analizaron y evaluaron varios métodos de secado y encontró que el proceso de secado mecánico, usando el secador rotatorio, es el que técnica y económicamente resulta más factible de realizar para el secado de la pulpa de café.

También es posible usar la pulpa de café para la fermentación al salir del proceso de despulpado, ya que ésta sale con 85-90% de humedad; y resultaría más económico llevarla con un proceso de prensado a 80% de humedad, que es la necesaria para la fermentación de la pulpa de café con **A. niger.**

ENSAYOS DE LABORATORIO.

El análisis de los resultados de la experimentación a nivel de laboratorio de la pulpa de café, esencialmente se basó en la disminución de sustancias que se consideran tóxicas en la alimentación animal (cafeína, taninos y fibra cruda), y el aumento de proteína de la pulpa de café fermentada, de los diferentes tratamientos presentados en el Cuadro 7, con respecto a la pulpa original (tratamiento 29, Cuadro 7), y su comparación con el tratamiento al que se le agregaron las

cantidades estándar de sales, (tratamiento 28, Cuadro 7).

2. Aminoácidos Totales: En el Cuadro 8 se presenta el contenido de aminoácidos totales de la pulpa de café fermentada por 48 horas con el microorganismo **A. niger**, con el agregado de distintas sales que se identifican en el Cuadro 7. El contenido de aminoácidos se presenta en base sustrato con un 10% de humedad.

En el Cuadro 8 puede apreciarse que la fermentación de la pulpa de café con los tratamientos 01, 04, 16, 20 y 24 presentó el mayor contenido de aminoácidos totales, entre todos los tratamientos realizados, inclusive comparándola con la muestra a la que se le habían agregado las cantidades estándar de sales (tratamiento 28). Aunque los resultados de los tratamientos citados presentan diferencia ésta no probó ser estadísticamente significativa.

En el tratamiento 01 no se le agregaron sales de urea, fosfato dibásico de potasio y sulfato de amonio a la pulpa de café, siendo únicamente inoculada con el moho **A. niger** para fermentarse. Con este método, el contenido de aminoácidos totales de la pulpa aumentó, lo cual indica que el proceso de fermentación, el nitrógeno no proteico de la pulpa se transforma, lo cual se debe a la actividad metabólica del moho. Aguilar (1) encontró que existe disminución del contenido total de carbohidratos de la pulpa, pero en cuanto a la degradación de la cafeína y los taninos solamente los indica, pero no presenta resultados. Peñaloza (42) cita que otros autores informan que la cafeína es una fuente natural de nitrógeno para algunos mohos, pero en su estudio con pulpa de café no encontró variación en el contenido de cafeína de la pulpa fermentada con el moho **A. niger**. Sin embargo, en este caso para el tratamiento 01 hubo disminución del contenido de cafeína y taninos siendo la diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) para el primer compuesto, al comparar los datos con la pulpa no fermentada (tratamiento 29). Cuando a la pulpa de café no se le agregan fuentes externas de nitrógeno, el moho se ve forzado a metabolizar el nitrógeno de otras fuentes pero lo hace lentamente, y se tendría que estudiar si económicamente es factible de realizar. Los resultados del Cuadro 9 indican que existe disminución de la cafeína para el tratamiento 01, cuya concentración final fue de 0.89 ± 0.16 g de cafeína por 100 g de pulpa de café fermentada y secada al 10% de humedad, en base sustrato; mientras que el dato de la pulpa no fermentada fue de 1.5 ± 0.11 g% sobre la misma base. Esta diferencia fue estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$). Por otra parte, el contenido de taninos reportados por el tratamiento 01 es de

4.26 g% que, al compararlo con el dato de la pulpa no fermentada (5.06 g%), no presentó diferencia estadísticamente significativa

En el tratamiento 04, a la pulpa fue adicionada la urea como fuente de nitrógeno (1.5 g urea/100 g pulpa). Se realizó el proceso de fermentación con la metodología descrita anteriormente, obteniéndose un aumento del contenido de aminoácidos totales, como se observa en el Cuadro 8. Los taninos y la cafeína se encontraron similares a los datos del tratamiento 01. La fibra cruda, extracto etéreo y cenizas disminuyeron significativamente con la fermentación al compararlos con los tratamientos 01 y 29 (pulpa no fermentada), como se observa en los Cuadros 10 - 12.

Para el tratamiento 16 se le agregó urea y K_2HPO_4 como fuente de nitrógeno y fósforo en las cantidades 2.5 g y 2.0 de cada sal, respectivamente por 100 g de pulpa de café, obteniéndose también aumento del contenido de aminoácidos totales en la pulpa de café (10.45 ± 1.30 g%) después del proceso de fermentación, siendo su valor estadísticamente mayor ($P \leq 0.05$), que el de la pulpa no fermentada. En cuanto a cafeína y taninos no hubo diferencia estadísticamente significativa al comparar los resultados obtenidos con este material con los obtenidos con los otros tratamientos de la pulpa de café fermentada, pero los resultados sí probaron ser menores significativamente al compararlos con los de la pulpa de café no fermentada (tratamiento 29). Similarmente la fibra cruda, el extracto etéreo y las cenizas en el tratamiento 16 fueron levemente mayores que los obtenidos con los otros tratamientos de la pulpa de café fermentada, pero fueron menores, con diferencia estadísticamente significativa al compararlos con los de la pulpa de café no fermentada.

En el tratamiento 20 se agregó sulfato de amonio y fosfato dibásico de potasio en las cantidades de 2.5 g y 4.0 g respectivamente, por 100 g de pulpa de café al 10% de humedad. En el Cuadro 8 se aprecia que el contenido de aminoácidos totales (9.28 ± 3.28g%), aumenta con el proceso de fermentación con respecto al valor obtenido con la pulpa de café no fermentada, aunque con una alta desviación estándar, posiblemente debida a lo heterogéneo de la pulpa como sustrato para el crecimiento del moho, dado que en los otros análisis de este tratamiento se observa el mismo efecto.

En el tratamiento 24 se agregaron 5 g de sulfato de amonio, 1.5 g de urea y 4 g de fosfato dibásico de potasio, por 100 g de pulpa de café. En este trata-

miento se obtuvo el mayor contenido de aminoácidos totales (10.62 ± 1.96g%) durante las 48 horas de fermentación. El análisis de varianza indicó que no existe diferencia significativa entre éste y los otros tratamientos citados, pero sí hubo diferencia significativa al compararlo con la pulpa no fermentada. El contenido de cafeína y taninos fue menor significativamente que los valores de la pulpa no fermentada, como se observa en los Cuadros 9 y 13. El valor de la fibra cruda disminuyó de 23.06 ± 1.85 g% que corresponde a la pulpa no fermentada a 14.88 ± 2.37 g%. Posiblemente la alta disminución observada se deba en parte al agregado de sulfato de amonio, porque esta sal en solución acuosa se ioniza a $2(NH_4)^+ + SO_4^=$, y el ión sulfato tiende a disminuir los constituyentes de la fibra cruda en forma aún no explicada. Aguilar (1) encontró el mismo efecto aunque no explica la causa de la disminución de la fibra. Estudios informados por Bressani y col. (9) indican que los tratamientos de la pulpa de café con sustancias químicas, como el metabisulfito de sodio ($Na_2S_2O_5$), disminuyen significativamente su contenido de fibra. En este caso la causa más probable de la disminución de la fibra es que el moho produce la enzima celulasa que degrada la celulosa como se comprobó en los análisis **in vitro.**

El contenido de cenizas del tratamiento 24 es alto (10.45 ± 1.0 g%), con relación al contenido de la pulpa no fermentada, debiéndose el incremento al agregado de la sal K_2HPO_4 a la pulpa de café, porque el potasio y el fósforo de la sal pasan a formar parte de los minerales que constituyen el total de la ceniza de la pulpa.

La influencia de las sales agregadas a la pulpa de café sobre los aminoácidos totales obtenidos se resume en el Cuadro 15. Se observa que al aumentar la cantidad de urea agregada a la pulpa de café, disminuye el contenido de aminoácidos totales en la pulpa fermentada. Esto posiblemente se deba a que las concentraciones altas de urea en la pulpa, provocan cambios en las propiedades fisicoquímicas de las protéinas solubles. Braverman (7) indica que altas concentraciones de urea provocan pérdidas de solubilidad proteica, formación de geles irreversibles, la exposición de grupos reactivos, tales como los sulfhidrilos, y en general, que ocurre desnaturalización de la proteína. Basado en lo anterior lo que posiblemente podría estar ocurriendo es que con cantidades altas de urea, parte de la misma, estaría funcionando como fuente de nitrógeno para el moho y la parte excedente causaría los cambios fisicoquímicos indicados por Braverman (7), afec-

tando no sólo la solubilidad de la proteína, sino también el crecimiento del **A. niger.** Esto explicaría la disminución del contenido de aminoácidos totales de la pulpa de café fermentada sólo con el agregado de urea, aunque el nivel medio de urea agregada a la pulpa puede considerarse con buenas perspectivas para que el moho tenga una fuente de nitrógeno fácilmente metabolizable.

El efecto del agregado de sulfato de amonio a la pulpa de café en las cantidades de 0.0 g, 2.5 g, y 5.0 g de sal por 100 g se incluye en el Cuadro 15, donde puede observarse que el contenido de aminoácidos totales disminuyen al aumentar la cantidad de sal agregada a la pulpa. Braverman (7) indica que el sulfato de amonio sirve para precipitar proteína, para luego recuperarla para análisis. Posiblemente podría estar ocurriendo esta precipitación al tener exceso de sulfato de amonio en la pulpa, pues al haber una concentración alta, existe mayor probabilidad de contacto entre la proteína de la pulpa y el sulfato de amonio, lo que daría como resultado la precipitación de la proteína, reduciendo en esta forma no sólo la solubilidad proteica, sino también el crecimiento del moho y así, el contenido de aminoácidos totales en la pulpa fermentada, como se observa en las Gráficas 1-3.

El agregado de K_2HPO_4 a la pulpa de café disminuye levemente el contenido de aminoácidos totales al aumentar el agregado de la sal (Cuadro 15). El fosfato se agrega a la pulpa como fuente de fósforo para el moho. Además sirve como una sustancia buffer que regula el pH del sustrato (42). La disminución de los aminoácidos totales en el producto, posiblemente se debe a que la pulpa tiene un alto contenido de potasio (9) y al agregarle potasio como K_2HPO_4 podría interferir de alguna forma en la respiración del moho, interfiriendo el ciclo de Krebs (7); sin embargo, esta teoría tendría que verificarse.

El efecto que causa el agregado de las sales en sus diversas combinaciones se observa en el Cuadro 15 y en las gráficas 1, 2 y 3. Se puede apreciar que la combinación urea-sulfato de amonio disminuye el contenido de aminoácidos en las diferentes cantidades agregadas; igual efecto se observa en la combinación sulfato de amonio-fosfato dibásico de potasio, mientras que la combinación urea-fosfato dibásico de potasio forma curvas cóncavas hacia abajo, lo que nos indica que el moho necesita esencialmente de urea y fosfato dibásico de potasio como fuente de nitrógeno y fósforo para su metabolismo, y de esa forma efectuar bien su proceso respiratorio y el ciclo de Krebs.

Es importante hacer notar que el patrón de aminoácidos usado para la cuantificación de los mismos en este estudio fue diferente al usado por otros autores (1, 25, 42) en fermentación sólida de la pulpa de café, con el moho **A. niger**. Al patrón usado para este estudio no se le agregaron los aminoácidos azufrados en la solución; mientras que el usado por los otros autores (1, 25, 42), tenía la gama completa de aminoácidos. Esto influyó al relacionar la densidad óptica y el peso de los aminoácidos cuantificados. Por lo que al realizar comparaciones del contenido de aminoácidos de la pulpa de café de este estudio con otros estudios debe tomarse en cuenta este aspecto.

Cafeína: En el Cuadro 9 se presenta el contenido de cafeína de la pulpa de café fermentada con el moho **A. niger** con las diferentes cantidades de sales de urea, sulfato de amonio y fosfato dibásico de potasio agregadas (Cuadro 7). Puede observarse que la diferencia entre cada tratamiento de pulpa de café fermentada es muy poca, pero todos los tratamientos presentaron diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con respecto al dato obtenido en la pulpa no fermentada.

En el Cuadro 16 se observa el efecto que el agregado de las sales de nitrógeno y potasio, tienen sobre el contenido de cafeína de la pulpa de café; esto se observa también en el Cuadro 15 y en las gráficas 4, 5 y 6. De las 27 posibles combinaciones presentadas en el Cuadro 7 se observa que: Primero, el agregado de las sales de urea, K_2HPO_4 y $(NH_4)_2SO_4$ a la pulpa de café produce resultados divergentes en cuanto al contenido de cafeína; segundo: se observa que cuando se agrega la menor y la mayor cantidad de una misma sal, el resultado de cafeína es levemente mayor que el dato obtenido de la concentración media.

Ninguno de los dos casos citados, sin embargo, presenta diferencia y/o tendencia definida, como se observa en las gráficas citadas. Esto se considera que es debido a que el moho no es capaz de metabolizar en igual forma las diferentes cantidades y tipos de sales, así como sus diferentes combinaciones, durante el tiempo de fermentación.

Anteriormente se indicó, que algunos microorganismos degradan la cafeína, metabolizando el nitrógeno que es parte de su fórmula estructural. Entre ellos se encuentra el moho **A. niger.** Estudios realizados por Peñaloza (42), y Aguilar (1) encontraron muy poca degradación de la cafeína en la pulpa de café por el moho **A. niger,** sugiriéndose que la concentración en que se agregaban las sales

141

de urea y sulfato de amonio como fuente de nitrógeno al sustrato para el moho era demasiado alta, e impedía que el moho metabolizara el nitrógeno de la cafeína a un ritmo mayor. En este estudio se encontró que existe disminución de la cafeína en todos los tratamientos realizados, inclusive cuando se agregan las sales en las cantidades citadas por los mencionados autores (tratamiento 28 del Cuadro 9). De lo anterior puede decirse que el moho **A. niger** posiblemente metaboliza el nitrógeno de la cafeína en un 15%.

Cenizas: Los resultados del contenido de cenizas en la pulpa de café fermentada con el moho **A. niger**, con las distintas cantidades de sales agregadas, se encuentran en el Cuadro 10. Se observa que los resultados varían de 6.59 a 12.26 g de cenizas por 100 g de pulpa de café al 10% de humedad, en base sustrato. Del análisis realizado para las 27 combinaciones de agregado de sales a la pulpa de café, se encontró que la única sal que afecta al contenido de cenizas de la pulpa fermentada es el fosfato dibásico de potasio. Como se observa en el Cuadro 15 y la gráfica 7, al aumentar el agregado de la sal también aumenta el contenido de ceniza en el producto. Bressani y col. (9) analizaron la composición química de las cenizas de la pulpa de café y encontraron al potasio y fósforo como principales componentes, y es natural pensar que cuando se agrega K_2HPO_4 al sustrato también aumenta el contenido de cenizas y de potasio en el producto fermentado. La función básica del fosfato monoácido de potasio es la de actuar como un tampón durante la fermentación, así como fuente de fósforo para el moho.

El método de fermentación de este estudio varió con relación al presentado por otros autores en fermentación sólida de la pulpa de café, dado que ellos agregaron KH_2PO_4 como fuente de fósforo, mientras que en este estudio se usó K_2HPO_4. Es lógico esperar entonces que los datos de cenizas en este estudio sean mayores al valor obtenido por otros autores.

Extracto Etéreo: En el Cuadro 11 se encuentra el contenido de extracto etéreo de la pulpa de café fermentada con el moho **A. niger**, con las diferentes cantidades de urea, K_2HPO_4 y $(NH_4)_2SO_4$ agregadas a la pulpa. Se observa una concentración de extracto etéreo entre 1.91 a 4.90 por 100 g de pulpa de café al 10% de humedad, en base sustrato. Las diferencias probaron ser no significativas ($P \leq 0.05$). La muestra no fermentada presentó un contenido de extracto etéreo de 4.08 ± 0.44 y el correspondiente dato de la muestra con el agregado estándar de sales fue de 3.23 ± 1.36. Los resultados para los otros tratamientos que tienen

menor cantidad de sales agregadas a la pulpa indican un contenido de extracto etéreo levemente menor a los apuntados arriba. Esto nos indica que la fermentación de la pulpa da como resultado un alimento para animales de menor densidad energética que el material original.

En el Cuadro 18 se observan los datos de extracto etéreo de las 27 combinaciones obtenidas al variar las cantidades de urea, fosfato dibásico de potasio y sulfato de amonio agregadas a la pulpa de café. La influencia de cada sal sobre el extracto etéreo del producto fermentado fue muy baja dado que el valor medio de extracto etéreo se encuentra entre 2 y 4 g. por 100 g de pulpa de café al 10% de humedad. Datos similares han encontrado otros autores en pulpa ensilada o pulpa deshidratada (9, 12).

Algunos autores han analizado el extracto etéreo de otros forrajes, como la alfalfa y han encontrado que en la extracción de la grasa con éter etílico, también extrae otras sustancias, como pigmentos vegetales, ceras y algunos carbohidratos solubles en éter (2). El extracto etéreo de la pulpa de café podría variar, entonces en función del contenido de esas sustancias al momento de la cosecha del fruto del café.

Frear (22) encontró que la digestibilidad de la grasa saponificable de la alfalfa era de 66%, y 29% la de la grasa no saponificable. Esto indica que no toda la grasa es digerible. En el caso de la grasa de la pulpa de café se tendría que caracterizar y cuantificar primero los componentes de la grasa propiamente dicha y luego, realizar un estudio de la digestibilidad de la misma.

Fibra Cruda: En el Cuadro 12 se observan los datos de fibra cruda obtenidos en los diferentes tratamientos citados en el Cuadro 7. Se observa que existe diferencia entre los tratamientos, indicadas por las diferentes letras; puede verse que en los tratamientos que se agregó menor cantidad de fosfato dibásico de potasio presentaron los valores más bajos de fibra cruda.

Aguilar (1) informó que la fibra cruda de la pulpa disminuye durante la fermentación al degradarse la celulosa y la hemicelulosa por acción del moho **A. niger.** Esta degradación de la fibra se lleva a cabo porque el moho produce la enzima celulasa que hidroliza la celulosa, aumentando el contenido de carbohidratos solubles en la pulpa. En la alimentación animal, los hidratos de carbono de cadena corta se asimilan en mejor forma como fuente de energía que los hidratos de

carbono de cadena larga (como la celulosa o hemicelulosa), los cuales constituyen lo que se llama fibra cruda. Peñaloza (42) informó también que la fibra cruda disminuye al fermentar la pulpa con el moho **A. niger** agregando las sales de urea, sulfato de amonio y fosfato dibásico de potasio, en las cantidades estándar del Cuadro 7; y que esta disminución se debe a la hidrólisis de la celulosa por la acción de la enzima celulasa.

En el Cuadro 19 y en la gráfica 11 se observa que cuando se aumentan las cantidades de urea y sulfato de amonio agregadas al sustrato, el contenido de fibra cruda disminuye. Se considera que el nitrógeno de la urea y del sulfato de amonio favorecen el crecimiento del moho **A. niger**, que produce la enzima celulasa, y al haber mayor crecimiento del moho, naturalmente existe mayor cantidad de enzima celulasa, por lo que hay mayor degradación de celulosa, componente principal de la fibra cruda.

En la gráfica 12 se observa que el aumento de la cantidad de fosfato dibásico de potasio, con valores bajos de urea y sulfato de amonio disminuye la degradación de fibra cruda. Posiblemente se debió a que el K_2HPO_4 interfirió con el crecimiento del moho. La suposición es válida porque a medida que se favorecen las condiciones para el crecimiento del moho, el contenido de fibra cruda disminuye como lo expresan los resultados de las gráficas 11 y 12.

Taninos: En el Cuadro 13 se presentan los datos de taninos obtenidos en la pulpa de café usando el método de catequina. Se observa que al fermentar la pulpa de café sólo con la inoculación del moho **A. niger** (tratamiento 01), el contenido de taninos disminuyó levemente comparado con la pulpa de café no fermentada (tratamiento 29). Cuando se agregaron urea, K_2HPO_4 y $(NH_4)_2SO_4$ este contenido disminuyó aún más. También es importante indicar que el agregado de K_2HPO_4 únicamente a la pulpa de café produjo valores bajos de taninos, comparados con los datos obtenidos al agregar las otras sales a la pulpa de café.

Por otra parte, al relacionar los resultados obtenidos de aminoácidos totales y taninos de la pulpa de café (Cuadros 8 y 13) se observa que los tratamientos que tienen los menores contenidos de aminoácidos totales también tienen los menores contenidos de taninos. Posiblemente podrían estar reaccionando la proteína y los taninos durante el proceso de fermentación, formando complejos gelatinosos insolubles, lo cual afecta la cuantificación de los taninos por el método de catequina usado, obteniéndose resultados bajos.

Dado que la cuantificación de taninos por el método de catequina analiza únicamente los taninos hidrolizables, de altos pesos moleculares de la clase flavonoides conocidos con el nombre de catequina (7), para tener una mejor idea del total de taninos, habría que cuantificar los taninos condensables por el método de Folin Denis y obtener el total real de los polifenoles contenidos en la pulpa de café.

Pérdida de Materia Seca: El dato de pérdida de materia seca es el resultado de realizar un balance de material del proceso de fermentación. Los datos se sumarizan en el Cuadro 14. Para su determinación se tomó como 100% de materia seca inicial el peso seco del sustrato. La variación con respecto a la materia seca obtenida como producto del proceso de fermentación se denominó pérdida de materia seca. Lo que ocurre durante el proceso de fermentación es que el moho usa parte de la pulpa como fuente de carbono y, a través del metabolismo respiratorio origina la liberación de algunos gases como CO_2, CO y vapor de agua primordialmente. Para realizar un balance de materia con mayor precisión, sin embargo, se tendría que evaluar la cantidad y calidad de aire de entrada así como la salida de gases del medio de fermentación. Al relacionar los datos del Cuadro 14 con el tipo de tratamiento (Cuadro 7), se observa que los tratamientos que tienen mayor pérdida de materia seca son los que carecen o tienen la menor cantidad de K_2HPO_4 agregada a la pulpa de café; mientras que el tipo de fuente de nitrógeno y cantidad agregada a la pulpa, no parece influir en la pérdida de materia seca. Esto implica una posible relación entre la pérdida seca y los cambios de otras sustancias. Del análisis se encontró que existe una relación inversa entre la pérdida de materia seca y la fibra cruda del producto, siendo un razonamiento lógico y esperado porque mientras exista una mayor degradación de la fibra cruda implica mejor o mayor utilización de la pulpa por el moho.

Humedad: La humedad inicial de la pulpa fue de 80% (base húmeda) en todos los sustratos fermentados, manteniéndose constante durante todo el proceso ya que sólo varió en $\pm$ 2% de humedad, con relación a la humedad final del producto. La humedad usada fue la recomendada por Peñaloza (42), y la usada por otros autores (1, 25) en fermentación sólida de la pulpa de café con **A. niger.** La variación de humedad, no presentó efecto significativo con respecto a la variación de sales agregadas a la pulpa.

Dado que se forma vapor de agua como producto de la respiración del moho

al aumentar el tiempo de fermentación, es lógico esperar que la humedad tienda a aumentar, por lo que se hace necesario tener estricto control sobre el contenido de humedad del sustrato para evitar que los cambios en humedad influyan sobre el crecimiento y metabolismo del moho. Para asegurar el buen funcionamiento del proceso a nivel agroindustrial, es necesario usar sistemas de control semiautomáticos, que controlen la humedad y, pueda regularse el flujo de agua para tener la humedad al 80% esencialmente después de iniciado el proceso de fermentación.

Las humedades presentadas en el Cuadro 21 son las de la pulpa de café fermentada y secada. Es importante la estandarización de los valores de humedad para realizar los diversos análisis químicos del estudio porque los componentes se encuentran en los sólidos de la pulpa de café; entonces, para los análisis y cálculos se basó en 90% de sólidos y 10% de humedad de material.

Nitrógeno total: El contenido de nitrógeno total para cada tratamiento de la pulpa de café fermentada se presenta en el Cuadro 20. Se puede observar que cuando se aumenta la cantidad de urea a la pulpa de café el contenido de nitrógeno aumenta más que cuando se agrega sulfato de amonio.

El valor de esta determinación es dudosa dado a que el nitrógeno total cuantificado en los tratamientos de fermentación de la pulpa de café, incluye nitrógeno proteico orgánico (como urea) y sales como sulfato de amonio. Por lo mismo, parte de las sales agregadas (urea y/o sulfato de amonio), que no hayan sido utilizadas por el moho, pueden estarse cuantificando en la determinación.

PRUEBAS A NIVEL DE PLANTA PILOTO

Evaluación del Equipo de Fermentación.

La evaluación del equipo de fermentación se realizó en dos lotes de 100 kg aproximadamente de pulpa de café al 80% de humedad, fermentada con **A. niger**, agregando las sales de urea, y fosfato dibásico de potasio en las cantidades 2.5 g y 2.0 g/100 g de pulpa de café, usando un flujo de aire de 8 lts/minuto/kg de materia seca, un pH de 3.5 inicial y un tiempo total de 48 horas. Con esta metodología se obtuvo un producto con la composición química presentada en el Cuadro 22. Se observa que hubo disminución en el contenido de taninos y aumento de los aminoácidos totales, nitrógeno total y cenizas, mientras que los datos de fibra cruda y cafeína no presentaron cambio con respecto a los valores de la pulpa original.

La calidad de la pulpa de café fermentada a nivel de planta piloto comparada con la calidad obtenida a nivel de laboratorio fue menor en cuanto a la degradación de la fibra cruda, taninos y formación de aminoácidos totales. Posiblemente se debió a aspectos de optimización de funcionamiento del equipo de fermentación, tales como la velocidad de agitación. Peñaloza (42) cita a Hesseltine, indicando que la agitación ideal para la fermentación sólida en producto como el Koji, la producción de enzimas y/o micotoxinas es de 1 a 16 rpm. La usada en fermentación sólida de la pulpa de café fue de 12 y 9.5 rpm. Además, si se analiza la interacción espora- sustrato, la espora necesita de condiciones especiales para germinar, así como de un tiempo necesario de interacción con el sustrato para que la germinación pueda suceder; y al relacionar esto último con la velocidad de agitación posiblemente esta fue muy alta y la interacción o contacto entre la espora y el sustrato fue menor, por lo que la agitación posiblemente debiera ser menor (aproximadamente de 1 a 4 rpm), para fermentar la pulpa de café. Otro factor que posiblemente influyó en la fermentación fue la aireación, que aunque se mantuvo el flujo indicado; debe considerarse que cuando la aireación es por zonas (como es el caso del fermentador), la velocidad de flujo de aire posiblemente debe ser mayor para que exista suficiente disponibilidad de oxígeno, y los gases liberados por la fermentación puedan eliminarse para evitar que inhiba el crecimiento o germinación de las esporas.

El flujo de aire y la temperatura del medio pueden relacionarse en el proceso de fermentación; al calentar el aire a temperatura de 39ºC , el medio se mantendrá a 35ºC aproximadamente. De esta forma se reducen los gastos debido al vapor necesario para calentar directamente al medio a la temperatura necesaria. También el aire de aireación debe liberarse de impurezas como aceite y otros químicos para evitar que interfieran en el crecimiento del microorganismo.

Otro factor que influyó en el proceso a nivel de planta piloto fue el abastecimiento de agua para mantener la humedad del sustrato a 80% y fue porque no se dispuso de los controles necesarios para su verificación, la que se realizó en forma indirecta. Se considera que debe controlarse esta variable durante el proceso de fermentación. Una vez se hayan corregido estas variables que influyeron en el proceso de fermentación, debiera pensarse que la calidad de la pulpa fermentada mejorará considerablemente.

En síntesis, la discusión de los resultados de la fermentación de la pulpa de café en la experimentación de laboratorio se basó en el aumento de la proteína total, y en la disminución de sustancias consideradas tóxicas en la alimentación animal (cafeína, taninos y fibra cruda), dándosele mayor credibilidad, al resultado con mayor contenido de proteína (aminoácidos totales) porque el aumento de la proteína es debido a la biomasa, parámetro que indica mayor crecimiento del microorganismo, lo que conlleva al consumo de nutrientes como lo es fosfato dibásico de potasio, urea, carbohidratos solubles, y entre ellos podrían incluirse: los taninos, la cafeína y la fibra cruda. Sin embargo, esto requiere que el agregado de las sales (urea, K_2HPO_4 y $(NH_4)_2SO_4$, sea menor que el agregado en el tratamiento estándar de sales para que al final pueda contarse con un producto económico para la alimentación animal.

IX. CONCLUSIONES

1. La calidad fisicoquímica de la pulpa de café fermentada mejoró significativamente con relación a la calidad de la pulpa original, lo cual se demuestra con el contenido de proteína (aminoácidos totales) y la disminución del contenido de sustancias consideradas tóxicas para la alimentación animal (cafeína, taninos y fibra cruda). Asimismo, se logró una mejoría de las características de la pulpa fermentada en los tratamientos 01, 04, 16, 20 y 24 (Cuadro 7), todo esto con relación al tratamiento estándar (tratamiento 28 Cuadro 7).

2. Se demuestra que la concentración de sales estándar agregadas a la pulpa para su fermentación (urea 3.5 g; $(NH_4)_2SO_4$ 7 g; y K_2HPO_4 5.0 g) se disminuye considerablemente a: urea 2.5 g; y K_2HPO_4 2.0 g por 100 g de pulpa seca, siempre obteniendo un producto fermentado de buena calidad para la alimentación animal.

3. Fue posible diseñar y construir el equipo de fermentación sólida de la pulpa de café, utilizando sistemas de tecnología apropiadas para evaluar y proporcionar las condiciones necesarias para el proceso aeróbico de fermentación, a nivel de planta piloto.

4. A nivel de laboratorio se obtuvo una muy buena eficiencia de conversión en el aumento de la proteína total (45.77%) y en la disminución de sustancias tóxicas, cafeína (43.33%), taninos (37.13%) y fibra cruda (2.90%) de la pulpa fermentada con el tratamiento No. 16 (Cuadro 7) con relación a la pulpa original.

5. La evaluación del proceso de fermentación en el equipo diseñado y construido a nivel de planta piloto, se controlaron satisfactoriamente las variables de fermentación: pH, humedad, temperatura y aireación, lográndose una eficiencia de conversión de: Aumento de proteína total 29.13%, y disminución de sustancias consideradas tóxicas en alimentación animal de: cafeína 26.00%, taninos 62.00% y fibra cruda 0.0% de la pulpa fermentada con el tratamiento No. 16 (Cuadro 7) con relación a la pulpa de café original.

6. Al extrapolar los datos de producción de la pulpa de café fermentada, en base a los datos obtenidos con el equipo de planta piloto, se observa que

los costos de inversión en maquinaria y material auxiliar para preparar el sustrato son muy elevados, obteniéndose los costos de Q0.68/kg de producto, con 70% de sólidos y 30% de humedad. Los costos de producción disminuyen aumentando el volumen de producción o bien modificando parte del proceso de fermentación.

X. RECOMENDACIONES

1. Conociendo los resultados anteriores, obtenidos de la fermentación de la pulpa de café con el microorganismo **A. niger** con la variación de sales de nitrógeno y fósforo, se considera que debiera estudiarse el posible aprovechamiento de la cafeína de la pulpa de café como alkaloide (mediante una decafeinización), para usar el residuo de ese proceso para fermentación previo a emplearlo en alimentación animal. Esto sería factible, idealmente con buenas perspectivas económicas. Primero, realizar la percolación para la detoxificación de la pulpa; y luego, la fermentación de la pulpa con el microorganismo para disminuir la fibra cruda y aumentar la proteína verdadera para usar el producto como concentrado animal.

2. El diseño del proceso de fermentación presentado en este trabajo tiene la operación de secado de la pulpa de café en el momento de ser obtenida del beneficio, para luego realizar la operación de molienda. Se considera que, para reducir costos de operación, debiera evaluarse el realizar una etapa de prensado, en vez del secado y llevar a la pulpa a 80% de humedad que es la necesaria para la fermentación.

3. La fermentación de la pulpa de café por el método de bandejas se observa con muy buenas perspectivas económicamente, además de los buenos resultados obtenidos en laboratorio, aunque los datos no se presentan, creo necesario recomendar el estudiar y analizar un poco más profundamente esta metodología de fermentación. Las variables a controlar serían de carácter ambiental, además de la altura del sustrato en la bandeja, para que el crecimiento sea uniforme.

4. Es muy posible que la eficiencia del fermentador diseñado en este estudio, se puede aumentar al reducir las revoluciones del sistema de agitación a 3-4rpm. Dado que en este estudio se evaluó a 9-11 rpm. aspecto que interfiere en el contacto entre sustrato y microorganismo, se recomienda que para trabajos posteriores se tomen en cuenta las velocidades propuestas.

BIBLIOGRAFIA

1. Aguilar M., Dora P. **"Estudios sobre la utilización de carbohidratos, por A. niger en sistemas de fermentación sólida, usando pulpa de café como sustrato y diferentes niveles de fuentes de nitrógeno".** Tesis (Lic. Químico Biólogo). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala 1984. 120 p.

2. Bateman Jhon, V. **"Nutrición Animal"**; Manual de métodos analíticos.

3. Bendaña García, G. **"Efecto de tratamientos alcalinos por remojo o contacto sobre el valor nutritivo y composición química de la pulpa de café fresca o ensilada".** Tesis (Magister Scientificae), INCAP. USAC. CESNA. Guatemala 1977, 40p.

4. Boletín Informativo Internacional "ANACAFE", ediciones de octubre a marzo de: 1982/83, 1983/84.

5. Bohkenfor, R. y Fonseca, H. **"Calidad de ensilado con la pulpa de café conteniendo diferentes niveles de humedad y aditivos".** rev. AGA. octubre 1973; pgs. 15-20.

6. Braham J. E. **"Utilizatión of coffe as animal feed".** Asia, Londres 1880 pgs. 303-324.

7. Braverman, J. B. S. **"Bioquímica de los alimentos".** Trad. al español por Hill, Fernando. Editorial Manual Moderno, México 1980 pgs. 270-280.

8. Bressani, R. **"Pulpa y Pergamino de café para consumo animal"** VII reunión interamericana sobre el control de la fiebre aftosa y otras zoognosis. Pto España, Trinidad y Tobago, 1974.

9. _____, y Braham, J. (eds). **"Pulpa de Café".** Composición, Tecnología y Utilización de la pulpa de café, Ottowa, Canadá; International Devilopment Research Centre. 1978, 152 pgs.

10. _____, y González J. **"Evaluación de la pulpa de café como posible sustituto del maíz en raciones de pollos de carne".** Arch. Latinoamericanos Nutr. 28(2):208-221, 1978.

11. _____, y Elías, L. **"Utilización de la pulpa de café en bovinos".** En exposición pecuaria del Istmo C.A. El Salvador. 1976.

12. _____; Estrada, E.; Jarquín, R. **Pulpa y pergamino de Café".** En I. Composición química y contenido de aminoácidos de la proteína de la pulpa de café, Turrialba: 22:299-304, 1972.

13. _____; Estrada, E.; Elías, L.; Jarquín, R. **"Pulpa y Pergamino de café".** IV. Efecto de la pulpa de café en raciones para pollos y ratas. Turrialba 23:403-409, 1977.

156

14. Brown George. **"Operaciones Básicas de la Ingeniería Química".** Trad. por Calvet, F. et al. edit. Marin, Barcelona, España 1965, pgs.528-535.

15. Cabezas, M.; Gonzales, J.; Bressani, R. **"Pulpa y Pergamino de café".** Absorción y retención de nitrógeno en terneros alimentados con raciones elaboradas con pulpa de café, Turrialba 24:90-94, 1974.

16. _____; Estrada, E.; Murillo, B.; Gonzales, J.; Bressani, R. **"Respuesta de terneros a la pulpa de café, cafeína, ácido tánico en la ración".** Publicaciones INCAP 12:5-21 1978.

17. Calderón Muñoz, E. **"Estudios sobre posible mejoramiento Químico Nutricional de la pulpa de café por fermentación Oxidativa".** Tesis (Químico Biólogo), Facultad de Farmacia, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1985; pgs 45.

18. Calle, V. H. **"Producción de gas combustible por fermentación metánica de la pulpa de café".** Boletín informativo, Ceni-café, Chichina; 1965; 50:22-27.

19. Cuevas, R. **"Optimización y factibilidad económica del proceso de decafeinicación de la pulpa de café".** Tesis Magister Scientificae, en Ciencia de los Alimentos y Nutrición Animal. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, INCAP. CESNA. Guatemala 1977.

20. Daqui, T. E. **"Características Químicas y Nutricionales de la Pulpa de Café ensilada con pasto Naiper y Planta de Maíz"** Tesis Magister Scientificae; Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, INCAP, CESNA. Guatemala 1975 55p.

21. De Rozo, M. P.; Vélez R.; Jeneatte.; García, A. **"Efecto de los polifenoles de la pulpa de café en la absorción de hierro".** Arch. Latin. de Nutr. 35(2):287-296;1985.

22. Donal E. H. Frear. PH. Dr. **"Tratado de la Química Agrícola".** Trad. por Rancaño Adolfo, Edit. Salvat S.A. pgs. 80-90 tomo II, 1956.

23. Gómez Brenes; R. y Bressani, R. **"Un método para la determinación de aminoácidos aplicable a problemas de suplementación fitomejoramiento y bioquímica nutricional".** Arch. Latin. de Nutr. 23:445-464; 1973.

24. Gonzales, J. **"VIII Preparación de ensilaje de pulpa de café"** CATIE, Turrialba, Costa Rica C. A. 41 P. 1974.

25. Guzman, Amalia. **"Efectos de nivel y naturaleza de fuente de nitrógeno sobre el mejoramiento de la calidad química nutricional de la pulpa de café por fermentación sólida usando A. niger".** Tesis (Lic. Químico Biólogo), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Guatemala 1983, 84P.

26. Happel, John. y Donald G. Jordan. **"Chemical Processing Engineering"** 2da. edición, edit. Marcel Dekker Inc. New York 1975 488 pgs.

27. Isler; Fenucane, N. H.; y Borker, E. **"Rapid Spectrofotometric Determination of Cafeine".** Analitical Chemestry, 20:1162-1166 1948.

28. Jaffe, W. y Ortiz, S. **"Notas sobre el valor alimenticio de la pulpa de café".** AGRO. (Venezuela) 23:31-37, 1953.

29. Jorgensen, Alfred. **"Microbiología de las fermentaciones industriales".** Acribia Zaragoza, España, 7a. ed. 1959. 194 pgs.

30. Kenneth B. Raper y Dorothy I. Fennell. **"The Genus Aspergillus"** edit. Williams & Wilkins Company. Baltimore 1965, 293-340 pgs.

31. Krug, C. A.; Poerck, R. A. **"Estudio Mundial del café".** Roma, FAO. pgs.205-220, 1969.

32. Litwock Gerard. **"Bioquímica Experimental".** Trad. por Sanz Perez, B. Edit. Omega S.A. Barcelona, pgs. 213-249, 1967.

33. McCabe Warrem, L.; Smith, Julian. **Operaciones Básicas de Ingeniería Química".** Trad. por Mato V., PP.; y Coca, J. Edit. Reverte, España 1978, Tomo II, Cap. 4, 5 y 6.

34. Molina, M. R. y Avendaño, O. **"La Utilización de la Pulpa de Café en la alimentación de bovinos".** Publicaciones INCAP. 1978.

35. _____; De la Fuente, G.; Gudiel, H.; Bressani, R. **"Pulpa y Pergamino de café".** VIII. Estudios sobre la Deshidratación de la pulpa de café, Turrialba, 24:280-284, 1974.

36. _____; De la Fuente, G.; Batten, M.; y Bressani, R. **"Decaffeination a process to detoxify coffe pulp".** J. Agr. Food Chem. 22:1055-1058, 1974.

37. Murillo, B.; Cabezas, M.; Estrada, E.; Bressani, R. **"Respuestas de terneros a la pulpa de café, cafeína y ácido tánico en la ración".** INCAP. 12:15-24; 1977.

38. _____; Cabezas, M.; Jarquín, R.; Bressani, R. **"Pulpa y Pergamino de café".** VI. Adaptación del ganado bovino a la pulpa de café. Turrialba 24:160-167. 1974.

39. Mudgett, R. y Bajracharya, R. **"Effects of Controlled gas Environment in microbial enhancement of plant protein recovery".** J. Food Biochem. 3:135-149, 1980.

40. Organización de las Naciones Unidas. **"Manual para la Preparación de estudios de Viabilidad Industrial".** Nueva York 260 pgs. 1978.

41. Pelczar, M. J. **"Microbiología"**. Trad. por Leopoldo, M. 2da. ed. McGraw-Hill 1981, 193-310.

42. Peñaloza Izurieta, W. **"Fermentación sólida de la Pulpa de Café"** Tesis (Magister Scientificae) en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, CESNA, INCAP, 1981. 55pgs.

43. Perry, R. H. **"Chemical Engineers"**. Manual del Ingeniero Químico; 5a. ed. Tokyo, MacGraw-Hill, Koga Kusha ltd.

44. Potter, Norman. **"La Ciencia de Los Alimentos"**. Edit. Edutex México, S.A. Cap. 8, 1973.

45. Price, M. L. et al. **"Acritical Evaluation of the Vainilin Reaction as an assay for tanin in Sorghun Grain"**. J. Agric. Food Chem. 26(5):1214-1218, 1978.

46. Raimbault, M. **"Fermentation en Mileu Solide, Croissance de Champignones Filamenteux sur Sustrat Amylace"**. ORTON Paris, 291 pgs, 1981.

47. Ramirez, R. Q. **"Ingeniería Bioquímica"**. Edit. Alhambra, México pgs. 81-113, 1981.

48. Rendina, George. **"Técnicas de Bioquímica Aplicada"**. Trad. por Folet, Roberth. Edit. Interamericana, pags. 80-89, 1971.

49. Richardson, J. Coulson, J. y Peacock, D. **"Chemical Engineering"** Edit. Pergamino, Press. New York tomo I, II. 1975.

50. Rhodes, A. y Fletcher, P. **"Principios de Microbiología"**. Trad. por Cárdenas, E.; Edit. Acribia Zaragoza España, 1969. Pgs. 25-77.

51. Snedecor, G. W. **"Stadistical Methods Aplicad to Experiments in Agriculture and Biology"**. 5th ed. Ames, Iowa, The Iowa State College Press 534 pgs. 1966.

52. Sollman, Rorald. **"A Manual of Pharmacology...."**. Saunders Company, 268-275 pgs. 1957.

53. Solomons, G. L. **"Materials and Methods in Fermentation"**,...Edit London and New York, Academic Press. 330 pgs. 1969.

54. Striter, J. **"Ingeniería de los Materiales"**. Edit. Reverte. 1ra. ed. México, 26-88 pgs. 1986.

55. Peter, Max.; Timmerhaus, Klausus, D. **"Plant Desing and Economics for Chemical Engineers"**. Third Edition, McGraw-Hill, USA, 1980 pp. 133-280.

56. Vélez, A. J.; García, A.; De Rozo, M. **"Interacción in Vitro, entre los polifenoles de la Pulpa de Café y algunas Proteínas"**. Arch. Latin. de Nutr. 35(2):297-305, 1985.

155

A N E X O S

CUADRO No. 1

Producción de Café en Guatemala *

Año	Producción qq.
1974-1975	3,422,539.98
1975-1976	3,023,721.86
1976-1977	3,447,203.79
1977-1978	3,656,893.94
1978-1979	3,687,379.12
1979-1980	3,584,928.76
1980-1981	3,857,153.17
1981-1982	3,642,373.22
1982-1983	3,758,847.15
1983-1984	3,110,357.97

* Tomado de "Pulpa de café", Eds. Bressani, R. y Braham, J.

CUADRO No. 2

*** Distribución porcentual de las estructuras principales del café en cereza (base seca). g%**

Variedad Parte.	Arábico	Burbón	Mezcla
Pulpa	26.5	29.6	28.7
Cascarilla	10.0	11.2	11 9
Mucílago	13.7	7.5	4.9
Grano de café	50.0	51.7	55.2

* Tomado de "Pulpa de café"; Eds. Bressani, R. y Braham, J.

CUADRO No. 3

Composición química proximal de la pulpa de café
(en porcentaje). *

	Pulpa Fresca	Pulpa deshidratada	Pulpa fermentada y deshidratada
Humedad	76.7	12.6	7.9
Materia seca	23.3	87.7	92.1
Extracto etéreo	0.48	2.5	2.6
Fibra Cruda	3.4	21.0	20.8
Nitrogeno	2.34	1.8	1.7
Proteína (N * 6.25)	2.1	11.2	10.7
Cenizas	1.5	8.3	8.8
Extracto libre de N.	15.8	44.4	49.2

* Tomado de "Pulpa de Café"; Eds. Bressani, R. y Braham, J.

CUADRO No. 4

Sustancias orgánicas encontradas en la pulpa de café
(base seca). *

Compuestos orgánicos	g%
Taninos	1.8 - 8.56
Sust. Pécticas totales	6.5
Azúcares reductores	12.4
Azúcares no reductores	2.0
Cafeína	1.3 - 0.51
Acido clorogénico	2.6
Acido cafeico total	1.6

* Tomado de "Pulpa de Café"; Eds. Bressani, R. y Braham, J.

CUADRO No. 5

Contenido de minerales encontrados en la pulpa de café *

Mineral	Porcentaje g%
Cenizas	8.300
Calcio	0.554
Fósforo	0.116
Hierro	0.015
Sodio	0.100
Potasio	1.765

* Tomado de "Pulpa de Café"; Eds. Bressani, R. y Braham, J.

CUADRO No. 6

Contenido de aminoácidos esenciales y no esenciales de la pulpa del café, comparada con la de otras especies (expresado en g /16 g de nitrógeno). *

Aminoácido	Pulp. de café	Harina de maíz	Harina de soya	Harina de algodón	h. de pescado
Lisina	6.8	1.7	6.4	4.3	9.7
Histidina	3.9	2.8	2.4	2.6	1.7
Arginina	4.9	3.1	7.2	11.2	6.8
Treonina	4.6	3.3	3.9	3.5	5.8
Cistidina	1.0	1.0	1.8	1.6	—.—
Metiotina	1.3	1.6	1.3	1.4	2.6
Valina	7.4	5.0	5.2	4.9	5.2
Leusina	7.7	16.7	7.7	5.9	8.6
Isoleucina	4.2	4.3	5.4	3.8	5.6
Terosina	3.6	5.0	3.2	2.7	—.—
Fenilalomina	4.9	5.7	4.9	5.2	3.7
Hidroxiprolina	0.5				
Ac. aspartico	8.7				
Serina	6.3				
Ac. Glutámico	10.8				
Prolina	6.1				
Elicina	6.7				
Alanina	5.4				

* Tomado de "Pulpa de Café"; Eds. Bressani, R. y Braham, R.

CUADRO No. 7

Tratamientos correspondientes a cada variación de sal de sulfato de amonio, urea y fosfato diabásico de potasio, agregadas a la pulpa de café. (Pruebas de Laboratorio)

No. de TRATAMIENTO	$(NH_4)_2SO_4$ g %	Fórmula UREA g%	K_2HPO_4 g%
01	0.0	0.0	0.0
02	2.5	0.0	0.0
03	5.0	0.0	0.0
04	0.0	1.5	0.0
05	2.5	1.5	0.0
06	5.0	1.5	0.0
07	0.0	2.5	0.0
08	2.5	2.5	0.0
09	5.0	2.5	0.0
10	0.0	0.0	2.0
11	2.5	0.0	2.0
12	5.0	0.0	2.0
13	0.0	1.5	2.0
14	2.5	1.5	2.0
15	5.0	1.5	2.0
16	0.0	2.5	2.0
17	2.5	2.5	2.0
18	5.0	2.5	2.0
19	0.0	0.0	4.0
20	2.5	0.0	4.0
21	5.0	0.0	4.0
22	0.0	1.5	4.0
23	2.5	1.5	4.0
24	5.0	1.5	4.0
25	0.0	2.5	4.0
26	2.5	2.5	4.0
27	5.0	2.5	4.0
28 *	7.5	3.5	5.0
29 **	—.—	—.—	—.—

* Muestra estándar.

** Muestra en blanco (no fermentada).

CUADRO No. 8

Contenido de AMINOACIDOS TOTALES de la pulpa de café (g A.T/100 g. de pulpa de café, al 10% de humedad) de los diferentes tratamientos de sales agregadas, (Base sustrato)

Número de TRATAMIENTO	g% de A. T.	Calificación
15	* 5.26 ± 0.25	** a
17	5.47 0.31	a-b
18	6.25 0.79	a-c
14	6.57 0.54	a-d
22	6.87 1.11	a-d
27	7.14 1.30	a-e
29	7.19 0.74	a-f
25	7.24 0.98	a-f
06	7.29 0.68	a-f
07	7.31 0.54	a-f
21	7.55 0.74	a-f
23	7.76 1.54	a-f
08	7.87 0.91	a-f
03	7.99 2.17	a-f
12	8.11 1.99	a-f
28	8.15 0.98	a-f
05	8.19 0.52	a-f
19	8.24 1.61	a-f
10	8.34 1.13	a-f
26	8.37 1.30	a-f
09	8.48 1.29	a-f
02	8.60 1.33	a-f
13	8.64 0.91	a-f
11	8.82 0.76	b-f
20	9.28 3.59	c-f
04	9,47 2.95	c-f
01	9.99 1.83	d-f
16	10.45 1.30	e-f
24	10.62 1.96	f

* Media de cinco repeticiones ± desviación estándar.

** Grupos con letras iguales indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos P≤0.05.

CUADRO No. 9

Contenido de CAFEINA (g de caf./100 g. de pulpa de café) de los diferentes tratamientos de la pulpa (base sustrato 10% de humedad)

Número de TRATAMIENTO	g% de cafeína		Calificación
17	* 0.63	± 0.18	** a
02	0.67	0.14	a-b
21	0.71	0.11	a-c
25	0.76	0.13	a-c
03	0.77	0.22	a-c
12	0.80	0.22	a-c
14	0.81	0.06	a-c
28	0.81	0.16	a-c
10	0.82	0.11	a-c
04	0.83	0.13	a-c
27	0.84	0.12	a-c
15	0.84	0.06	a-c
16	0.85	0.28	a-c
05	0.85	0.11	a-c
06	0.86	0.06	a-c
20	0.86	0.31	a-c
19	0.90	0.20	a-c
01	0.90	0.16	a-c
11	0.90	0.08	a-c
08	0.90	0.11	a-c
24	0.91	0.09	a-c
22	0.92	0.13	a-c
18	0.92	0.08	a-c
23	0.93	0.12	a-c
07	1.01	0.05	b-c
13	1.01	0.11	b-c
26	1.02	0.15	b-c
09	1.05	0.13	b-c
29	1.50	0.11	d

* Media de repeticiones ± desviación estándar.

** Grupos con letras iguales, no existe diferencia significativa estadísticamente $P \leq 0.05$.

CUADRO No. 10

Contenido de CENIZAS (g de C/100 g. de pulpa de café) de los diferentes tratamientos de pulpa (Al 10% de humedad, base sustrato)

Número de TRATAMIENTO	g % de C.	Calificación
03	* 6.59 ± 1.24	** a
05	6.83 0.32	a-b
04	6.93 0.88	a-b
07	7.00 0.62	a-c
02	7.08 1.64	a-d
06	7.33 0.42	a-d
17	7.42 1.49	a-d
08	7.46 1.05	a-d
10	7.62 0.73	a-e
12	7.65 2.13	a-e
29	7.69 0.66	a-e
09	7.71 1.20	a-e
14	7.76 0.82	a-e
15	7.81 0.26	a-e
16	8.51 1.15	a-f
01	8.67 1.66	a-f
18	8.89 0.51	a-g
21	9.02 1.21	a-g
11	9.08 1.20	a-g
27	9.30 0.99	a-g
25	9.44 1.50	a-g
13	9.81 0.96	a-g
28	10.02 1.64	b-g
26	10.16 0.88	b-g
24	10.45 1.07	c-g
19	10.65 2.20	d-g
20	11.14 3.75	e-g
22	11.39 1.55	f-g
23	12.26 2.73	g

* Media de 5 repeticiones, ± desviación estándar.

** Grupos con letras iguales indica que no existe diferencia significativa estadísticamente $P \leq 0.05$.

CUADRO No. 11

Contenido de EXTRACTO ETEREO (g EE.EE/100 g. de pulpa de café, al 10% de humedad y en base sustrato), de los diferentes tratamientos de pulpa

Número de TRATAMIENTOS	g % de EE. EE.		Calificación
25	* 1.91	± 1.24	** a
26	1.91	0.31	a
03	2.08	0.90	a-b
27	2.28	0.89	a-b
04	2.36	0.50	a-c
21	2.42	1.27	a-c
15	2.45	0.48	a-c
07	2.49	0.37	a-c
06	2.52	0.18	a-c
08	2.56	0.42	a-c
17	2.60	0.84	a-c
14	2.60	0.84	a-c
20	2.73	1.50	a-c
10	2.79	0.21	a-d
05	2.85	0.63	a-d
09	2.89	0.44	a-d
18	2.91	0.21	a-d
11	2.96	0.18	a-d
13	2.97	0.39	a-d
22	3.01	0.45	a-d
28	3.23	1.36	a-d
02	3.28	0.83	a-d
23	3.35	0.49	a-d
12	3.41	0.34	a-d
19	3.47	0.63	a-d
16	3.69	0.33	a-d
29	4.09	0.44	b-d
24	4.22	0.50	c-d
01	4.90	3.02	d

* Media de 5 repeticiones, ± desviación estándar.

** Grupos con letras iguales indica que no existe diferencia significativa estadísticamente $P \leq 0.05$.

CUADRO No. 12

Contenido de FIBRA CRUDA (G de F. C/100 g de pulpa de café al 10% de humedad, en base de sustrato) de los diferentes tratamientos

Número de TRATAMIENTO	g % de F. C.	Calificación
15	* 13.90 ± 0.95	** a
14	13.93 1.31	a
17	14.39 1.26	a
04	14.46 2.03	a
05	14.66 1.49	a
24	14.88 2.37	a
13	15.23 1.71	a
08	15.28 1.75	a-b
09	15.48 3.74	a-b
07	15.49 1.36	a-b
03	15.77 3.13	a-b
25	16.51 2.20	a-c
06	16.76 2.02	a-d
27	17.75 1.12	a-d
28	17.78 2.52	a-e
18	17.87 1.88	a-e
02	18.20 1.45	a-e
22	18.62 1.86	a-f
12	18.69 5.34	a-f
21	19.03 3.13	a-f
26	19.05 4.07	a-f
23	19.54 3.65	a-f
11	21.85 1.71	b-f
10	21.86 2.22	b-f
16	22.39 2.44	c-f
01	22.65 4.16	d-f
29	23.06 1.85	d-f
21	23.77 3.13	e-f
20	25.21 6.17	f

* Media de 5 repeticiones, ± desviación estándar.

** Tratamientos con grupos de letras iguales indica que no existe diferencia $P \leq 0.05$.

CUADRO No. 13

Contenido de Taninos en (g de taninos/100 g de pulpa de café al 10% de humedad y en base sustrato) de los diferentes tratamientos de la pulpa.

Número de TRATAMIENTOS	g % de taninos		Calificación
17	* 2.01	± 0.59	** a
06	2.16	0.32	a
18	2.42	0.36	a-b
14	2.57	0.47	a-b
10	2.64	0.73	a-b
23	2.70	1.08	a-b
22	2.75	0.58	a-b
19	2.75	0.94	a-b
05	2.89	0.14	a-b
12	3.03	1.61	a-c
24	3.04	0.67	a-c
07	3.17	0.62	a-c
16	3.20	1.17	a-c
02	3.22	0.10	a-c
08	3.27	0.39	a-d
21	3.31	0.39	a-d
03	3.35	1.12	a-d
28	3.35	0.90	a-d
15	3.44	0.54	a-d
20	3.48	0.43	a-d
26	3.54	0.46	a-d
13	3.69	0.96	a-d
27	3.74	0.60	a-d
25	3.81	1.14	a-d
04	4.03	0.72	b-d
01	4.26	1.02	b-d
11	4.82	0.64	c-d
09	4.88	0.92	c-d
29	5.09	0.76	d

* Media de 5 repeticiones, ± desviación estándar.

** Tratamiento con letras iguales indica que no existe diferencia significativa estadísticamente $P \leq 0.05$

CUADRO No. 14

Porcentaje de pérdida de materia seca durante el proceso de fermentación (g de materia perdida/100 g de pulpa de café inicial al 10% de humedad)

Número de TRATAMIENTO	g % de pérdida de materia		Calificación
25	* 1.13	± 1.13	** a
20	1.60	0.80	a
27	1.63	1.30	a
21	1.95	1.61	a
28	2.27	1.39	a
15	2.60	1.85	a-b
19	3.06	2.24	a-b
26	3.72	1.68	a-b
11	3.77	3.06	a-b
14	3.79	4.11	a-b
24	4.12	4.02	a-b
01	4.21	2.57	a-b
12	4.26	1.54	a-b
10	4.72	4.42	a-b
18	4.80	0.96	a-b
23	4.86	6.14	a-b
16	5.03	2.83	a-b
17	6.00	3.57	a-b
22	6.02	1.79	a-b
02	6.10	4.97	a-b
08	6.52	0.68	a-b
03	7.06	1.36	a-c
07	9.29	1.40	a-d
05	9.30	3.94	a-d
06	10.50	6.32	b-d
04	10.51	5.54	b-d
09	15.24	7.78	c-d
13	15.95	1.54	d

* Media de 5 repeticiones, ± desviación estándar.

** Tratamientos con grupos de letra iguales indica que no existe diferencia significativa estadísticamente $P \leq 0.05$

CUADRO No. 15

Efecto de las diferentes cantidades de las sales, y sus combinaciones sobre el contenido de aminoácidos totales. (gramos de sal por 100 gramos de pulpa, y gramos de aminoácidos por 100 gramos de pulpa al 10% de humedad, en base sustrato)

gramos de K_2HPO_4	gramos de $(NH_4)_2SO_4$ \ gramos de UREA	0.00	1.50	2.50
0.00	0.00	9.99	9.47	7.31
0.00	2.50	8.54	8.20	7.87
0.00	5.00	7.99	7.29	8.48
2.00	0.00	8.34	8.64	10.46
2.00	2.50	8.82	6.57	5.47
2.00	5.00	8.11	5.26	6.25
4.00	0.00	8.24	6.97	8.15
4.00	2.50	9.28	7.76	8.37
4.00	5.00	7.55	10.62	7.14

CUADRO No. 16

Efecto de las diferentes cantidades de sales y sus combinaciones sobre el contenido de cafeína. (g de sal por 100 g de pulpa; y g de cafeína por 100 g de pulpa al 10% humedad, en base sustrato)

gramos de K_2HPO_4	gramos de $(NH_4)_2SO_4$ \ gramos de UREA	0.00	1.50	2.50
0.00	0.00	0.90	0.83	1.01
0.00	2.50	0.68	0.85	0.90
0.00	5.00	0.77	0.86	1.05
2.00	0.00	0.83	1.01	0.77
2.00	2.50	0.90	0.81	0.64
2.00	5.00	0.80	0.84	0.92
4.00	0.00	0.90	0.92	0.76
4.00	2.50	0.86	0.93	1.02
4.00	5.00	0.71	0.91	0.84

CUADRO No. 17

Efecto de la Sal K_2HPO_4 sobre el contenido de CENIZAS de la pulpa fermentada, (g % de ceniza en base sustrato)

g de sal/ 100 g pulpa	0.00	2.00	4.00
Ceniza	7.29	8.14	10.43

CUADRO No. 18

Efecto de las diferentes cantidades de sales agregadas a la pulpa y sus diferentes combinaciones sobre el contenido de Extracto Etereo (g. EE.EE/100 g. pulpa 10% humedad y g sal/100 g pulpa)

gramos de K_2HPO_4	gramos de $(NH_4)_2SO_4$ \ gramos de UREA	0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	4.90	2.36	2.49
0.00	2.50	3.28	2.85	2.56
0.00	5.00	2.08	2.52	2.89
2.00	0.00	2.79	2.97	2.39
2.00	2.50	2.96	2.67	2.60
2.00	5.00	3.41	2.45	2.91
4.00	0.00	3.47	3.09	1.91
4.00	2.50	2.73	3.35	1.91
4.00	5.00	2.42	4.22	2.28

CUADRO No. 19

Efecto del agregado de Urea, y $(NH_4)_2SO_4$, sobre el contenido de la fibra cruda de la pulpa de café (g de F.C. por 100 g de pulpa al 10% de humedad)

gramos de UREA / gramos de $(NH_4)_2SO_4$	0.00	1.50	2.50
0.00	22.76	16.10	17.34
2.50	21.75	16.04	16.24
5.00	17.83	15.18	17.04

CUADRO No. 20

Efecto de las diferentes cantidades de sal agregada a la pulpa y sus diferentes combinaciones sobre el contenido de nitrógeno total (g Nit.T/100 g de pulpa y g sal/100 g P)

g % de K_2HPO_4	g % de UREA / g % $(NH_4)_2SO_4$	0.00	1.5	2.5
0.00	0.00	1.89	2.34	2.37
0.00	2.50	1.62	2.30	2.48
0.00	5.00	1.82	2.20	3.05
2.00	0.00	1.49	2.18	2.13
2.00	2.50	1.90	1.87	2.25
2.00	5.00	2.86	2.10	2.57
4.00	0.00	1.70	2.13	2.13
4.00	2.50	2.08	2.52	2.46
4.00	5.00	1.95	2.45	2.53

CUADRO No. 21

Humedad de la pulpa fermentada y secada (g agua/100 g de pulpa), y pH inicial y final de la materia fermentada

Número de Tratamiento	g de agua por 100 g pulpa		PH INICIAL		PHFINAL	
01	9.08	± 1.71	3.30	± 0.07	3.79	± 0.07
19	9.08	1.89	3.47	0.02	3.81	0.11
29	9.76	0.89	—.—	—.—	—.—	—.—
20	9.84	3.17	3.51	0.02	3.75	0.03
11	10.02	0.91	3.51	0.02	3.52	0.04
23	10.40	1.35	3.51	0.04	4.53	0.13
16	10.62	1.72	3.49	0.02	4.61	0.37
22	10.85	1.25	3.51	0.02	4.66	0.13
12	11.33	2.52	3.49	0.02	4.58	0.31
24	11.43	1.33	3.42	0.08	4.20	0.08
18	11.45	0.51	3.51	0.06	4.50	0.18
10	11.48	1.13	3.20	0.00	3.32	0.04
26	11.48	1.27	3.48	0.05	4.48	0.24
27	11.54	1.12	3.52	0.02	4.48	0.16
28	11.54	1.80	3.51	0.02	4.07	0.21
25	11.55	1.73	3.43	0.12	3.95	0.04
02	12.15	1.90	3.18	0.34	3.32	0.49
21	12.21	1.73	3.48	0.02	3.58	0.04
13	12.56	0.92	3.53	0.02	3.93	0.14
05	12.61	0.72	3.20	0.00	4.17	0.15
15	12.62	0.63	3.51	0.02	4.29	0.08
08	12.63	1.08	3.51	0.02	4.13	0.18
06	12.68	0.36	3.50	0.09	3.67	0.16
07	12.85	0.41	3.47	0.07	3.83	0.25
09	13.04	0.92	3.52	0.04	3.93	0.13
14	13.08	0.52	3.51	0.02	4.38	0.16
04	13.24	1.26	3.54	0.03	4.47	0.67
17	13.27	1.89	3.50	0.03	4.33	0.06
03	13.58	2.95	3.42	0.03	3.58	0.06

± Desviación estándar.

CUADRO No. 22

Composición química proximal de la pulpa de café fermentada con **A. niger** obtenida en la planta piloto

	Características de la pulpa de café original g%	Características de la pulpa de café fermentada g%	% de remoción
Materia seca	90.00	90.00	
Humedad	10.00	10.00	
Extracto etéreo	1.94 ± 0.25	1.27 ± 0.27	- 3.40
Fibra Cruda	18.16 0.39	18.30 1.90	0.00
Cenizas	8.93 0.30	9.30 1.21	+ 4.14
Nitrógeno	1.33 0.30	2.05 0.20	+54.13
Cafeína	0.93 0.04	0.69 0.30	-26.00
Taninos	5.37 0.56	2.03 0.22	-62.00
Aminoácidos totales	6.80 0.40	8.70 0.77	+29.00

x Datos porcentuales ± desviación estándar

+% Aumento, -%disminución con relación a la pulpa original

Condiciones evaluadas en el fermentador

Flujo de aire: 8 lts/min/kg de pulpa seca

Temperatura: 35ºC.

pH inicial: 3.5

Humedad inicial: 80%

Tiempo fermentación: 48 horas

K_2HPO_4: 2.0 g/100 g de pulpa de café seca

UREA: 2.5 g/100 g de pulpa de café seca.

CUADRO No. 23

COSTOS FIJOS CALCULADOS PARA LA PRIMERA ALTERNATIVA, VASIJA FERMENTADORA CON AGITACION

1.	EQUIPO INSTALADO:		
	21 fermentador Q15,000.00 c/u.	315,000.00	
	1 molino de martillo de 3 HP	10,000.00	
	1 secador tipo rotatorio de 3 HP	4,000.00	
	1 termostato de 0 a 100ºC	1,000.00	
	1 calentador de aire, de 1 HP	1,500.00	
	1 medidor de aire de 150 m3	200.00	
	1 medidor de agua de 20 lt/min.	300.00	
	1 compresor de 3 HP	4,000.00	
	cristalería de laboratorio	2,000.00	
	papelería y equipo de oficina	4,000.00	
	mantenimiento (10%)	5,700.00	347,700.00
2.	CONSTRUCCION DE EDIFICIO		10,000.00
3.	TERRENO		4,000.00
4.	LINEAS EXTERNAS		5,000.00
5.	INGENIERIA DE CONSTRUCCION		15,000.00
	TOTAL DE COSTOS FIJOS:		381,700.00

CUADRO No. 24

COSTOS DE MANUFACTURA, PRIMERA ALTERNATIVA
VASIJA FERMENTADA CON AGITACION

PRODUCTO: PULPA FERMENTADA — PRODUCCION: 302,400 kg./año

COSTO DE LA PLANTA: Q.347,700.00 (C.F.) — COSTO DE MATERIA PRIMA: Q.1.00/100 kg.

LOCALIZACION: En un beneficio de café.

Materia prima:	Unidad	Tot. kg./año	kg/kg produc.	costo Q./año	Costo Q./kg. P.
Pulpa de café	kg.	1,008,000	3.333	10,800 (1)	0.003

	PARCIALES Q./año	PARCIALES Q./kg Prod.	TOTALES Q./año	TOTALES Q./kg. Prod.
Mano de obra directa Q.0.60/hr.				
8hr/turno	15,552.00	0.051		
Supervisión Q.1.20/hr				
8hr/turno	3,456.00	0.011	(2)	
Costo de mano de obra			19,456.00	0.064
Utilidades:				
Material auxiliar el sustrato	44,903.00	0.148		
Electricidad Q.169/lote. 0.18/KWH.	50,000.00	0.240		
Gas, Agua, insumos.	346,00	0.001	(3)	
Costo total de utilidades			95,249.00	0.314
Costos Indirectos:				
Transporte 10% M.O.	2,500.00	0.021		
Seguros 20% M.O.	3,250.00	0.011		
Mejoramiento a proceso 15% M.O.	2,437.95	0.008		
Mantenimiento 2% C.F.	3,734.00	0.012	(4)	
Total de costos indirectos			11,922.35	0.039
COSTO TOTAL DEL PROCESO: 1 + 2 + 3 + 4 =			136,707.85	0.452
Empaque 5% de c.t.f.	30,000.00	0.099		
Depreciación 4.5% C.F.	17,176.50	0.056	47,176.50	0.156
Mercadeo:				
Valor del Producto (V.P.)	241,920.00	0.800		
Costo de mercadeo 10% de V.P.	24,192.00	0.080	24,192.00	0.080
COSTO TOTAL DEL PRODUCTO C.T.P.			208,076.35	0.688
GANANCIA BRUTA: (G.B) 241,920.00				
Valor Prod. Tot. - C.T.P. 208,076.35			33,843.65	0.112
Impuesto sobre la renta.				
35% G.B.			11,845.27	0.039
GANANCIA NETA			21,998.37	0.072

CUADRO No. 25

COSTOS FIJOS DE LA SEGUNDA ALTERNATIVA FERMENTACION EN BANDEJAS

1.	EQUIPO INSTALADO:		
	210 bandejas de fermentación	Q. 52.500.00	
	Instantería de bandejas	26.250.00	
	1 molino de martillo de 3 HP	10.000.00	
	1 secador rotatorio de 3 HP	4,000.00	
	1 termostato ambiental	1,500.00	
	1 mezcladora	9,000.00	
	1 compresor de 3 HP	4,000.00	
	1 humidificador	3,000.00	
	Cristalería de laboratorio	3,000.00	
	Equipo de oficina	2,000.00	
	Equipo auxiliar	2,000.00	
1.	COSTO TOTAL DE EQUIPO INSTALADO		Q.115,250.00
2.	CONSTRUCCION DE EDIFICIO		15,000.00
3.	TERRENO		5,000.00
4.	LINEAS EXTERNAS		5,000.00
5.	INGENIERIA DE CONSTRUCCION		16,000.00
	TOTAL DE COSTOS FIJOS		Q.156,250.00

CUADRO No. 26

COSTOS DE MANUFACTURA, SEGUNDA ALTERNATIVA
FERMENTACION EN BANDEJAS

PRODUCTO: PULPA FERMENTADA — PRODUCCION: 302,400 kg. P./año

COSTO DE LA PLANTA: Q.156,250.00 (C.F.) — COSTO DE MATERIA PRIMA: Q.1.00/100 kg. P.

LOCALIZACION DE LA PLANTA: En un beneficio de café.

Materia Prima:	Unidad	Tot. Kg./año	kg./kg. produc.	Costo Q./año	Costo Q./kg. P.
Pulpa de café:	Kg.	1,008.000	3.33	10,080 (1)	0.033

	PARCIALES Q./año	PARCIALES Q./kg. Prod.	TOTALES Q./año	TOTALES Q./kg. Prod.
Mano de obra directa Q.0.60/hr				
8hr/turno	15,552.00	0.051		
Supervisión Q.1.20 hr.				
8hrs/turno	33,456.00	0.011	(2)	
Costo total de mano de obra:			19,456.00	0.064
Utilidades:				
Material auxiliar del sustrato:	44,903.00	0.148		
Electricidad 0.18/KWH.; 72.56/lote	6,976.00	0.023		
Gas, Agua otros insumos.	500.00	0.001	(3)	
Costo total de utilidades			52,379.00	0.173
Costos Indirectos:				
Almacén y Suministros 20% M.O.	3,891.00	0.012		
Transporte 10% M.O.	2,500.00	0.008		
Seguros 20% M.O.	3,891.20	0.012		
Mantenimiento 2% C.P.	2,985.00	0.009	(4)	
Mejoras al proceso 15% M.O.	2,918.40	0.009	16,185.80	0.053
COSTO TOTAL DEL PROCESO 1 + 2 + 3 + 4 =			98,100.00	0.324
Empaque 5% c.t.p.	49,050.00	0.162		
Depreciación 8% C.P.	14,062.00	0.046	63,112.00	0.208
Mercadeo:				
Valor del Producto (V.P.)	241,920.00	0.800		
Costo de Mercadeo 10% V.P.	24,192.00	0.080	24,192.00	0.080
COSTO TOTAL DEL PROCESO: C.T.P.			185,404.80	0.613
GANANCIA BRUTA: (G.B.) 241,920.00				
V.P. menos C.T.P. 185,404.80			56,515.20	0.186
Impuesto sobre la renta;				
35% de G. B.			19,780.32	0.065
GANANCIA NETA: (G.B. menos impuestos)			36,734.88	0.121

CUADRO No. 27

Estimación del costo de materiales auxiliares
para producir 302,400 Kg. de pulpa fermentada

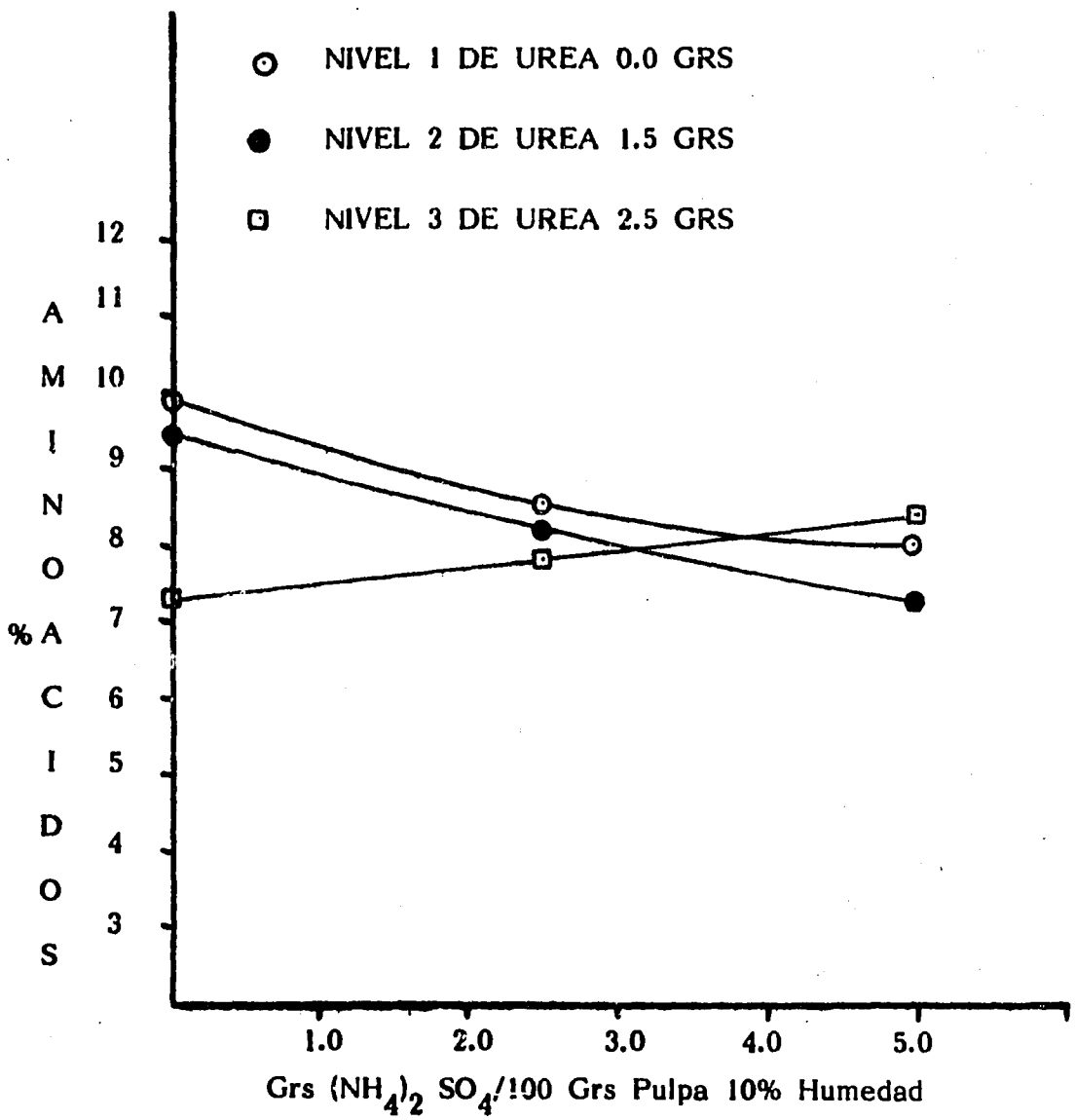
MATERIALES AUXILIARES:

PDA Q100.00/lb. (24 lbs)	2,400.00
Cajas de petrí Q12.00/bolsa (12 bol.)	1,440.00
HCl, Q12.50/gal. (1008 gals.)	12,600.00
Acido tartárico (2 lbs)	300.00
Urea Q0.69/lb; 13,860 lbs	9,563.00
Fosfato dibásico de potasio Q1.50/lb. (11,088 lbs)	18,900.00
COSTO TOTAL	Q 44,903.00

GRAFICA No. 1

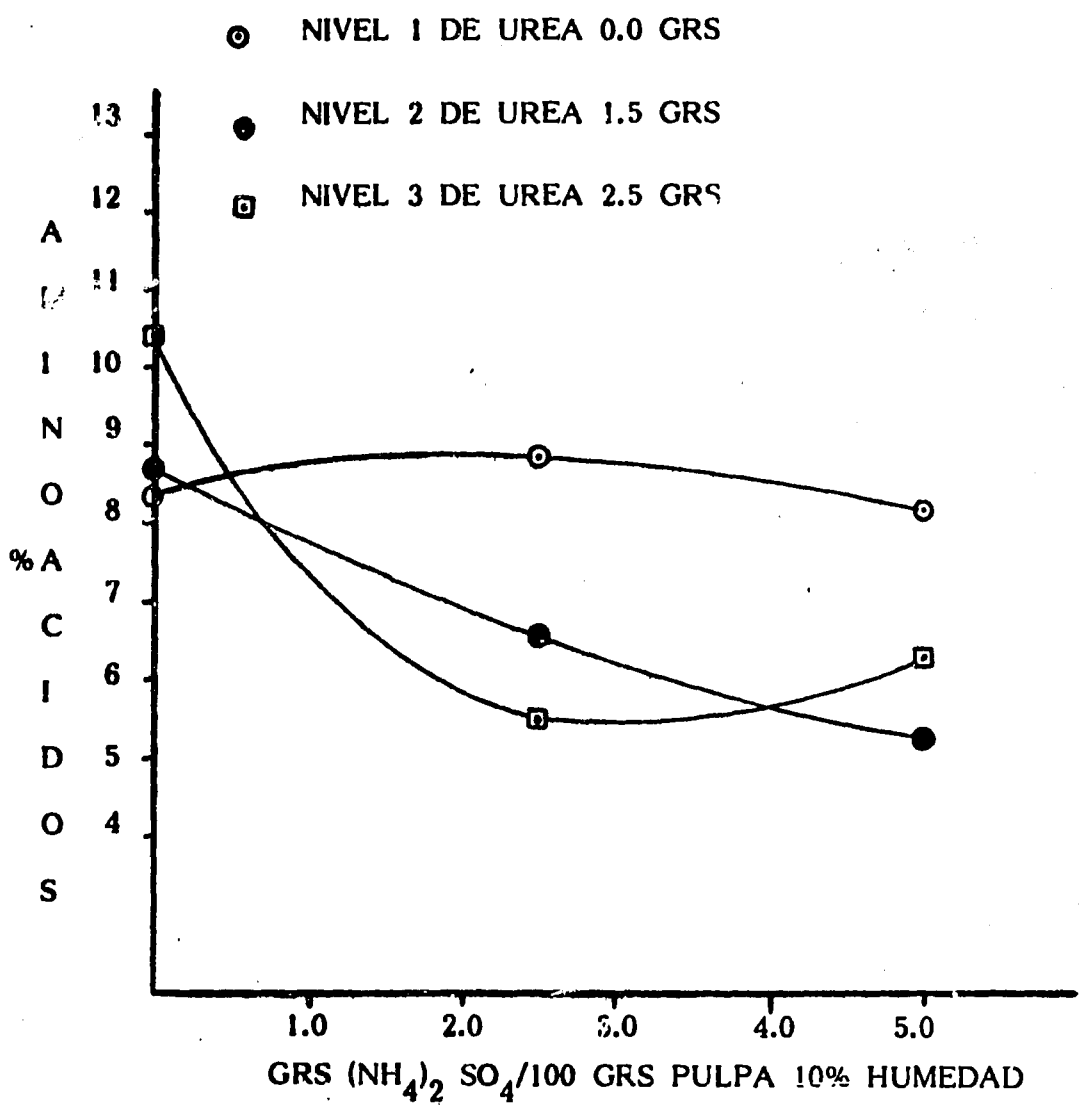
Porcentaje de AMINOACIDOS en función de las sales agregadas

(0.0 g. de K_2HPO_4)



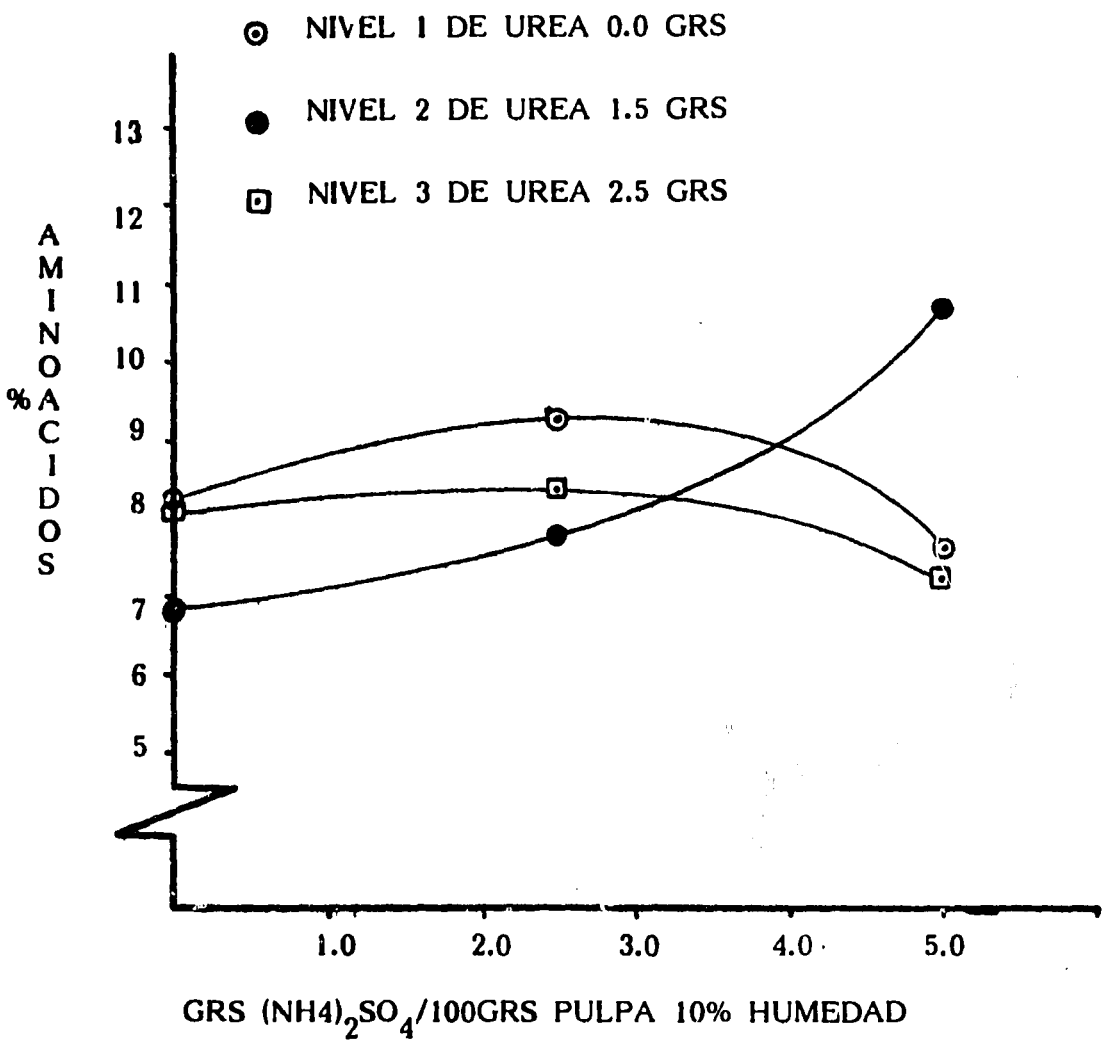
GRAFICA No. 2

Porcentaje de AMINOACIDOS en función de las sales agregadas (2.00 Grs. K_2HPO_4 por 100 grs de pulpa de café)



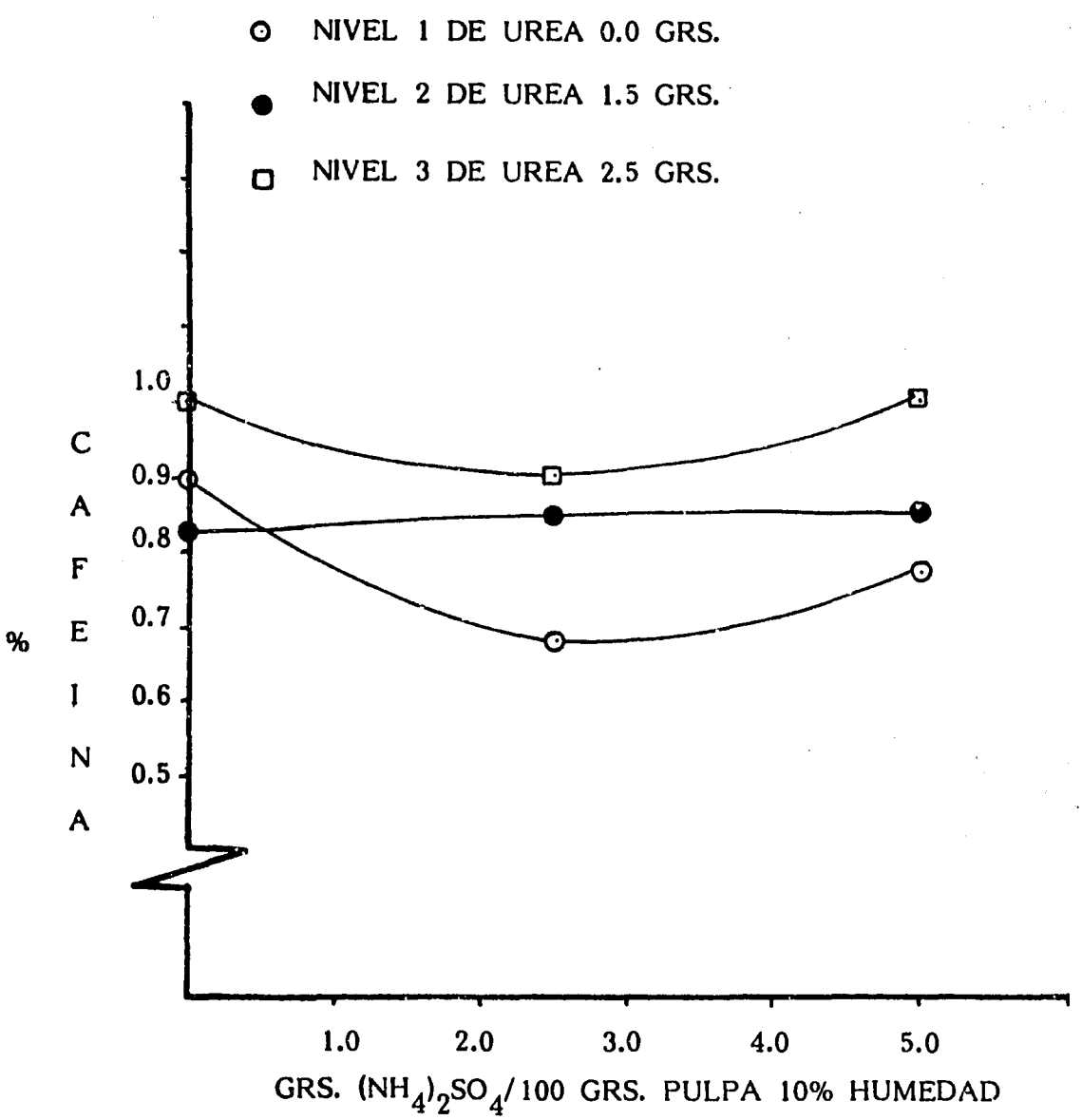
GRAFICA No. 3

Porcentaje de AMINOACIDOS totales en función de las sales agregadas (4 g. de K_2HPO_4 /100 g. de pulpa)



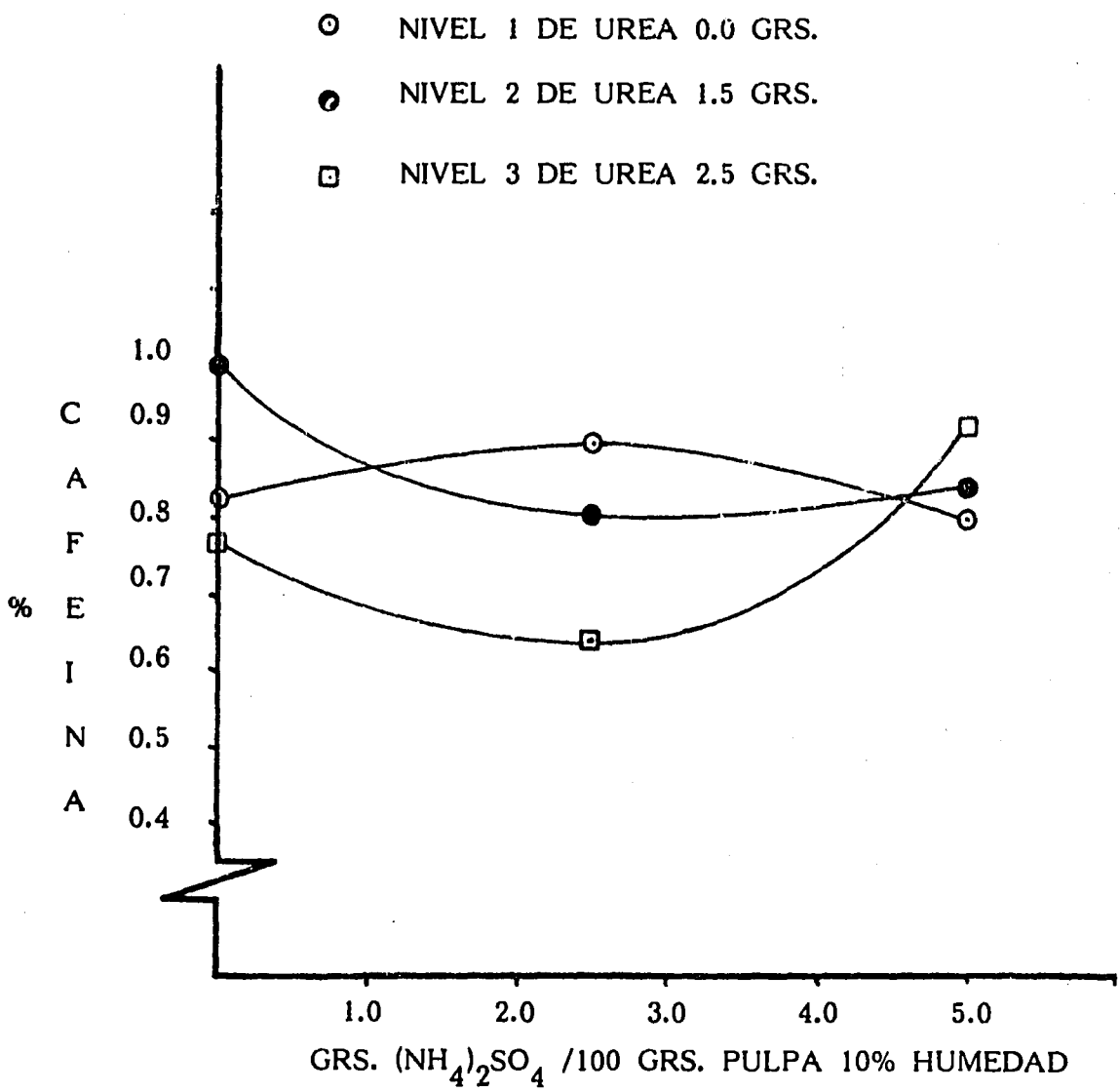
GRAFICA No. 4

Porcentaje de Cafeína total en función de las sales agregadas
(0.0 g. de K_2HPO_4)



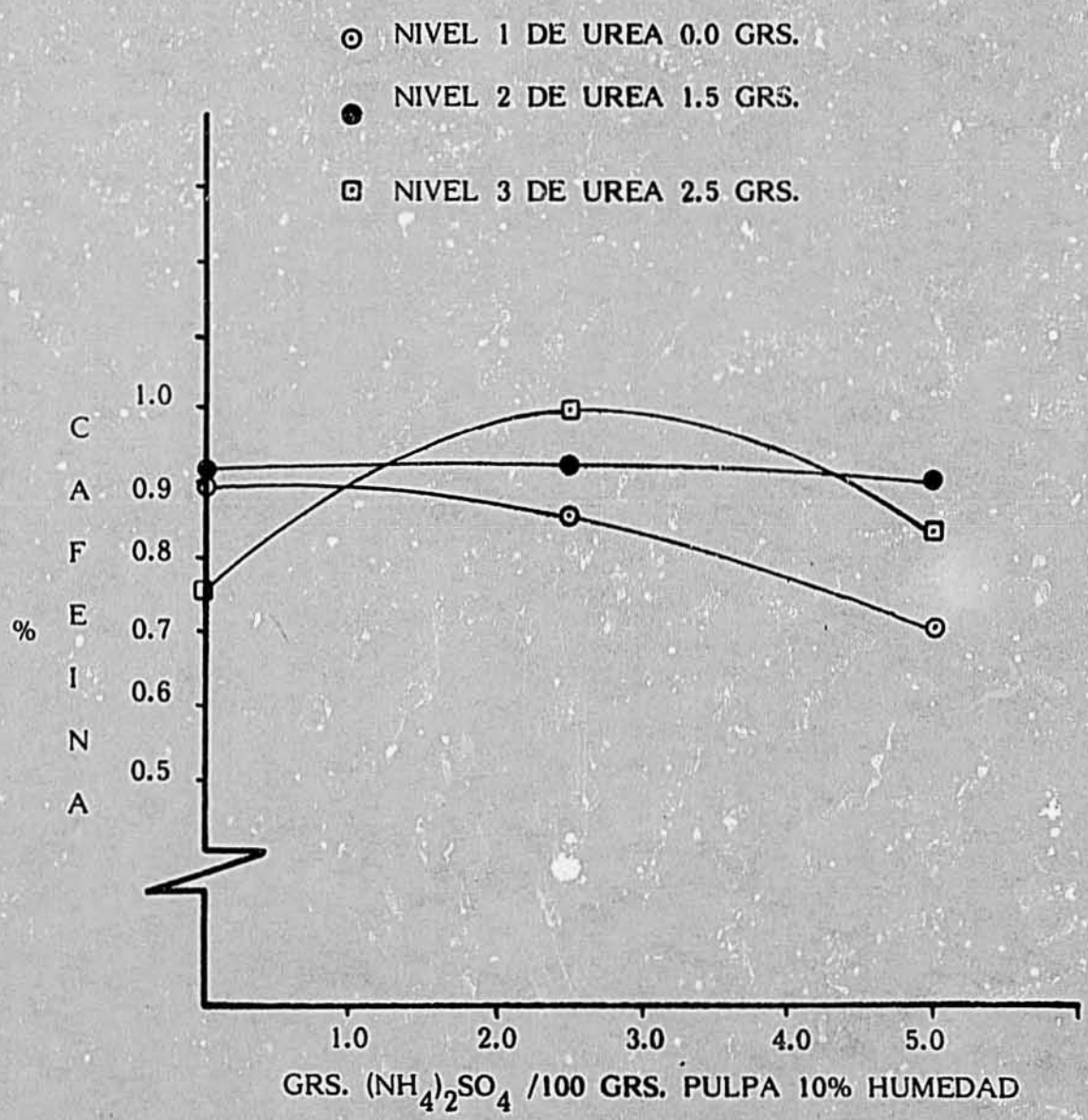
GRAFICA No. 5

Porcentaje de Cafeína total en función de las sales agregadas (2.0 g. de K_2HPO_4 /100 g. de pulpa)



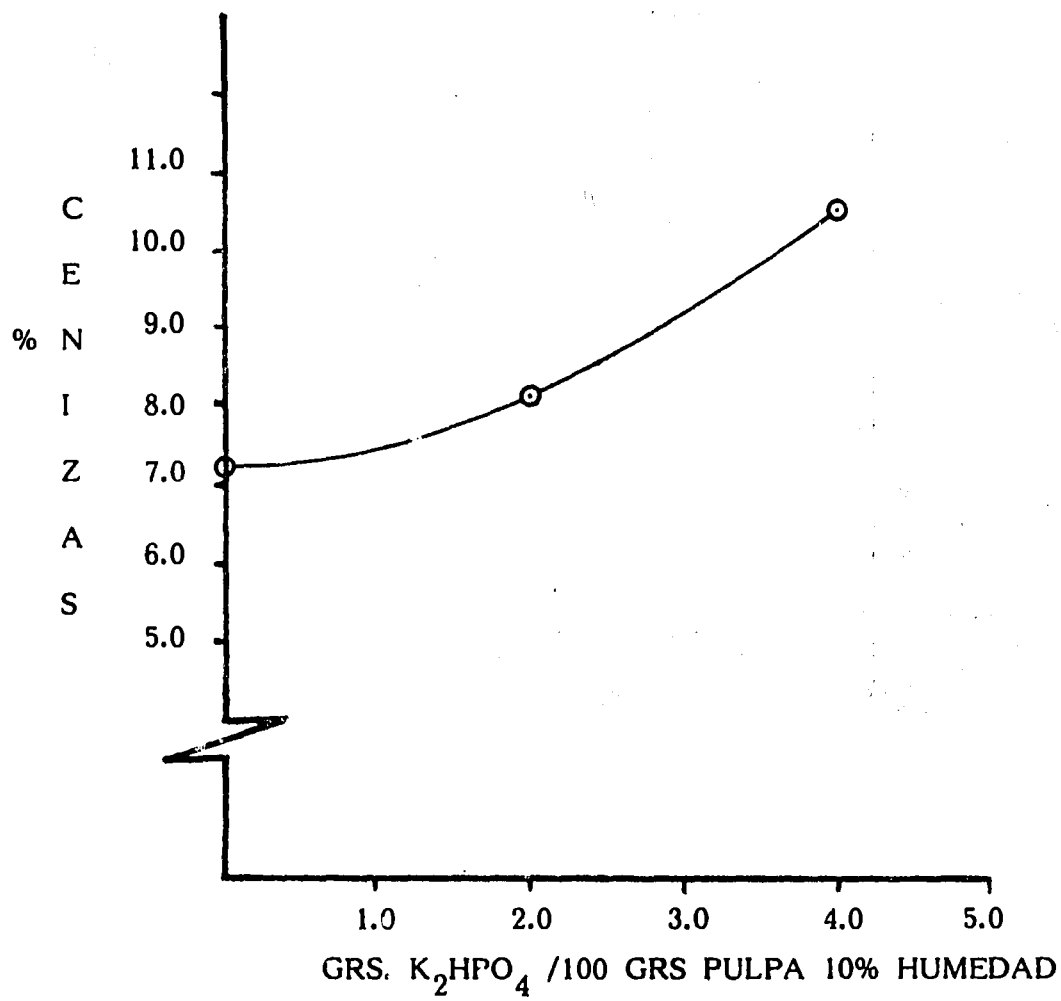
GRAFICA No. 6

Porcentaje de Cafeína Total en función de las sales agregadas
(4.0 g. de K_2HPO_4)



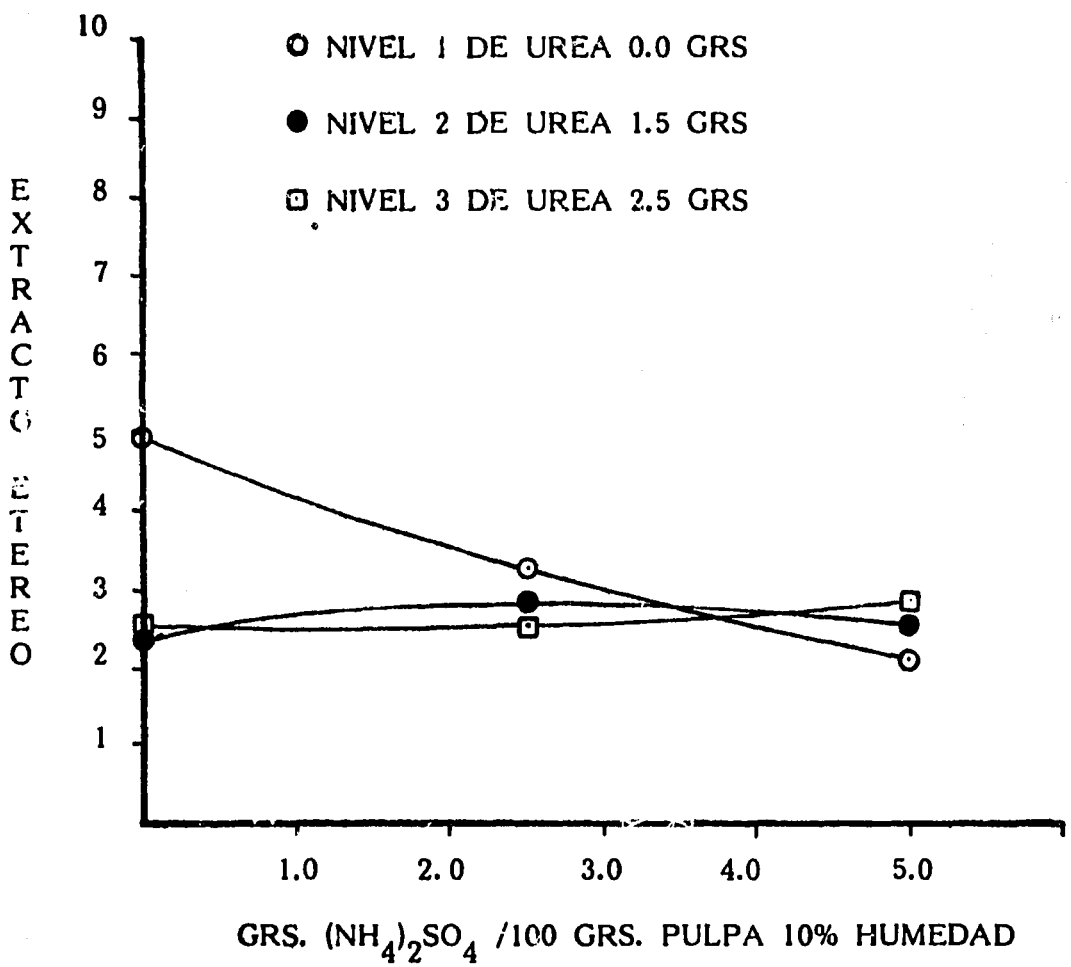
GRAFICA No. 7

Porcentaje de cenizas en función del fosfato dibásico de potasio agregado



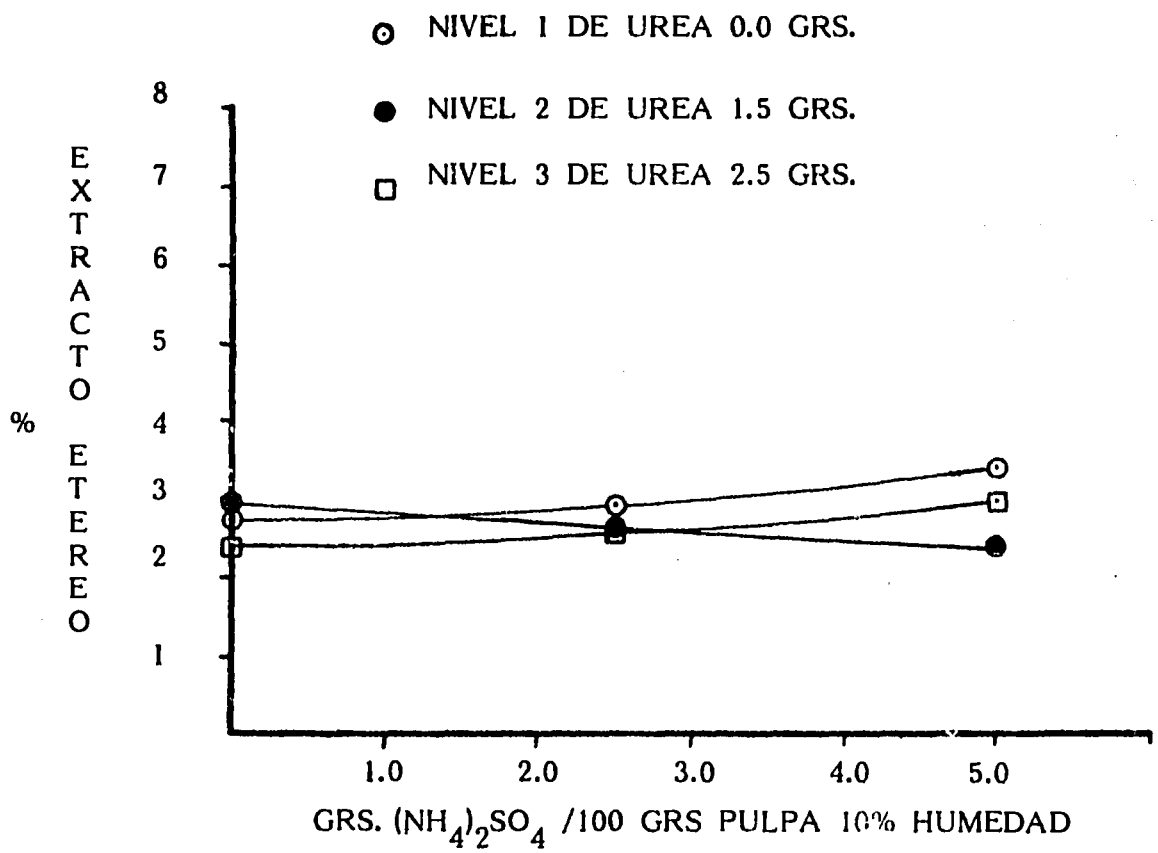
GRAFICA No. 8

Porcentaje de EXTRACTO ETEREO en función de las sales agregadas (0.0 g. de K_2HPO_4)



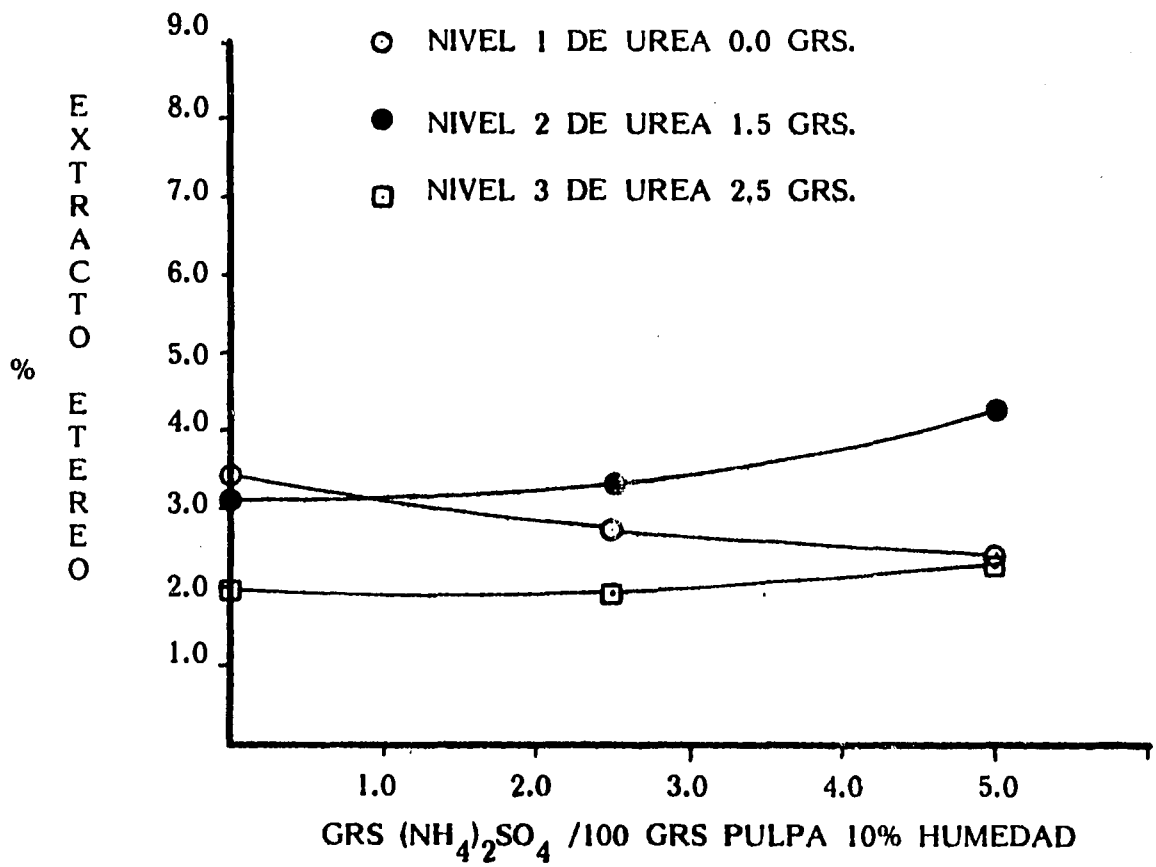
GRAFICA No. .9

Porcentaje de EXTRACTO ETEREO en función de las sales agregadas (2.0 g. de K_2HPO_4 /100 g. de pulpa)



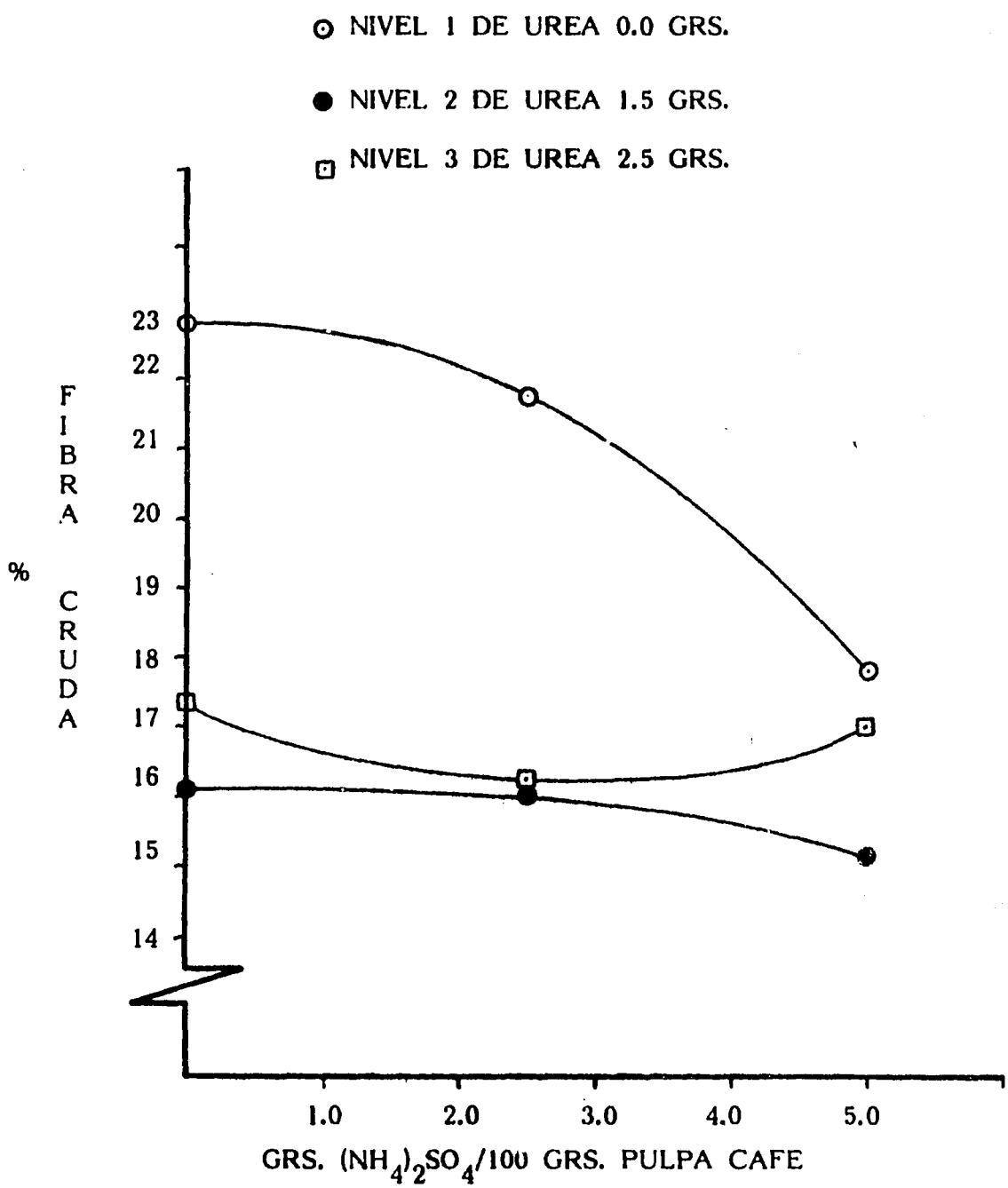
GRAFICA No. 10

Porcentaje de EXTRACTO ETEREO, en función de las sales agregadas (4.0 g. de K_2HPO_4)



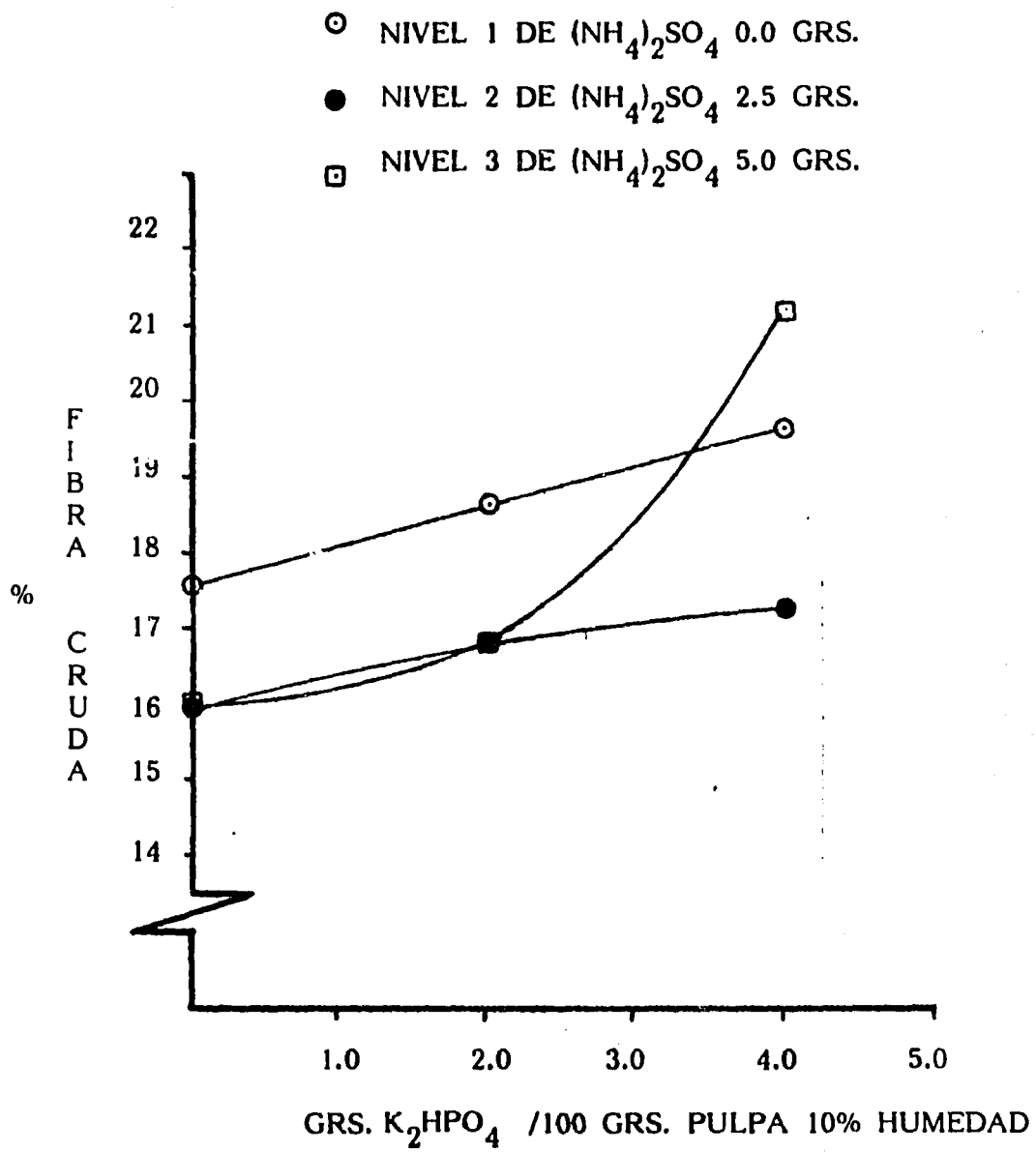
GRAFICA No. 11

Porcentaje de FIBRA CRUDA en función de las sales agregadas
(0.0 g. de K_2HPO_4)



GRAFICA No. 12

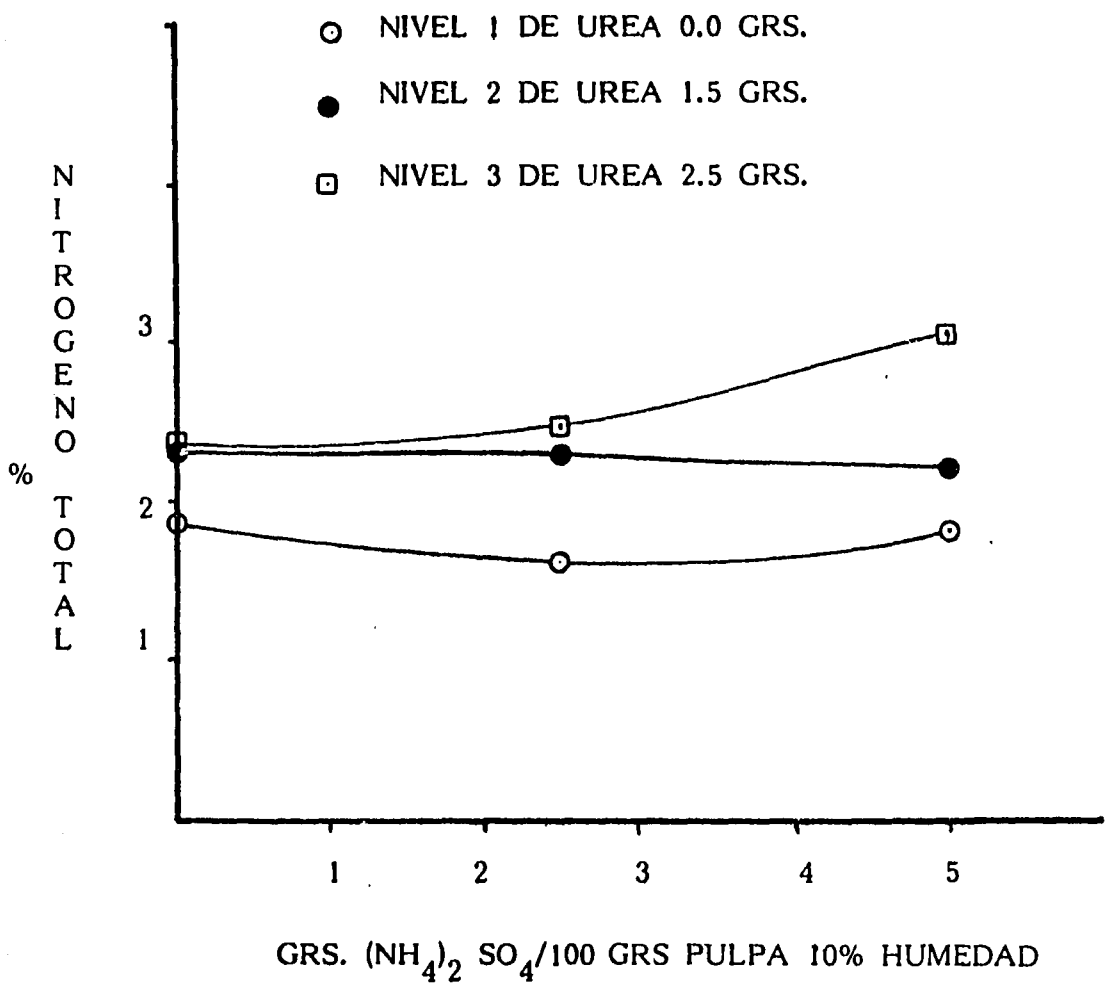
Porcentaje de FIBRA CRUDA en función de las sales agregadas



GRAFICA No. 13

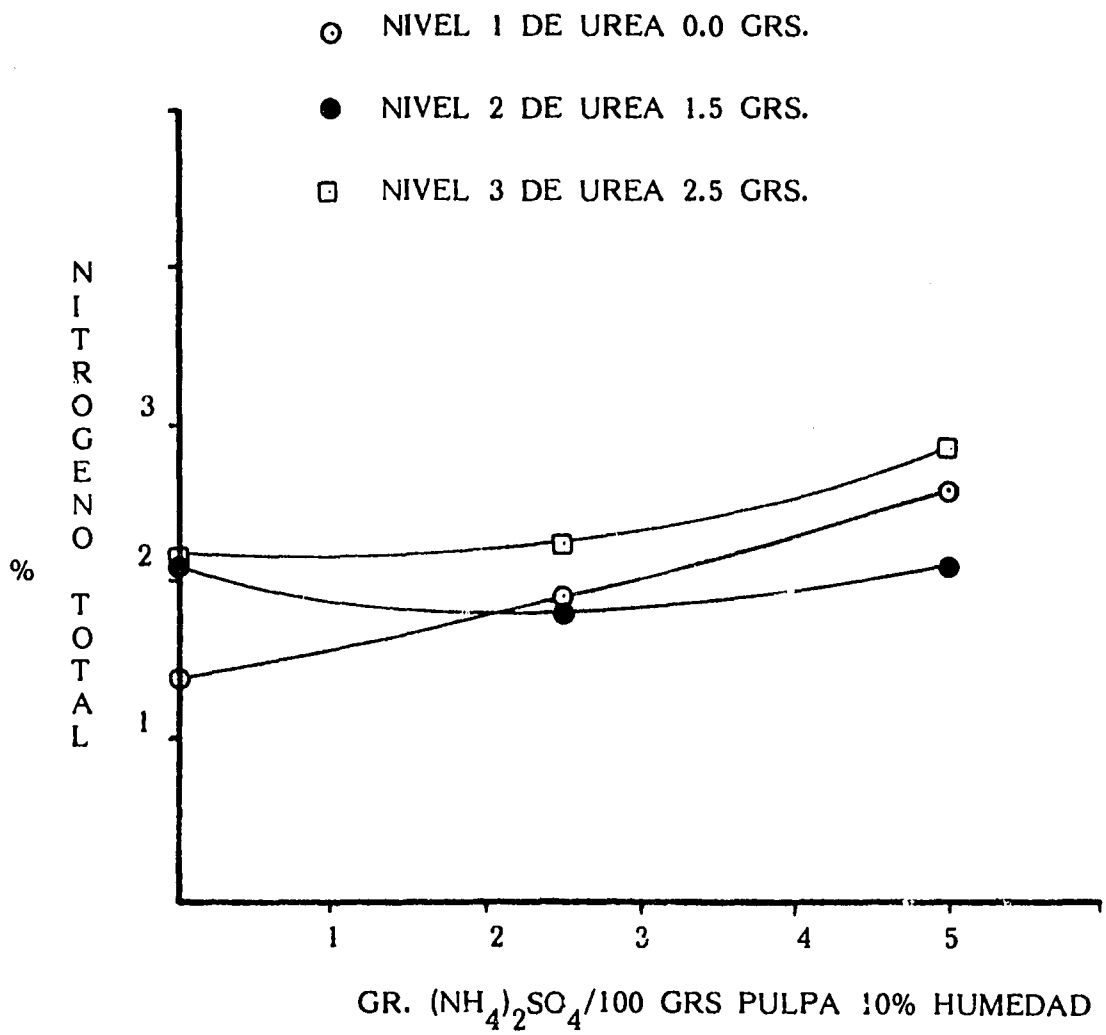
Porcentaje de NITROGENO TOTAL en función de las sales agregadas

(0.0 Grs de K_2HPO_4)/100 Grs Pulpa)



GRAFICA No. 14

Porcentaje de NITROGENO TOTAL en función de las sales agregadas
(K_2HPO_4 2.00 g./100 g. pulpa)



GRAFICA No. 15

Porcentaje de NITROGENO TOTAL en función de las sales agregadas
(4.0 Grs de K_2HPO_4)

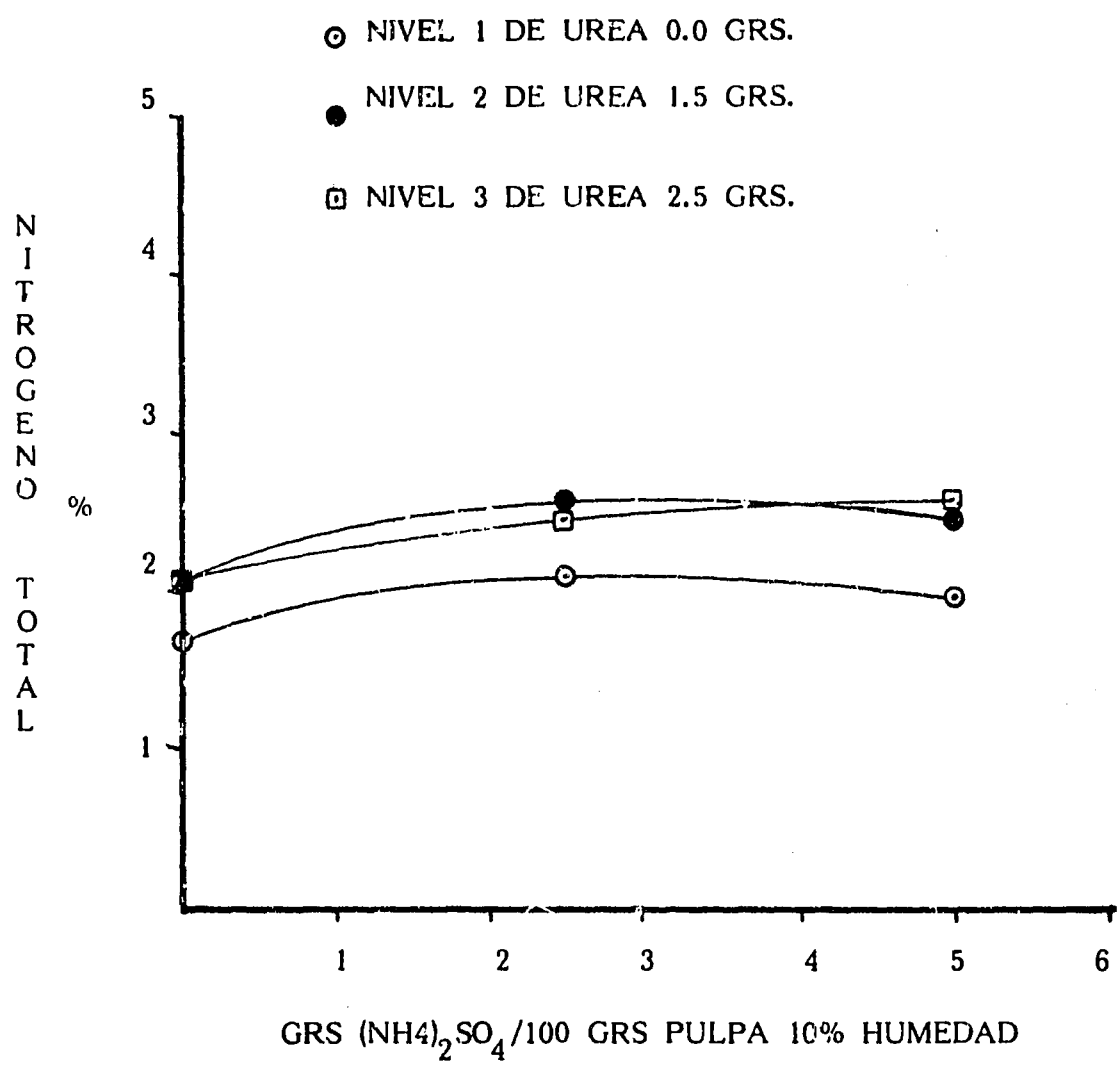
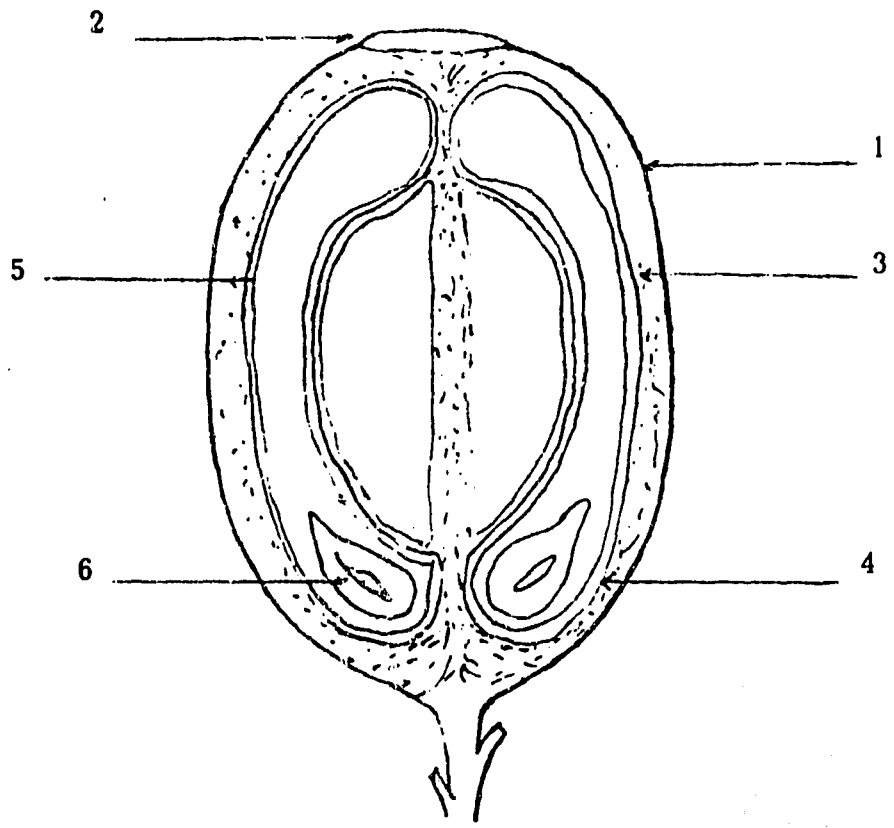


FIGURA No. 1

Corte longitudinal de un grano de café en cereza

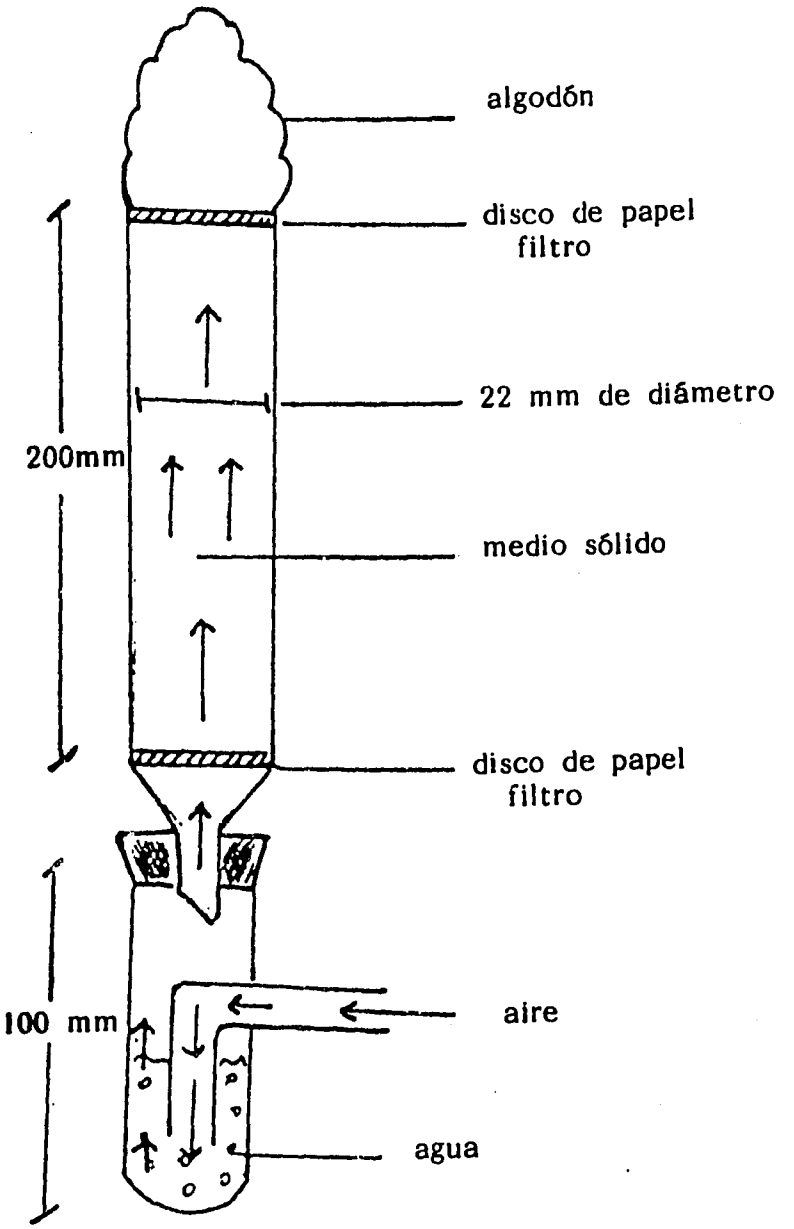


1 epicarpio (pulpa de café)
2 disco u ombligo
3 mesocarpio (mucílago)
4 endocarpio (pergamino)
5 espermoderma o película plateada
6 embrión

Tomado de "Pulpa de Café", Eds. Bressani, R. y Braham, J.

FIGURA No. 2

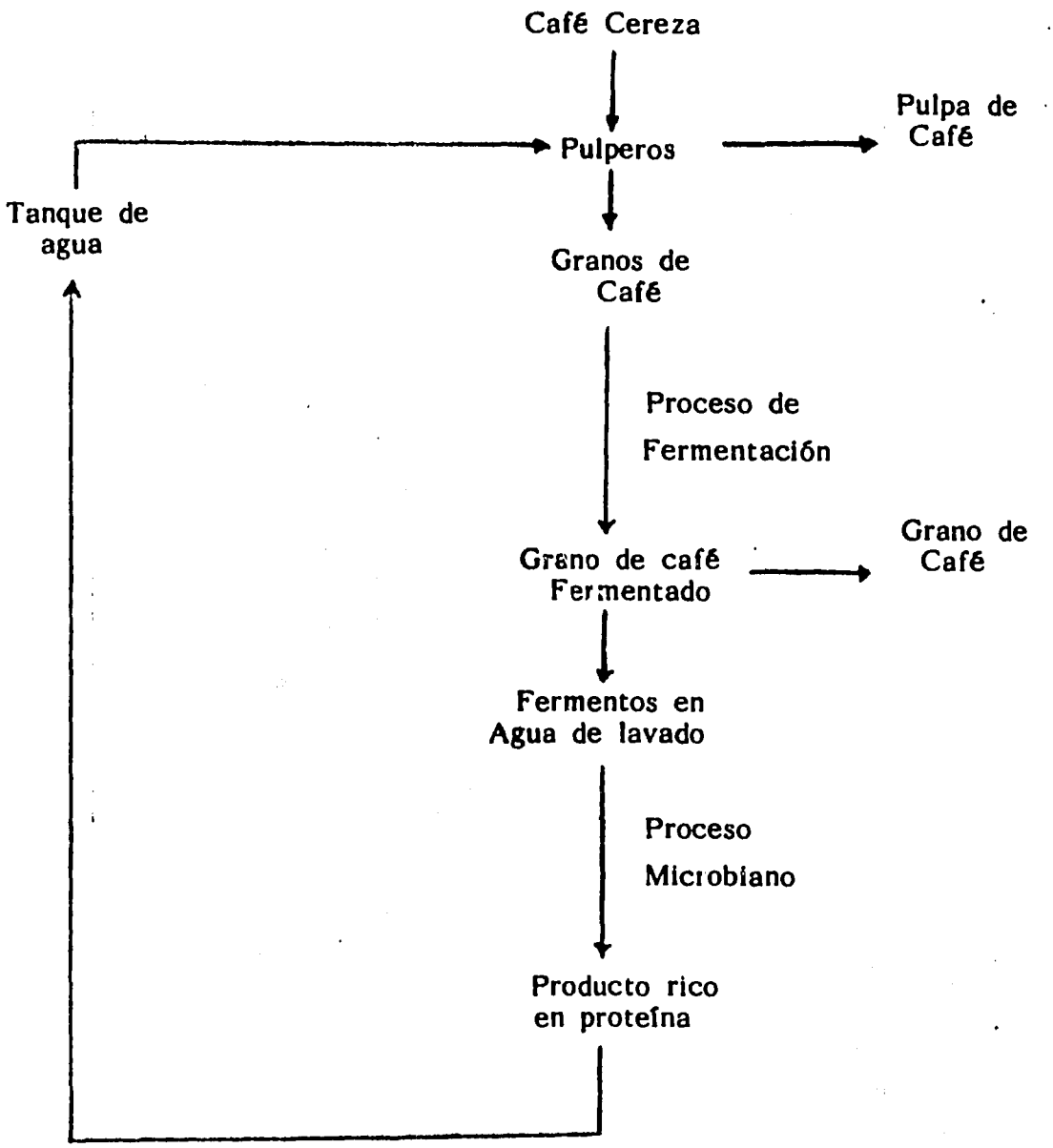
COLUMNA USADA PARA LA FERMENTACION A NIVEL DE LABORATORIO



Tomado de: Raimbault (50)

DIAGRAMA No. 1

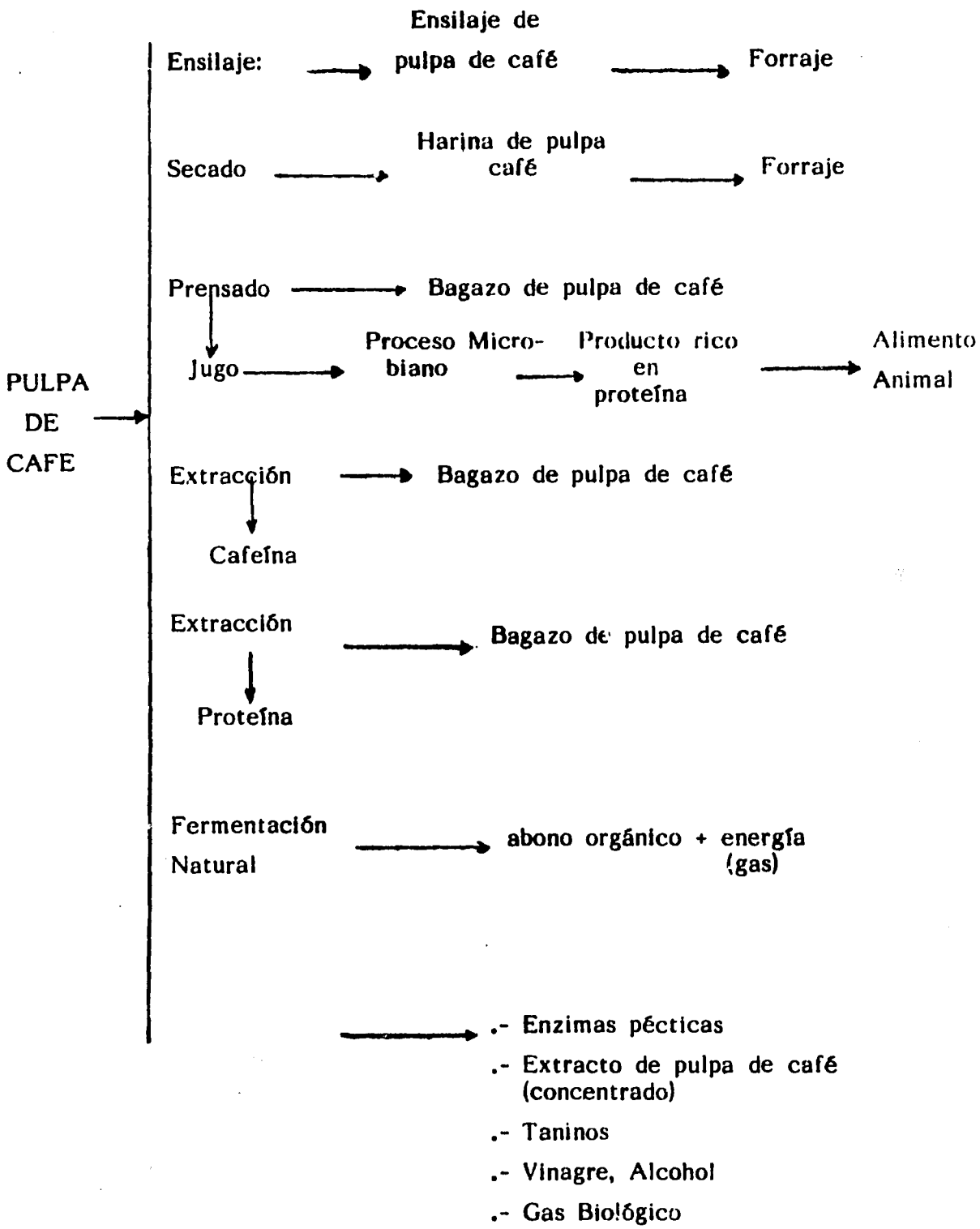
Proceso de despulpado del café: Método Húmedo



omado de "Pulpa de Café" Eds., Bressani, R. y Braham, J.

DIAGRAMA No. 2

USOS POTENCIALES DE LA PULPA DE CAFE



Tomado de "Pulpa de Café". Eds. Bressani, R. y Braham, J.

DIAGRAMA No. 3

Diagrama de flujo de la primera alternativa de fermentación

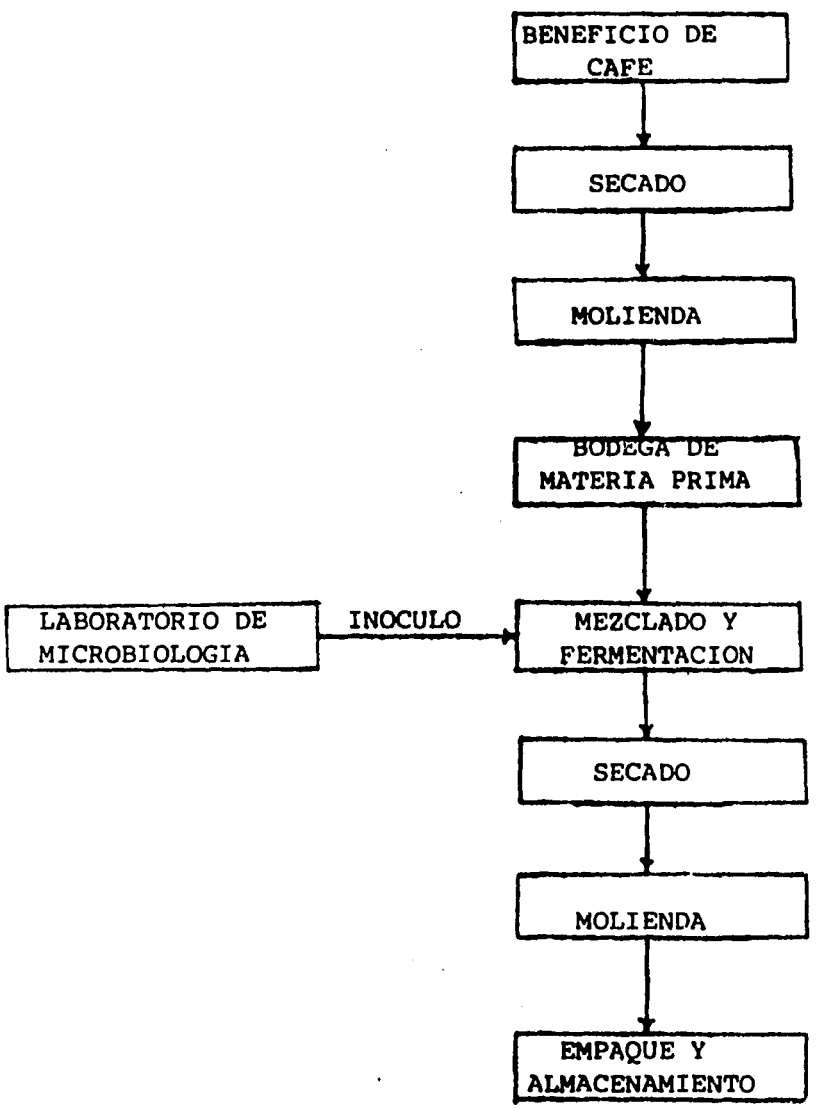
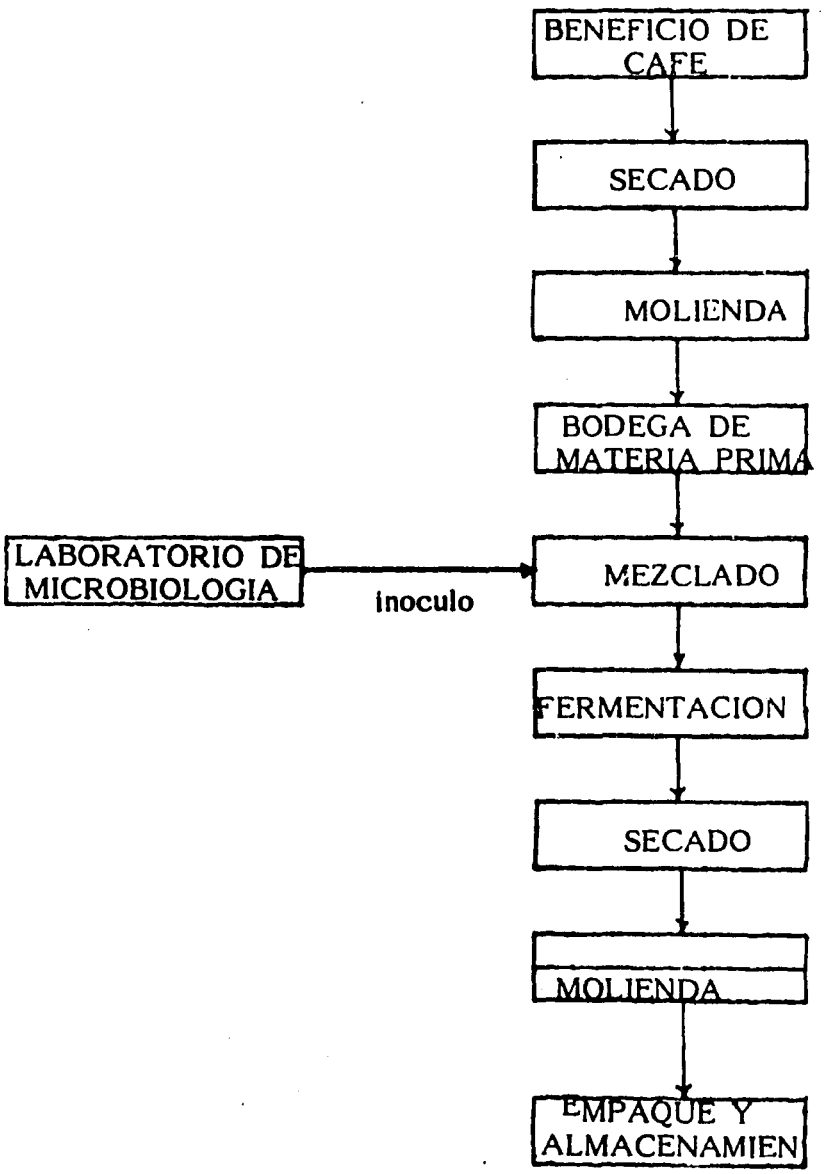


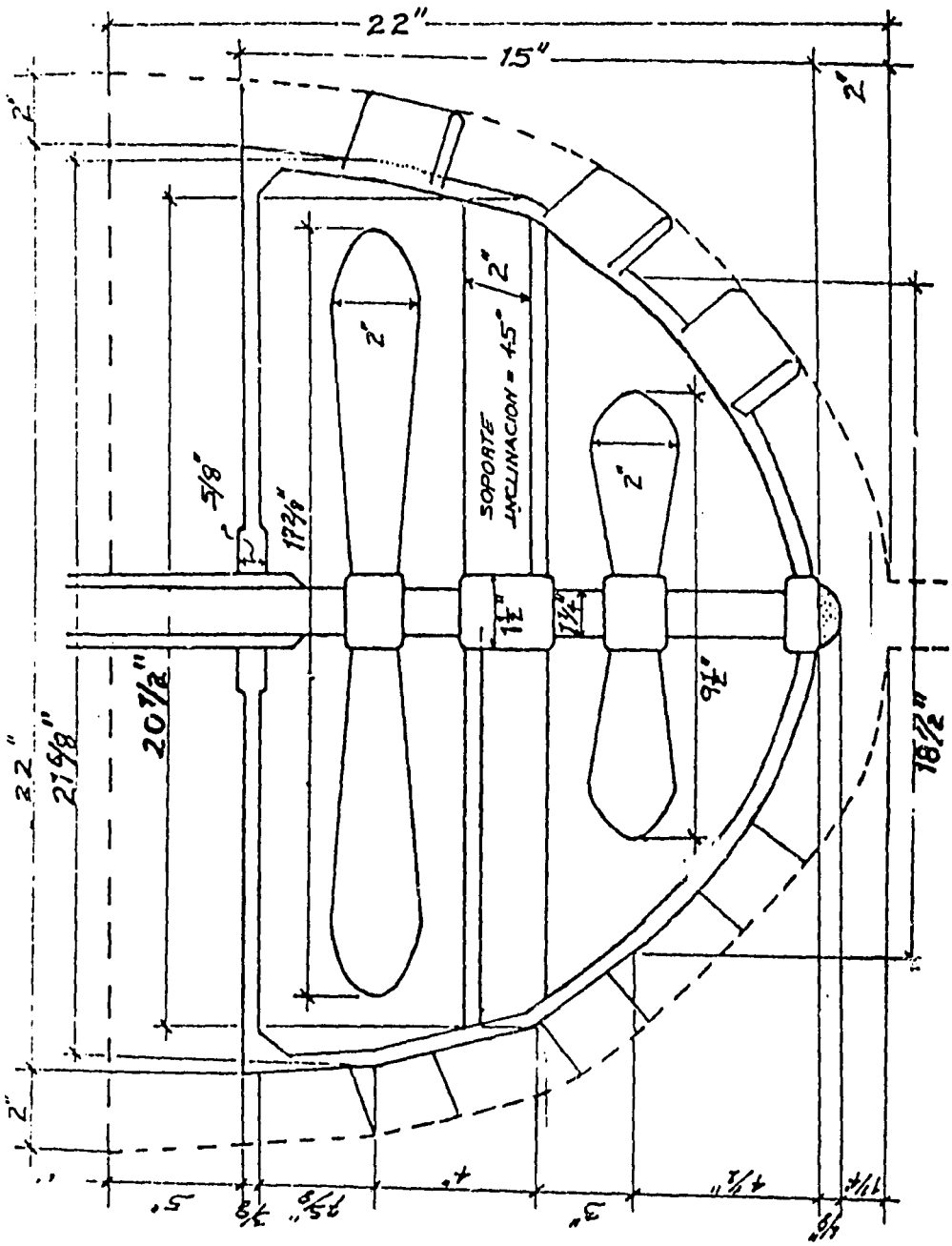
DIAGRAMA No. 4

Diagrama de flujo de la segunda alternativa de fermentación



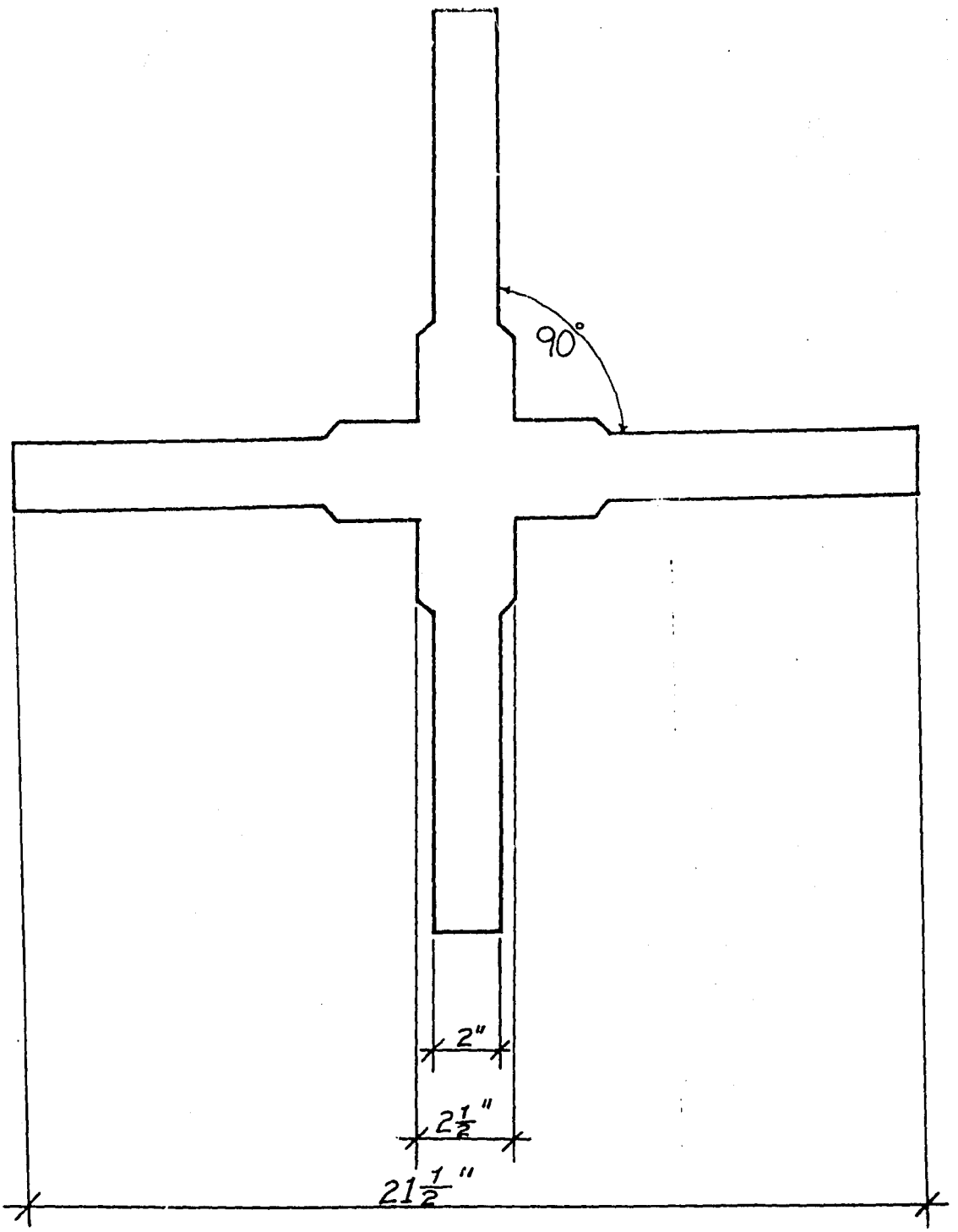
PLANO No. 1

Medidas del agitador-aireador usadas en la primera alternativa (vista de frente)



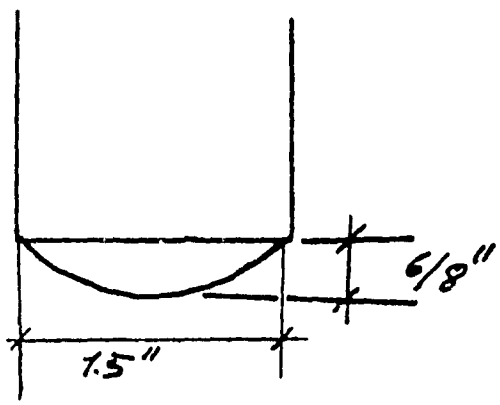
PLANO No. 2

Vista de planta del agitador-aireador de la unidad fermentadora de la primera alternativa

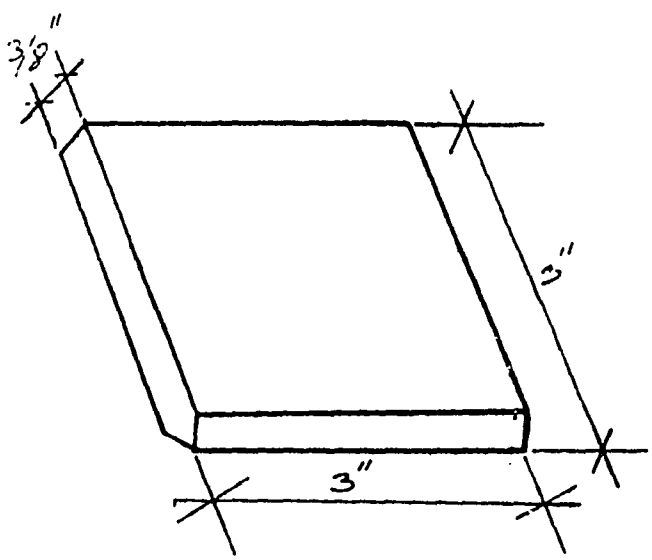


PLANO No. 3

Accesorios usados en la unidad fermentadora de la primera alternativa



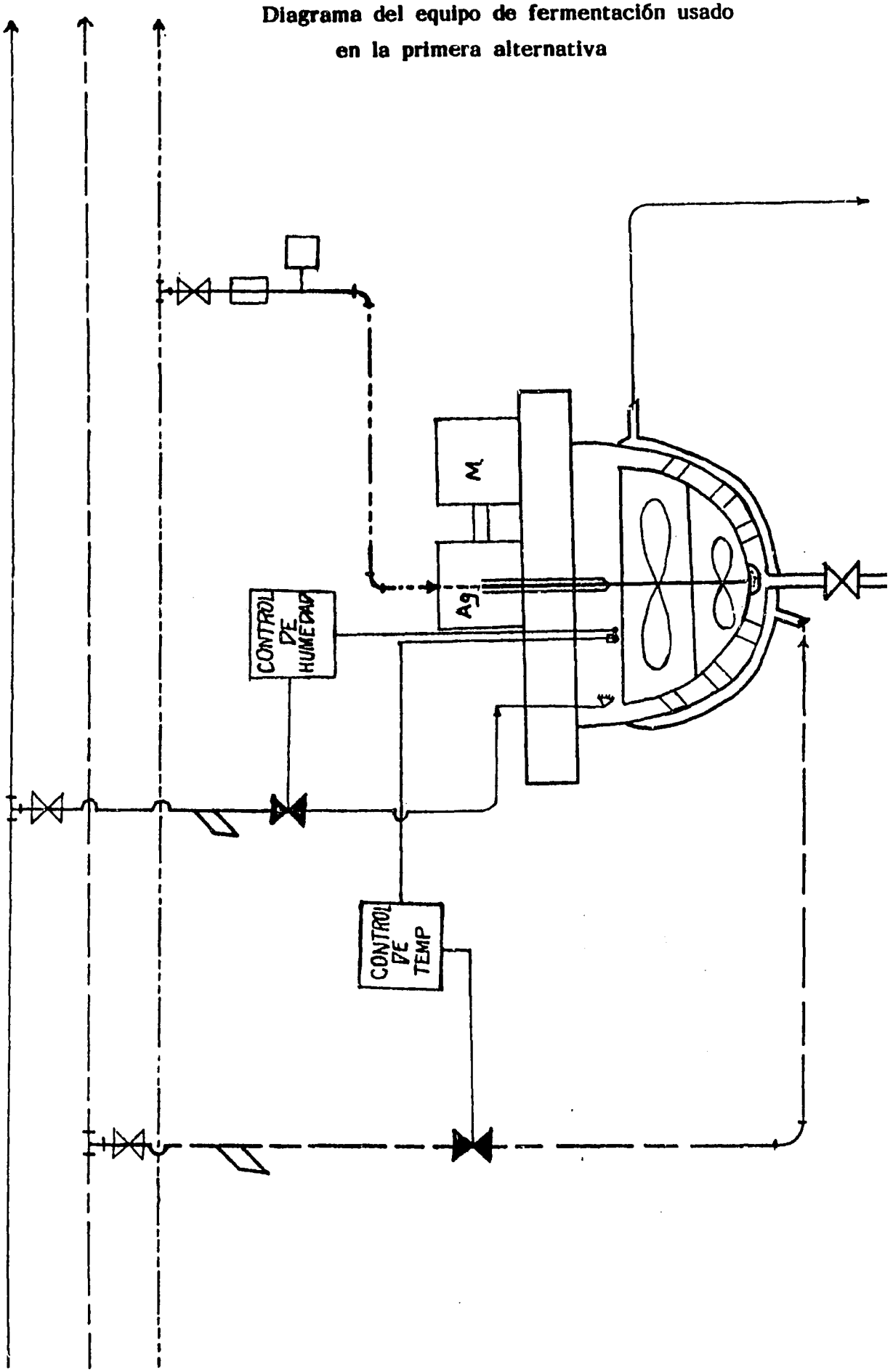
3.A
ATOMIZADOR



3.B
RASPADORES

PLANO No. 4

Diagrama del equipo de fermentación usado en la primera alternativa



SIMBOLOGIA

Simbología usada en el plano No. 4

LINEA DE TERMINALES Y SEÑALES

LINEA DE AGUA DEPURADA FRIA

LINEA DE AGUA CALIENTE

LINEA DE AIRE

VALVULA SELENOIDE

VALVULA DE GLOBO

REGULADOR DE PRESION

P

MANOMETRO (medidor de presión)

TRAMPA DE SOLIDOS

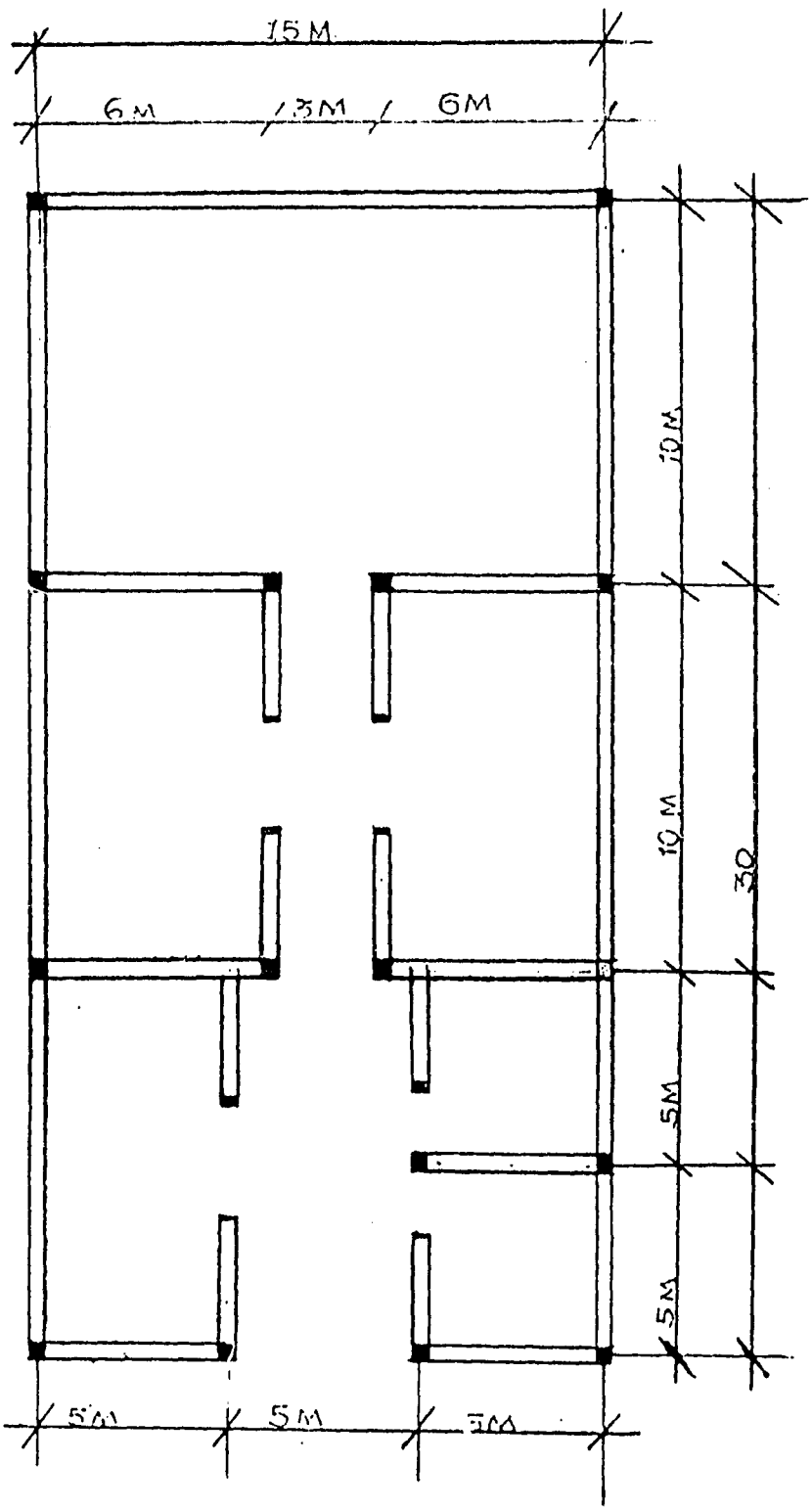
TERMINAL DE TERMOSTATO

TERMINAL DE MEDIDOR DE HUMEDAD

ATOMIZADOR DE AGUA DEPURADA

Ag AGITADOR

M MOTOR

PLANO No. 5

Infraestructura sugerida para las facilidades de Fermentación