# *Andropogon gayanus* Kunth

## Un pasto para los suelos ácidos del trópico

Carimagua 1 · Planaltina · San Martín · Sabanero · Veranero · Llanero · Otoreño

CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) es una institución de investigación agrícola orientada al desarrollo y dedicada al alivio perdurable del hambre y la pobreza en los países en desarrollo por medio de la aplicación de la ciencia.

El CIAT es uno de los 13 centros internacionales de investigación agrícola bajo los auspicios del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAI).

El presupuesto básico del CIAT es financiado por un grupo de donantes. En 1989 tales donantes son: Bélgica, Canadá, China, España, Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Italia, Japón, México, Noruega, el Reino Unido, la República Federal de Alemania, Suecia y Suiza. Las siguientes organizaciones son también donantes del CIAT en 1989: el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Internacional para Reconstrucción y Fomento (BIRF), el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), la Comunidad Económica Europea (CEE), la Fundación Ford, la Fundación Rockefeller, y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente el punto de vista de las entidades mencionadas anteriormente.

**Foto portada:**

Plantas de *Andropogon gayanus*, una grmínea de origen africano de alta producción de forraje y de semilla en suelos ácidos, y muy tolerante a plagas y enfermedades. Foto tomada a 40 cm sobre el suelo en una finca de los Llanos Orientales de Colombia.

64302

ISBN 84-89206-80-5

# *Andropogon gayanus* Kunth

## Un pasto para los suelos ácidos del trópico

Editado por:
José M. Toledo
Raúl Vera
Carlos Lascano
Jillian L. Lenné

CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical

Centro Internacional de Agricultura Tropical
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

ISBN 84-89206-80-5
Tirada: 800 ejemplares
Impreso en Colombia
Publicado también en inglés (ISBN 84-89206-79-1)
Agosto 1989

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1989.
*Andropogon gayanus* Kunth: Un pasto para los suelos ácidos del trópico. Toledo, J.M., Vera, R., Lascano, C. y Lenné, J.M. (eds.). Cali, Colombia. 406 p.

1. *Andropogon gayanus* — Congresos, conferencias, etc. 2. Suelos ácidos — Congresos, conferencias, etc. 3. Pastos — América tropical — Congresos, conferencias, etc. I. Toledo, José M. II. Vera, Raúl. III. Lascano, Carlos. IV. Lenné, Jillian M. V. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

# CONTENIDO


| | Página |
|---|---|
| Acrónimos, abreviaturas y terminología técnica | v |
| Prefacio<br>José M. Toledo | ix |
| Descripción botánica y distribución natural de *Andropogon gayanus*<br>Gerhard Keller-Grein y Rainer Schultze-Kraft | 1 |
| Genética y fitomejoramiento de *Andropogon gayanus*<br>John W. Miles y Bela Grof | 21 |
| Rango de adaptación de *Andropogon gayanus*<br>María C. Amézquita, Esteban A. Pizarro y José M. Toledo | 39 |
| Aspectos fisiológicos de *Andropogon gayanus* y su compatibilidad con las leguminosas forrajeras<br>José M. Toledo y Myles J. Fisher | 69 |
| Requerimientos nutricionales de *Andropogon gayanus*<br>José G. Salinas y Saif ur Rehman Saif | 105 |
| Agronomía de *Andropogon gayanus*<br>Bela Grof y Derrick Thomas | 167 |
| Problemas causados por plagas y enfermedades en *Andropogon gayanus*<br>Jillian M. Lenné y Mario Calderón | 191 |
| Establecimiento y desarrollo inicial de pasturas de *Andropogon gayanus* en sabanas tropicales<br>James M. Spain y Walter Couto | 239 |

Calidad de *Andropogon gayanus* y productividad animal
Carlos Lascano y Derrick Thomas 265

Producción de semilla de *Andropogon gayanus*
John E. Ferguson 295

Resultados obtenidos con *Andropogon gayanus* en las fincas de los productores de ganado
Raúl Vera y Carlos Seré 323

Liberación de *Andropogon gayanus* y evidencia inicial de su adopción e impacto en América tropical
Carlos Seré y John E. Ferguson 357

Prioridades en la investigación de *Andropogon gayanus*
José M. Toledo, Raúl Vera, Carlos Lascano, y Jillian M. Lenné 389

Indice 393

# Acrónimos, abreviaturas y terminología técnica

## De instituciones

| | |
|---|---|
| AOSCA | Association of Official Seed Certifying Agencies |
| CENICAFE | Centro Nacional de Investigaciones del Café (Colombia) |
| CENIP | Centro de Investigaciones Pecuarias (República Dominicana) |
| CEPEC | Centro de Pesquisa do Cacau (Brasil) |
| CEPLAC | Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Brasil) |
| CIPA | Centro de Promoción e Investigación Agropecuarias (Perú) |
| CIAT | Centro Internacional de Agricultura Tropical (Colombia) |
| CMI | Commonwealth Mycological Institute (Inglaterra) |
| CNIA | Centro Nacional de Investigación Agrícola (ICA, Colombia) |
| COPERHOLTA | Cooperación Holandesa en Tarapoto (Perú) |
| CORECA | Consejo Regional de Cooperación Agrícola (Costa Rica) |
| CPAC | Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Brasil) |
| CSIRO | Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (Australia) |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ESEP | Escuela Superior de Educación Profesional (Perú) |
| ESPOCH | Escuela Superior Politécnica del Chimborazo (Ecuador) |
| ETES | Estudio Técnico y Económico de Sistemas de Producción Pecuaria, 1978-1982 (CIAT) |
| F.G.P. | Fondo Ganadero del Putumayo (Colombia) |
| FONAIAP | Fondo Nacional de Investigaciaones Agropecuarias (Venezuela) |

| | |
|---|---|
| IBTA | Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria |
| ICA | Instituto Colombiano Agropecuario |
| INIAA | Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial (Perú) |
| INIAP | Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Ecuador) |
| INIPA | Instituto Nacional de Investigaciones y Promoción Agraria (Perú) |
| LUZ | Universidad del Zulia (Venezuela) |
| MIDINRA | Ministerio de Desarrollo Agropecuario y Reforma Agraria (Nicaragua) |
| MINAG | Ministerio de Agricultura y Ganadería (Costa Rica) |
| NCSU | North Carolina State University |
| PRONIEGA | Programa Nacional de Investigación Ganadera (Paraguay) |
| SEA | Secretaría de Estado de Agricultura República Dominicana) |
| UDEA | Universidad de Antioquia (Colombia) |
| UEPAE | Unidad de Exucução de Pesquisa de Ambito Estadual e Territorial (Brasil) |
| UMSS | Universidad Mayor de San Simón (Bolivia) |
| U.P. | Universidad de Panamá |

## De expresiones técnicas y unidades

| | |
|---|---|
| A (= an.) | animal |
| bar | unidad de presión (= 0.987 atm = 1 x $10^6$ dina/$cm^2$) |
| BH | balance hídrico |
| DE | desviación estándar |
| DIVMS | digestibilidad in vitro de la materia seca |
| MS | materia seca |
| msnm | metros sobre el nivel del mar |

| | |
|---|---|
| MSV | materia seca en base verde |
| PC | proteína cruda |
| PV | peso vivo |
| SBDH | sabana bien drenada isohipertérmica |
| SBDT | sabana bien drenada isotérmica |
| t | tonelada métrica |
| TH | trópico húmedo |

## Términos técnicos y regionales

| | |
|---|---|
| censal | relativo al censo de población de un país. |
| clímax | (f.) etapa final del equilibrio en la sucesión geobotánica (o etapa regional de máximo biológico estable). Ej: un bosque natural; destruido éste, la vegetación que se establezca en ese terreno será la nueva clímax (ver subclímax). |
| clon | conjunto de individuos (pregenie) procedentes, por multiplicación asexual, de una sola planta madre. Población inicial de células madre. Un clon no es necesariamente homogéneo. |
| destete | (= destetado) ternero en edad de destete o ya destetado. |
| dormancia | (= latencia) período trascurrido entre el momento de recibir el estímulo y aquel en que el vegetal reacciona. |
| en oferta | (= 'on offer') forraje disponible, ofrecido al ganado; dícese del forraje que encuentra el ganado en un momento dado cuando pastorea un potrero. |
| monta | (f.) apareamiento; dícese del acto en que la novilla es servida por el toro. |
| multilocacional | dícese del ensayo que se repite en muchas localidades de diversas características geográficas y climáticas. |
| rastrillada | un pase del rastrillo de discos por el campo que se rotura. |
| rotacional | (neol.) en rotación, rotatorio; dícese del pastoreo no contínuo de un potrero. |

| | |
|---|---|
| subclímax | etapa anterior (pero próxima) a la clímax cuyo progreso queda detenido indefinidamente por factores naturales y artificiales (inundación, pastoreo, incendio habitual). |
| sucesión | proceso por el cual las sinecias (unidades más generales de la colectividad vegetal) o las fitocenosis (unidades generales que incluyen además el concepto de comunidad) se sustituyen naturalmente unas a otras dentro de una unidad local. |
| sudado | (= traspiración) alta humedad que adquieren los tallos florales de un pasto recientemente cosechado cuando se apilan; favorece el desprendimiento de las espiguillas. |
| vacía | novilla o vaca sin fecundar que no resulta preñada en la época de monta o apareamiento. |
| volante | en un experimento con bovinos, el animal que entra o sale del potrero para regular la presión de pastoreo. |

# PREFACIO

La ganadería vacuna de los trópicos, especialmente donde la producción de carne y leche es una industria importante, ha sido desplazada paulatinamente de las áreas donde las condiciones del suelo, el clima, la infraestructura, y la distancia a los mercados son mejores. Este desalojo es el resultado de las presiones socioeconómicas ejercidas para favorecer la expansión de los cultivos agrícolas. En consecuencia, la producción de ganado vacuno se ha incrementado en áreas hoy consideradas como marginales y de frontera agrícola, es decir, donde el suelo es ácido y poco fértil, la agricultura está limitada, y la producción ganadera sufre severas restricciones. Tal es el caso de las sabanas y del trópico húmedo de la América tropical.

Esas áreas marginales de frontera agrícola de suelos ácidos y pobres son, sin duda, un importante recurso para la expansión de la ganadería vacuna en América tropical. Sometidas a esa expansión, las especies tradicionales de gramíneas y leguminosas forrajeras [*Panicum maximum, Hyparrhenia rufa, Neonotonia wightii, Centrosema pubescens* (común) y otras] se degradan rápidamente y se convierten en pasturas de baja productividad y mínima capacidad de autosostenimiento. Esta degradación es el resultado de los considerables requerimientos nutricionales de esas pasturas, de su intolerancia a la acidez y a los niveles altos de aluminio del suelo, y de la intensa presión ejercida en ellas por las plagas y enfermedades de América tropical. El productor ganadero que enfrenta restricciones económicas y que dispone de un capital limitado es incapaz de manejar esas pasturas con altos niveles de insumos tales como plaguicidas, control de malezas, encalado y fertilización.

Frente a estas dificultades, la industria pecuaria del continente que se desarrolla en tierras marginales de la frontera agrícola es incapaz de responder a la creciente demanda de carne y leche. Por consiguiente, hay que hallar nuevas especies de gramíneas y de leguminosas que usen con eficiencia los suelos ácidos y de escasa fertilidad. Estas nuevas especies deberán poseer además tolerancia a los niveles altos de aluminio, y a las presiones bióticas que caracterizan estas tierras tropicales.

El Programa de Pastos Tropicales del CIAT y la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) iniciaron, hace más de diez años, la búsqueda de pasturas que exijan mínimos insumos, y trabajan desde entonces en su desarrollo. Estas nuevas pasturas incrementarán el nivel de producción primaria (pasturas y especies forrajeras) en los suelos ácidos y pobres de América tropical.

*Andropogon gayanus* CIAT 621, una gramínea introducida de Africa en 1973, superó varias etapas tanto de selección en diversas localidades, como de desarrollo de una tecnología de pasturas, y de ensayos apropiados. Los fitomejoradores la seleccionaron, finalmente, porque demostró alta producción, tolerancia a niveles elevados de saturación de aluminio, bajos requerimientos de fertilización, resistencia a plagas y enfermedades, y capacidad para utilizar mejor el agua del suelo en las épocas secas.

En 1980, el ICA, de Colombia, y CPAC/EMBRAPA, de Brasil, liberaron este pasto para uso comercial con los nombres de "Carimagua 1" y "Planaltina", respectivamente. En 1982, INIPA, del Perú, lo liberó como "San Martín", y FONAIAP, de Venezuela, como "Sabanero". En 1983, la Universidad de Panamá y el IDIAP, de ese país, lo liberaron como "Veranero", y en 1986, INIFAP, de México, lo liberó como "Llanero". A la fecha, otros países, como Cuba, lo han nominado ya para su liberación comercial. Se estima que, hasta el presente, se ha sembrado esta nueva gramínea en más de 300,000 ha de suelos pobres y ácidos del continente americano.

Esta monografía sintetiza el esfuerzo que ha hecho el Programa de Pastos Tropicales del CIAT para recopilar la

información existente sobre esta gramínea tanto en obras publicadas como en documentos inéditos. La recopilación hecha en América Latina recibió mayor énfasis, porque en esta región se ha concentrado más la investigación sobre *A. gayanus.*

Sea pues este libro una contribución a la labor de la comunidad científica internacional, y una obra de referencia para los organismos de enseñanza superior y de desarrollo agrícola y pecuario.

José M. Toledo
Líder, Programa de Pastos Tropicales
CIAT

# DESCRIPCION BOTANICA Y DISTRIBUCION NATURAL DE *ANDROPOGON GAYANUS*

Gerhard Keller-Grein y Rainer Schultze-Kraft*

## Taxonomía

La especie *Andropogon gayanus* Kunth pertenece a la tribu *Andropogoneae* situada dentro de la subfamilia *Panicoideae* de las gramíneas. El género *Andropogon* comprende aproximadamente 100 especies anuales y perennes dispersas por todo el trópico, que son especialmente prolíferas en Africa y América (Clayton y Renvoize, 1982). Actualmente hay cuatro variedades botánicas reconocidas de *A. gayanus,* cuyas características distintivas se basan especialmente en la pilosidad de las espiguillas (Clayton, 1972):

var. *gayanus* (var. *genuinus* Hack.)

> Entrenudos y pedicelos del raquis ciliados a lo largo de un solo margen; espiguilla pedicelada glabra; espiguilla sésil de 6 mm de longitud; arista de la espiguilla sésil de 10 a 20 mm de longitud, y arista de la espiguilla pedicelada de 1 a 2 mm de longitud.

var. *tridentatus* Hack.

> Entrenudos y pedicelos del raquis ciliados a lo largo de un solo margen; espiguilla pedicelada vellosa o pubescente; espiguilla sésil de 6 a 8 mm de longitud; la arista de la espiguilla sésil de 15 a 30 mm de longitud, y la de la espiguilla pedicelada de 5 a 10 mm de longitud.

---

* Gerhard Keller-Grein es agrónomo del Proyecto INIPA/IVITA/CIAT, Pucallpa, Perú. Rainer Schultze-Kraft es agrónomo, jefe de la sección de Germoplasma del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia.

var. *polycladus* (Hack.) W. D. Clayton

(Sinónimo: var. *squamulatus* (Hochst.) Stapf)[1]

Entrenudos y pedicelos del raquis ciliados en ambos márgenes; espiguilla pedicelada glabra; espiguilla sésil de 5 a 6 mm de longitud; la arista de la espiguilla sésil de 15 a 30 mm de longitud, la de la espiguilla pedicelada de 3 a 7 mm de longitud.

var. *bisquamulatus* (Hochst.) Hack.

Semejante a la var. *polycladus,* pero con la espiguilla pedicelada de pilosa a vellosa.

Según algunos autores, quienes han estudiado no solamente especímenes de herbario sino también plantas vivas, parece existir una variación continua en las características utilizadas por los taxónomos para diferenciar las variedades (Foster, 1962; Monniaux, 1978). Se ha informado que las cuatro variedades crecen hasta una altura mayor de 3 m (Rose-Innes, 1977). Bowden (1963a), haciendo referencia a las variedades *bisquamulatus, gayanus* y *polycladus,* indica que la var. *bisquamulatus* es más vigorosa y agresiva que las otras dos y considera que, cuando no se hace distinción entre variedades, en la mayor parte de las referencias encontradas en la literatura agrícola sobre *A. gayanus* se refieren a la var. *bisquamulatus.* En general, la var. *bisquamulatus* se considera más vigorosa que la var. *polycladus (= squamulatus)* (Mejía, 1984). Bowden (1964b) también menciona la densidad de la barba del callus de la espiguilla sésil como una característica distintiva de las variedades: mientras la barba del callus es rala en la var *gayanus,* es densa en la var. *polycladus* y en la var. *bisquamulatus.* La var. *gayanus* es fácilmente reconocible por los fascículos densos de hojas cortas que se desarrollan en los nudos después de la floración (Rose-Innes, 1977). El mismo autor afirma que en la var. *tridentatus* las hojas son menos variables que en las otras tres variedades.

---

1. La descripción de la nueva var. *polycladus* se encuentra en Kew Bulletin 32:1(1977).

Clayton (1972) menciona como característica sobresaliente de la var. *tridentatus* que posee una alta proporción de diploides, a diferencia de las otras variedades. Olorode (1972) informó que todos los especímenes provenientes de Nigeria que fueron examinados resultaron tetraploides (2n = 40). En estudios anteriores, hechos también con *A. gayanus* de Nigeria, se encontraron formas tanto diploides (2n = 20) como tetraploides (2n = 40) (Singh y Godward, 1960). Según Monniaux (1978), el nivel de tetraploidía de 2n = 40 es "muy frecuente" en las cuatro variedades reconocidas. No existe un criterio morfológico que permita distinguir en forma precisa entre plantas diploides y tetraploides de *A. gayanus* (Foster, 1962). Singh y Godward (1960) también informan acerca de plantas aneuploides (2n = 35, 2n = 42, 2n = 43). Foster (1962) encontró indicios de que *A. gayanus* var. *tridentatus* (2n = 20) se cruza en forma natural con *A. tectorum* Schum. y Thonn. (2n = 20), una especie estrechamente relacionada con la primera. Se han observado segregantes de *A. tectorum* también en Colombia, en parcelas de introducción que contenían poblaciones de *A. gayanus* var. *bisquamulatus* originarias del norte de Nigeria.[2]

## Morfología

La siguiente descripción morfológica de *A. gayanus* se basa en estudios realizados por Bowden (1964a), Clayton (1972), Rose-Innes (1977) y Clayton y Renvoize (1982):

*Andropogon gayanus* es una gramínea macollada de porte alto, de constitución gruesa, erecta y perenne con culmos de 1 a 3 m de altura. A causa de los entrenudos cortos de sus rizomas y de su ramificación intravaginal, forma macollas hasta de un 1 m de diámetro (Figura 1).

Las láminas foliares son lineales-lanceoladas, agudas, hasta de 100 cm de longitud y de 4 a 30 mm de anchura, y generalmente se adelgazan hacia la nervadura central prominente, en su base,

2. Suchultze-Kraft, R. Información no publicada.

Figura 1. *Andropogon gayanus* Kunth var. *bisquamulatus* (Hochst.) Hack. (Dibujo hecho por G. Escobar.)

formando un seudopecíolo; son pubescentes en ambos lados, particularmente cuando las hojas son jóvenes, y con frecuencia glaucas y escamosas a lo largo de los márgenes. Foster (1962) encontró que la variación en la pilosidad y en la anchura de la hoja era mayor dentro de las variedades *polycladus* (= *squamulatus*) y *bisquamulatus* que entre ellas mismas. Bowden (1971) observó y discutió la presencia de nectarios foliares bajo el seudopecíolo y junto a la lígula en la var. *bisquamulatus*. La lígula es una membrana corta, de color café, y tiene con frecuencia un borde de pelillos blancos de aproximadamente 7 mm de longitud. La vaina foliar tiene hasta 20 cm de longitud y su extremo superior hasta 10 mm de anchura; tiene una nervadura central bien definida y es redondeada en su extremo apical. Generalmente, la vaina presenta pilosidad densa en la base (var. *bisquamulatus*), es glabra (var. *gayanus*), de pilosidad variable (var. *polyclaus*), y pilosa con haces de pelos blancos en el ápice (var. *tridentatus*). La anchura de la base de la vaina mide frecuentemente hasta 25 mm.

Los culmos son tereticaules y con frecuencia tienen raíces fúlcreas. Las raíces normalmente se describen como "gruesas y robustas" (Rose-Innes, 1977). Bowden (1963b) estudió las raíces de *A. gayanus* var. *bisquamulatus* y las clasificó en tres tipos:

1. Raíces fibrosas finas, por lo general de menos de 0.5 mm de diámetro y profusamente ramificadas; se observa que, justo bajo la superficie del suelo, crecen en forma horizontal desde el centro de la macolla hasta alcanzar 1 m de longitud o más.

2. Raíces verticales cuya estructura es fina y no sobrepasa los 0.5 mm de diámetro; son menos ramificadas y crecen verticalmente hacia abajo. Bowden (1963b) estudió las raíces verticales solamente hasta una profundidad del suelo de 80 cm; sin embargo, en suelos friables se ha observado que penetran hasta una profundidad de 3 m y más.[3]

3. Schultze-Kraft, R. Información no publicada.

3. Raíces cordadas que son cortas, gruesas (de 2 a 3 mm de diámetro) y poco ramificadas; crecen tanto lateralmente como hacia abajo. Rara vez exceden 0.5 m de longitud y poseen una médula gruesa que contiene gránulos de almidón.

Bowden (1963b) señala que estos tres tipos de raíces son responsables, en parte, de la resistencia a la sequía de *A. gayanus* var. *bisquamulatus*. Mientras las raíces verticales extraen agua y nutrimentos de capas más profundas del suelo —permitiendo a la planta permanecer en contacto con un nivel freático descendente durante un período de tiempo considerable— las raíces fibrosas absorben agua cerca de la superficie del suelo y, junto con las raíces cordadas —que proporcionan anclaje a la planta y almacenan almidón— hacen uso temprano de las primeras lluvias.

La var. *bisquamulatus* tiene rizomas de ramificación corta que forman una masa compacta cerca de la superficie del suelo y constituyen aproximadamente el 90% del peso seco total de todos los órganos subterráneos. En el material radical estudiado hasta 80 cm de profundidad, el 50% del peso seco correspondió a las raíces fibrosas, el 10% a las raíces verticales y el 40% a las raíces cordadas (Bowden, 1963b). Las raíces son fácilmente infectadas por micorrizas vesículo-arbusculares (Saif, 1986).

Rose-Innes (1977) describe la var. *gayanus* como particularmente rizomatosa y de raíces fúlcreas y, por lo tanto, valiosa para estabilizar paredes de diques y riveras de ríos erosionadas.

La inflorescencia (Figura 2) consta de racimos pálidos en pares (en la var. *tridentatus* rara vez solitaria) que forman una panícula falsa espatada. Los entrenudos y pedicelos del raquis son claviformes y ciliados a lo largo de un margen (var. *gayanus* y var. *tridentatus)* o de ambos márgenes (var. *bisquamulatus* y var. *polycladus).* Los racimos tienen de 4 a 9 cm de longitud y contienen aproximadamente 17 pares de espiguillas. Cada par de espiguillas está conformado por una espiguilla sésil y una pedicelada. La espiguilla sésil tiene hasta 8 mm de longitud,

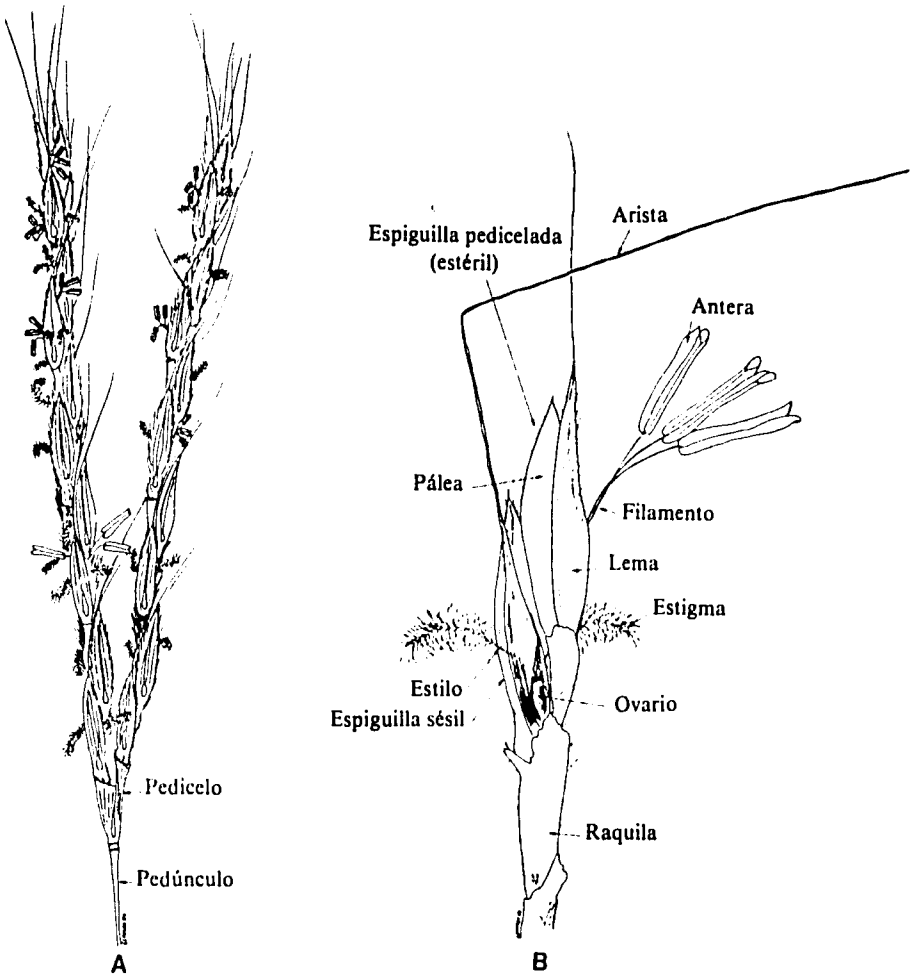



Figura 2. Inflorescencia de *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus*, y sus partes constitutivas. (Dibujo hecho por G. Escobar.)

incluyendo un callo oblongo de aproximadamente 1 mm de longitud; consta de dos flósculos encerrados por dos glumas: 1) una gluma inferior que es lanceolada, glabra y aplanada en su parte posterior, con muchas nervaduras entre la ranura central y las quillas laterales, y 2) una gluma superior que es mútica o mucronada. El flósculo superior es hermafrodita y presenta una lema bilobulada con una arista conspicua de 10 a 30 mm de longitud; el flósculo inferior es estéril y se reduce a una lema

hialina. La espiguilla pedicelada tiene la forma de una elipse estrecha de 5 a 8 mm de longitud; su gluma inferior (ocasionalmente también la superior) presenta una arista de 1 a 10 mm de longitud. Esta espiguilla también está compuesta por dos flósculos: el superior es masculino y el inferior es estéril. Por tanto, cada par de espiguillas sólo puede producir una cariópside. La cariópside es oblonga, planoconvexa, de 3 mm de longitud y de 0.75 mm de anchura. Excepto la porción hialina pequeña, el color de su cubierta, producido por una antocianina, es morado. El escutelo y el embrión son grandes.

## Anatomía

Bowden (1964a), quien adelantó estudios anatómicos detallados de *A. gayanus* var. *bisquamulatus*, describe la anatomía de la especie como panicoide, excepto por el embrión que tiene dos características festucoides: la presencia de un epiblasto y la carencia de una hendidura que separe la parte inferior del escutelo de la coleorriza.

Según los estudios de Bowden (1964a), la buena adaptación de la var. *bisquamulatus* a los estreses climáticos de los ambientes de sabana (baja precipitación anual y una estación seca prolongada) no se puede explicar en virtud de algún rasgo particular de la anatomía foliar. Así, en la lámina foliar no aparecen características xeromórficas marcadas; las hojas están casi desprovistas de nervadura y presentan una cutícula relativamente delgada; los estomas no están protegidos por salientes y en condiciones secas se cierran en forma incompleta. Los rasgos foliares xeromórficos se manifiestan sólo en la epidermis gruesa, en las frecuencias relativamente altas de estomas (casi exclusivamente en la superficie abaxial de la hoja), y en la macropilosidad.

Las láminas foliares poseen un tejido de asimilación bien desarrollado que, según Bowden (1964a), permite un buen uso de la alta intensidad lumínica presente durante los días cortos que coinciden con la estación seca y con su capacidad de crecimiento restringido.

## Distribución Natural

La siguiente descripción de la distribución natural de *A. gayanus* se basa en información presentada por Bowden (1964b), a menos que se especifique lo contrario.

### Geografía

*Andropogon gayanus* es un componente de la mayor parte de las sabanas de Africa tropical al sur del Sahara (Figura 3). Rattray (1960) presenta una lista de seis comunidades de gramíneas en las que *Andropogon* es el género característico y dominante del cual *A. gayanus* constituye la especie principal.

La var. *polycladus* (sinónimo de var. *squamulatus)* es la más ampliamente distribuida de las cuatro variedades. Se la encuentra al norte del ecuador, en una franja amplia entre el límite del Sahara y los bosques húmedos ecuatoriales, y se extiende desde Senegal en el occidente hasta Sudán y el norte de Uganda en el oriente. Al sur del ecuador se halla distribuida en las regiones de sabanas situadas al sur y oriente de los bosques húmedos de Zaire. En el oeste se extiende desde Gabón hasta Angola y Namibia (Clayton y Renvoize, 1982), llega hasta Tanzania por el oriente y va hacia el sur por Malawi, Mozambique y Zimbabwe hasta el Transvaal en Africa del Sur. No se ha registrado en Kenia (Clayton y Renvoize, 1982).

La var. *bisquamulatus* tiene una distribución geográfica casi idéntica a la de la var. *polycladus* al norte del ecuador, pero es notoria su ausencia total al sur del ecuador.

La var. *gayanus* tiene una distribución similar a la de la var. *bisquamulatus* aunque se encuentra también al sur de los bosques húmedos ecuatoriales en Gabón, Zaire y Angola. No se ha registrado en Africa oriental y suroriental. Esta variedad se presenta con frecuencia como especie dominante en pantanos estacionales y en llanos inundados (Clayton, 1972; Bogdan, 1977; Rose-Innes, 1977).

La distribución geográfica de la var. *tridentatus* no se ha estudiado detalladamente. La información disponible indica que

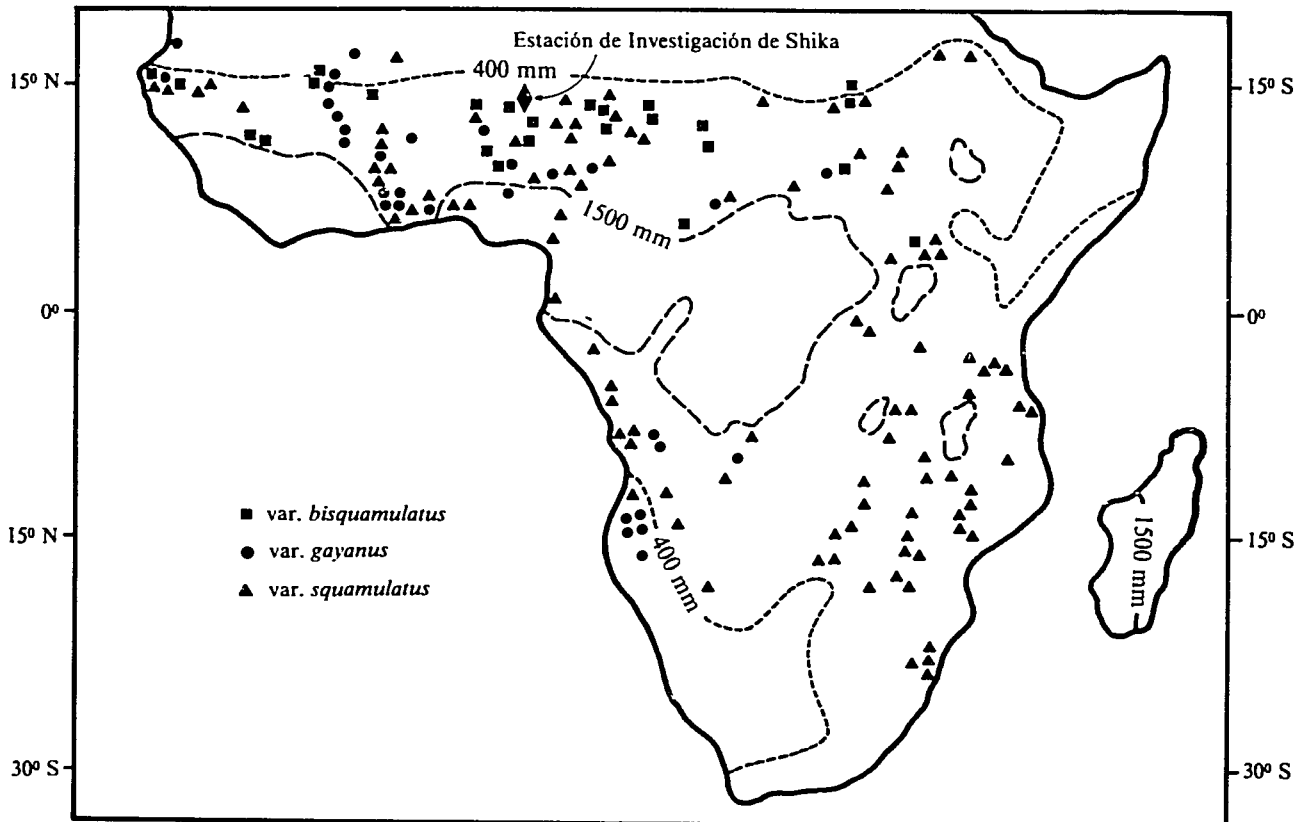



Figura 3. Distribución natural de *Andropogon gayanus*. La distribución de var. *tridentatus* no se conoce detalladamente. FUENTE: Bowden, 1964b.

esta variedad se presenta desde Senegal, pasando por el sureste de Mauritania, y las regiones del norte de Ghana y de Togo, hasta Nigeria y se extiende hasta Sudán (Foster, 1962; Clayton, 1972; Rose-Innes, 1977).

## Clima

*A. gayanus* se encuentra en Africa casi exclusivamente entre las isohietas anuales de 400 y de 1500 mm (Bowden, 1964b). Aparece en sitios que se hallan en áreas con precipitaciones anuales inferiores a 400 mm debido principalmente a condiciones edáficas y topográficas favorables a nivel local, como los valles estacionales inundados de algunos ríos. *A. gayanus* también puede presentarse en zonas de bosque de mayor pluviosidad en el Africa Occidental, siempre y cuando los factores humanos o edáficos —o ambos— favorezcan la evolución de parches de sabana (Adejuwon, 1974).

*A. gayanus* var. *bisquamulatus* y var. *polycladus* se conocen en Africa Occidental por su habilidad para sobrevivir a sequías de varios meses, ya que retienen sus hojas verdes durante buena parte de la estación seca y comienzan a rebrotar rápidamente al inicio de las lluvias (Bowden, 1963a; Bogdan, 1977; Rose-Innes, 1977). Para estas dos variedades en particular, Bowden (1964b) menciona que su habitat nativo se caracteriza por una estación seca que se prolonga de 2 a 9 meses, cada mes con menos de 25 mm de precipitación, y sugiere que un período seco de más de 3 meses es favorable para estas variedades.

La distribución de *A. gayanus* también está limitada por las temperaturas bajas. La especie no se encuentra en regiones donde la temperatura media mínima del mes más frío es menor de 4.4 $^{0}$C (Bowden, 1964b). Hay informes de que *A. gayanus* presenta buena tolerancia a heladas ligeras (Chatterjee y Singh, 1968; Paulino, 1979).

Si se considera la distribución de *A. gayanus* en Africa según la altitud, la gramínea es más vigorosa entre los 0 y los 980 msnm; más arriba de los 1970 m rara vez constituye un componente principal de una comunidad de plantas (Bowden, 1964b). Para los tipos de vegetación de gramíneas en los cuales domina

*A. gayanus* al norte del ecuador, Rattray (1960) menciona el rango de 350 a 1150 msnm. Se ha informado que la var. *polycladus* ocurre en Africa Oriental entre 100 y 1700 m de altitud (Clayton y Renvoize, 1982). La especie, sin embargo también se ha encontrado en Sudán a altitudes hasta de 2600 m (Bowden, 1964b).

## Suelos

La información detallada sobre los suelos del habitat natural de *A. gayanus* es al parecer limitada. Sin embargo, la información general disponible indica que la especie crece en una amplia gama de condiciones edáficas. En un intento por describir la variedad de tipos de suelos en que se presenta *A. gayanus,* se proyectó (Figura 3) el mapa de distribución natural de Bowden (1964b) en el Mapa Mundial de Suelos de la FAO (FAO y UNESCO, 1977). La leyenda del mapa de suelos de la FAO fue adaptada a la taxonomía de suelos de los Estados Unidos según aproximaciones hechas por Sánchez (1981) y por Cochrane et al. (1985).

**Var.** *gayanus.* Según Bowden (1964b), los suelos en que se desarrolla esta variedad varían desde los bien drenados y arenosos hasta los mal drenados y arcillosos. Durante la estación lluviosa, los suelos de pantanos estacionales y sabanas inundables, que son el habitat típico para la var. *gayanus,* se encuentran generalmente inundados por una lámina de agua hasta de 2 m. La comparación del mapa de suelos de la FAO con la distribución natural de esta variedad indica que la var. *gayanus* se presenta en su habitat nativo en un rango de condiciones edáficas relativamente amplio. De las 31 localidades del mapa de Bowden, 13 de ellas (42%) corresponden a Alfisoles de textura gruesa a mediana que están bien saturados de cationes pero son con frecuencia escasos en materia orgánica; en 26% de ellas hay Vertisoles e Inceptisoles de textura gruesa, a veces inundados debido a malas condiciones de drenaje. Finalmente, la variedad se ha encontrado con menos frecuencia en Entisoles gruesos poco desarrollados en 13% de las localidades, y en 16% de éstas, en Ultisoles y Oxisoles ácidos de baja fertilidad y de textura media a fina.

**Var.** *bisquamulatus* **y var.** *polycladus.* Bowden (1963a) describe estas variedades como "de suelos secos" e indica que crecen mejor en suelos arcilloarenosos bien drenados de fertilidad media a alta. Ambas variedades crecen en una amplia gama de tipos de suelos, desde los muy arenosos cerca del límite sur del Sahara hasta los arcilloarenosos bien drenados que poseen bajos contenidos de materia orgánica y que son casi neutros (Bowden, 1964b).

Según Rose-Innes (1977), en Ghana la var. *polycladus* se presenta aparentemente en un rango de tipos de suelos mucho más amplio que la var. *bisquamulatus.* En una zona de las tierras altas de Bamenda en el sureste de Nigeria, la var. *polycladus* aparece en suelos graníticos altamente lixiviados con fracciones de arcilla inactiva y baja saturación de bases (Hall y Medler, 1975). En Zimbabwe, la misma variedad se encuentra con frecuencia en suelos de serpentina en que hay altas concentraciones de magnesio y níquel (Wild, 1970; Wild, 1974).

La comparación que hacen los autores entre el mapa de suelos de la FAO y la distribución natural de la var. *polycladus* (= *squamulatus*) indica que también esta variedad acepta una extensa gama de condiciones de fertilidad del suelo. En tanto que sólo unas pocas localidades en las que crece la variedad se caracterizan por tener Vertisoles fértiles de textura fina, el tipo principal de suelos en áreas donde la estación seca es definida son los Entisoles (26%) de textura gruesa y fertilidad intermedia; en localidades de regiones semiáridas la variedad ocurre con frecuencia en Inceptisoles (12%) de textura variable y con una fertilidad potencial relativamente alta. Otro tipo de suelo característico de localidades donde aparece la var. *polycladus* son los Alfisoles (22%) cuya saturación de bases es alta pero son relativamente pobres en materia orgánica y, en ocasiones, también bajos en fósforo. El 28% de las localidades en las que crece esta variedad poseen Oxisoles y Ultisoles ácidos de baja fertilidad. En una de las localidades el suelo era un Andisol fértil.

Con respecto a la var. *bisquamulatus,* el 50% de las localidades se caracteriza por los Entisoles de textura gruesa en regiones semiáridas. Esta variedad también ocurre en Alfisoles (17% de las localidades), en Inceptisoles y en Vertisoles, y aparece (13% de las localidades) en Oxisoles infértiles de textura intermedia. Una de

las localidades se caracterizaba por un Aridisol con una alta saturación de sodio. Los datos de los análisis de suelos de la Estación de Investigación de Shika en el norte de Nigeria, de donde proviene la accesión CIAT 621 como componente de la vegetación nativa, no estuvieron disponibles para los autores. En Zaria, que está cerca de Shika, Harpstead (1974) informa de los siguientes resultados analíticos de la capa de 0 a 30 cm de un suelo clasificado como Inceptisol: materia orgánica: 2.5%; pH: 5.3; (Ca + Mg), K y Na: 5.10, 0.50 y 0.23 meq/100 g de suelo, respectivamente; capacidad de intercambio catiónico: 6.90 meq/100 g de suelo.

*A. gayanus.* No se mencionan sus variedades. Se presenta como especie dominante en el límite entre bosques y sabanas en las partes más elevadas de la cadena de sabana en Ghana centrooccidental, tanto en suelos con abundantes bloques lateríticos como en suelos más profundos sin laterita. En este último tipo de suelo, las plantas alcanzan mayor altura y en forma más densa que en los suelos lateríticos (Swaine et al., 1976). Se ha informado que en Camerún *A. gayanus* no crece bien en suelos pobres (Piot y Rippstein, 1975).

Los autores no tienen información sobre la preferencia de la var. *tridentatus* por algún suelo.

## Vegetación

En una síntesis de estudios sobre comunidades de plantas basados en diversos viajes de reconocimiento, principalmente en los de Rattray (1960), Bowden (1964b) proporciona una lista de 15 comunidades donde hay asociaciones con *A. gayanus.* Las .ariedades *bisquamulatus* y *polycladus,* que al norte del ecuador tienen casi la misma distribución, constituyen las especies dominantes en áreas extensas de las sabanas de *Isoberlinia-Hyparrhenia-Andropogon* de Guinea y Sudán; ambas variedades son frecuentes también, aunque no dominantes, en la zona más seca del Sahel, como componentes de las sabanas sudanenses de *Acacia-Terminalia-Andropogon, Acacia-Combretum-Sorghum,* y *Combretum-Cenchrus,* así como en las sabanas derivadas y de matorral costanero del Africa Occidental.

Al sur del ecuador, la var. *polycladus* es dominante en forma local en las sabanas centroafricanas-angolesas de *Isoberlinia-Brachystegia-Hyparrhenia* (Miombo) y en la sabana costanera angolesa de *Adansonia-Aristida.* También se presenta hacia el sur en las praderas de *Brachystegia,* desde Tanzania hasta Zimbabwe, y está presente en las sabanas surafricanas de *Combretum-Hyparrhenia.*

En Ghana, tanto la var. *bisquamulatus* como la var. *polycladus* se mencionan como componentes importantes de la vegetación en sitios de sucesión de plantas primarios (= vegetación originaria) como también sec ındarios. En su mayor parte, las especies asociadas comprenden a *A. schirensis, A. tectorum, Pennisetum polystachion, Hyparrhenia* spp., y otras (Rose-Innes, 1977).

La var. *gayanus,* que se encuentra en áreas estacionalmente inundadas desde Africa Occidental hasta Sudán, forma frecuentemente poblaciones densas hasta el grado de excluir de algunos de los llanos aluviales inundados a casi todas las demás especies. Como especies asociadas se menciona a *Acacia polyacantha* ssp. *campylacantha* entre los árboles y arbustos; entre las gramíneas, a especies tales como *A. tectorum, Brachiaria jubata, Echinocloa pyramidalis, Hyparrhenia rufa, Leersia hexandra, Oryza barthii, Panicum fluviicola* y *Setaria anceps* (Bowden, 1964; Rose-Innes, 1977).

Se ha informado que la var. *tridentatum* se presenta como componente de la vegetación de pastizales semidesérticos en Africa Occidental (Bodgan, 1977); esta variedad también ocurre en sitios primarios y secundarios de sucesión de plantas (Rose-Innes, 1977).

Virtualmente todas las sabanas en donde se encuentra *A. gayanus* en forma silvestre están expuestas a quemas periódicas causadas, sobre todo, por actividades de caza. A pesar de que se despeje de toda su parte aérea, *A. gayanus* rebrota vigorosamente después de una quema debido al hecho de que los rizomas y las raíces quedan bajo la superficie del suelo (Bowden, 1964b).

## Germoplasma

*Andropogon gayanus* ha recibido poca atención en lo que concierne a la recolección de germoplasma, a causa, probablemente, de que la especie es de polinización cruzada; los especialistas en germoplasma pudieron considerar que la recombinación continua de genes proporcionaba suficiente variabilidad. Se estima que actualmente no hay más de 120 accesiones diferentes representadas en las dos colecciones mundiales de germoplasma de especies forrajeras tropicales en el CIAT y el CSIRO (Australia). Este número incluye una nueva colección del CIAT de 36 muestras recientemente colectadas de una serie de habitat en Tanzania y Zimbabwe.[4]

En América del Sur, la introducción de germoplasma de *A. gayanus* data de 1942 cuando *A. gayanus* var. *polycladus (= squamulatus)* fue introducida en Brasil desde Transvaal (Otero, 1961). A pesar de los resultados positivos obtenidos inicialmente, esta accesión no alcanzó etapas más avanzadas de evaluación; se supone que ocurrió así, entre otras razones, por la dificultad de producir su semilla, como en el caso de la accesión CPAC 53 de *A. gayanus* var. *polycladus* en Brasil. Esta accesión se consideró promisoria para las condiciones subhúmedas de los Cerrados (EMBRAPA, 1978) pero su utilización tuvo que interrumpirse más tarde por las dificultades en la producción de su semilla.[5]

En 1973, el CIAT recibió una muestra de semilla de *A. gayanus* var. *bisquamulatus* de la estación de investigación de Shika, en Nigeria. Esta línea (accesión CIAT 621) demostró ser muy exitosa y fue liberada posteriormente en varios países de América tropical (Ferguson et al., 1985).

Asimismo, el germoplasma de *A. gayanus* considerado como promisorio en India y en el norte de Australia pertenece a la var. *bisquamulatus* (Chatterjee, 1964; Anning, 1982).

4. Keller-Grein, G. Información sin publicar.
5. De Sousa, F. B. Comunicación personal.

En lo que concierne al comportamiento agronómico de las otras dos variedades de *A. gayanus* (var. *gayanus* y var. *tridentatus*) no hay resultados experimentales disponibles. De manera similar, prácticamente se desconoce el potencial de otras especies de *Andropogon*. Sin embargo, el éxito de *A. gayanus* var. *bisquamulatus* indicaría que se justifica adelantar alguna investigación en las otras variedades de *A. gayanus* como también en algunas especies de *Andropogon* poco conocidas (tales como *A. tectorum* y *A. schirensis*). Vale la pena evaluar el potencial de la var. *gayanus* como planta forrajera para condiciones de inundación estacional. Además, parece que un estudio sistemático y una exploración posterior de las existencias de genes de la var. *polycladus* son necesarios, en vista de la extraordinariamente amplia distribución natural de esta variedad. Es probable que esta variedad tenga un potencial particularmente alto para condiciones semiáridas como las del nordeste de Brasil.

## Resumen

*Andropogon gayanus* es una gramínea perenne, macollada, de porte alto, que alcanza hasta 3 m de altura; constituye una parte significativa de la vegetación de muchas áreas de sabana del Africa que se extiende al sur del Sahara, hasta el Africa del Sur. Es una especie polimórfica que comprende cuatro variedades botánicas reconocidas: var. *gayanus*, var. *tridentatus*, var. *polycladus* (sinónimo de var. *squamulatus)* y var. *bisquamulatus*. De éstas, la var. *bisquamulatus* es la más vigorosa y la mejor conocida como gramínea forrajera tropical. Las variedades *polycladus* y *bisquamulatus* están adaptadas a sequías prolongadas en tanto que el habitat nativo de var. *gayanus* son las tierras estacionalmente pantanosas. La especie se presenta en Africa casi exclusivamente entre las isoyetas de 400 y 1500 mm anuales, en una amplia gama de condiciones edáficas; está ausente, en cambio, en regiones cuya temperatura media mínima sea de 4.4 $^0$C y crece muy vigorosamente por debajo de una altitud de 980 m. Al parecer, se justifica la investigación tanto de las tres variedades diferentes de la var. *bisquamulatus* como también de otras especies de *Andropogon*.

# Referencias


Adejuwon, O. 1974. Savanna in the forest areas of western Nigeria: distribution and vegetation characteristics. J. Trop. Geogr. 39:1-10.

Anning, P. 1982. Evaluation of introduced grass species for pastures in the dry tropics of north Queensland. Trop. Grassl. 16(3):136-145.

Bogdan, A. V. 1977. Tropical pasture and fodder plants. Longman Group, Londres, Inglaterra. 475 p.

Bowden, B. N. 1963a. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth; I: the use of *Andropogon gayanus* in agriculture. Emp. J. Exp. Agric. 31(123):267-273.

———. 1963b. The root distribution of *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus*. East Afr. Agric. For. J. 29(2):157-159.

———. 1964a. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth; II: an outline of the morphology and anatomy of *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* (Hochst.) Hack. J. Linn. Soc. Lond. Bot. 58(375):509-519.

———. 1964b. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth; III: an outline of its biology. J. Ecol. 52:255-271.

———. 1971. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth; VI: the leaf nectaries of *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* (Hochst.) Hack. (Gramineae). J. Linn. Soc. Lond. Bot. 64(1):77-80.

Chatterjee, B. N. 1964. At Sabour, Sadahabar is first among fodder grasses. Indian Farming 14(8):17.

——— y Singh, R. D. 1968. Growth analysis of perennial grasses in the tropics in India; 4: changes in tiller population in grass swards. Allahabad Farmer 42(2):65-73.

Clayton, W. D. 1972. Gramineae. En: Hepper, F. N. (ed.). Flora of west tropical Africa. vol. III, parte 2, 2a. edición. Crown Agents for Overseas Governments and Administrations, Londres, Inglaterra. p. 349-512.

——— y Renvoize, S. A. 1982. Gramineae (Parte 3). En: Polhill, R. M. (ed.). Flora of tropical east Africa. Balkema, Rotterdam, Netherlands. p. 451-898.

Cochrane, T. T.; Sánchez, L. G.; de Azevedo, L. G.; Porras, J. A. y Garver, C. L. 1985. Land in tropical America, vol. 1, apéndice 1. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, D.F., Brasil. 144 p.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1978. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1976-1977. Brasilia, D.F., Brasil. p. 149.

FAO y UNESCO (Food and Agriculture Organization y United Nations Education, Science and Culture Organization). 1977. Soil map of the world, 1:5,000,000. vol. 6, Africa. UNESCO, París.

Ferguson, J. E.; Seré, C. y Vera, R. R. 1985. The release process and initial adoption of *Andropogon gayanus* in tropical Latin America. En: The Japanese Society of Grassland Science (ed.). Fifteenth International Grassland Congress, agosto 1985. Kyoto, Japón. p. 222-223.

Foster, W. H. 1962. Investigations preliminary to the production of cultivars of *Andropogon gayanus*. Euphytica 11:47-52.

Hall, J. B. y Medler, J. A. 1975. Highland vegetation in southeastern Nigeria and its affinities. Vegetation 29(3):191-198.

Harpstead, M. I. 1974. The classification of some Nigerian soils. Soil Sci. 116(6):437-443.

Mejía, M. 1984. *Andropogon gayanus* Kunth: bibliografía analítica. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 196 p.

Monniaux, G. 1978. Structure génétique des populations naturelles d'*Andropogon gayanus* Kunth au Sénégal. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM), Dakar, Senegal. 103 p.

Olorode, O. 1972. Cytological studies on some Nigerian Andropogoneae. Nigerian J. Sci. 6(1):13-19.

Otero, J. R. 1961. Informações sobre algumas plantas forrageiras. Ministério da Agricultura. Série didática 11. 2a. edición. Brasil. 334 p.

Paulino, V. T. 1979. O Capim-gamba *(Andropogon gayanus* Kunth) na América tropical. Zootecnia (São Paulo) 17(4):239-252.

Piot, J. y Rippstein, G. 1975. Principales especes herbacées de quelques formations pastorales de l'Adamaoua Camerounais. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop. 28(3):427-434.

Rattray, J. M. 1960. La cubierta herbácea de Africa. Estudios agropecuarios FAO, no. 49. FAO, Roma. 173 p.

Rose-Innes, R. 1977. A manual of Ghana grasses. Land Resources Division, Ministry of Overseas Development, Surbiton, Surrey, Inglaterra. 261 p.

Saif, S. ur R. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and ecotypes. Angew. Bot. 60:125-139.

Sánchez, P. A. 1981. Suelos del trópico, características y manejo. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica. 634 p.

Singh, D. N. y Godward, M. B. E. 1960. Cytological studies on the Gramineae. Heredity 15:193-197.

Swaine, M. D.; Hall, J. B. y Lock, J. M. 1976. The forest-savanna boundary in west central Ghana. Ghana J. Sci. 16(1):35-52.

Wild, H. 1970. Geobotanical anomalies in Rhodesia; 3: the vegetation of nickel-bearing soils. Kirkia 7:1-62.

———. 1974. Variations in the serpentine floras of Rhodesia. Kirkia 9:200-232.

# GENETICA Y FITOMEJORAMIENTO DE *ANDROPOGON GAYANUS*

John W. Miles y Bela Grof*

## Introducción

El éxito actual de *Andropogon gayanus*, como gramínea forrajera tropical ampliamente adaptada y de alto rendimiento, se basa exclusivamente en la variación genética natural de la especie. Sin embargo, no se puede esperar que los genotipos que ocurran en forma natural cumplan todas las exigencias que el futuro agrícola impondrá a la especie. Mediante recombinación genética dirigida se están buscando actualmente cultivares mejorados que expresen, en mayor grado, caracteres particulares o combinaciones de caracteres no hallados en la naturaleza. Se puede esperar que la labor de mejoramiento genético de los atributos agronómicos de *A. gayanus* aumente con el tiempo.

Se revisarán brevemente en este capítulo los conocimientos existentes sobre el comportamiento reproductivo de *A. gayanus*, así como las pruebas de que existe una variación genética significativa dentro de la especie que permite fundamentar los proyectos formales de mejoramiento genético. Se consideran además los posibles objetivos del mejoramiento genético de la especie, como también los métodos apropiados de mejoramiento y los procedimientos de evaluación. Según la información que poseen los autores, actualmente se adelantan tres proyectos de mejoramiento genético de *A. gayanus*, que se describirán brevemente.

* John W. Miles es fitomejorador, sección de Mejoramiento de Forrajes del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia; Bela Grof es agrónomo de pasturas en CPAC, Brasilia, Brasil.

## Comportamiento Reproductivo

Aunque no se ha informado sobre experimentos críticos que utilicen marcadores genéticos bien caracterizados, se considera generalmente que la especie *A. gayanus* se reproduce por alogamia sexual. Esta conclusión se sustenta en dos líneas de evidencia: 1) aunque se logró producir semilla por autopolinización en inflorescencias encerradas en bolsas, se observó una severa depresión por endogamia en las progenies autopolinizadas en comparación con las progenies provenientes de polinización cruzada (Foster, 1962); 2) la varianza de la fecha de floración entre individuos dentro de familias $S_1$ (primera generación autopolinizada) fue mayor incluso que la de individuos de progenies de polinización abierta (hermanos medios), lo cual indica que los clones parentales fueron altamente heterocigóticos (Foster, 1962). Por lo tanto, aunque es posible lograr la autofertilización artificial, la autopolinización no se considera importante en la reproducción normal. En *A. gayanus,* aparentemente, no ocurre la apomixis.

### Variación genética, heredabilidad, e interacciones genotipo-ambiente de atributos importantes

La primera evidencia sobre alguna variación genética significativa en *A. gayanus* fueron los datos sobre diferencias en la fecha de floración de los genotipos obtenidos en diferentes sitios de recolección en Nigeria (Foster, 1962). Aunque los genotipos colectados dentro de los sitios no fueron más variables que los individuos dentro de los clones, las plantas recolectadas en seis sitios diferentes, entre los 7° y los 12° de latitud norte, difirieron notoriamente, con un rango total de 48 días, en la media de la fecha de floración en Shika (11° N). La fecha de floración en esta localidad estaba relacionada con el origen de los genotipos: aquéllos recolectados en el norte de Nigeria fueron más precoces que los recolectados en el sur.

Monniaux (1978) encontró, entre 89 clones de *A. gayanus* recolectados en Senegal, una variación significativa de algunas características cuantitativas y cualitativas medidas en una sola

localidad de ese país. Halló también, como en el trabajo hecho en Nigeria, una asociación significativa entre el sitio de recolección y la precocidad de la floración. Se calculó la regresión entre el promedio de los días hasta la floración y tres parámetros del ambiente en el sitio de recolección: el número promedio de días lluviosos por año, la precipitación media anual, y la temperatura media anual. La primera medición se relacionó estrechamente con la precocidad y ella sola respondió por el 61% de la variación entre los clones respecto a los días trascurridos hasta la floración; los otros dos parámetros (la precipitación media anual y la temperatura media anual) no mejoraron significativamente el valor de predicción de la ecuación de regresión múltiple.

CIAT (1981) informó sobre la variación genética significativa y sobre la heredabilidad, en sentido amplio, de moderada a alta ($h^2 = 0.40$ a 0.69) que ocurre dentro de una sola accesión (CIAT 621) entre clones tomados al azar, respecto a los siguientes caracteres: el número de tallos florecidos, el rendimiento total de forraje como peso seco, la proporción de hojas en el forraje total, el rebrote ocho días después del corte, y el ancho de la hoja (Cuadro 1). Las mediciones se hicieron en propágulos de 200 genotipos plantados en forma espaciada en dos repeticiones en cada una de dos localidades diferentes: el CNIA de Carimagua y CIAT-Quilichao. Estos resultados se confirmaron el año siguiente (CIAT, 1982). Adicionalmente, se encontró que el componente de varianza debido al genotipo para cada atributo de esta población era dos veces mayor que el componente debido a la interacción genotipo-localidad, resultado que sugiere la tendencia de los genotipos a responder en forma similar a las diferencias ambientales entre las dos localidades.

Los estimativos de heredabilidad, en sentido amplio, hechos en una localidad (Carimagua) para el rendimiento de forraje como peso fresco en cinco fechas diferentes de cosecha, y para el rendimiento total 'a través' de las cosechas, fueron mayores que los estimativos hechos a través de las localidades ($h^2$ = de 0.58 a 0.77 para las fechas individuales de cosecha; $h^2 = 0.93$ para el rendimiento total de forraje).

Cuadro 1. Diversos valores de la media poblacional y del coeficiente de heredabilidad en sentido amplio, estimados para los atributos agronómicos de *Andropogon gayanus* CIAT 621.[a]

| Descripción del atributo | Medida o unidad | Media de la población | Heredabilidad (sentido amplio) | Referencia |
|---|---|---|---|---|
| Tallos reproductivos | número | 13.7 | 0.40** | CIAT, 1981 |
| Rendimiento de forraje, peso seco | g/planta | 130.6 | 0.47** | CIAT, 1981 |
| Proporción de hojas | porcentaje | 45.9 | 0.67** | CIAT, 1981 |
| Rebrote de ocho días | cm | 1.7 | 0.69** | CIAT, 1981 |
| Tallos reproductivos | número | 22.1 | 0.59** | CIAT, 1982 |
| Rendimiento de forraje, peso seco | g/planta | 197.9 | 0.59** | CIAT, 1982 |
| Proporción de hojas | porcentaje | 41.1 | 0.69** | CIAT, 1982 |
| Rendimiento de hojas, peso seco | g/planta | 75.5 | 0.63** | CIAT, 1982 |
| Proteína foliar[b] (nov. 80) | porcentaje | 10.2 | 0.59** | CIAT, 1982 |
| Proteína foliar[b] (feb. 81) | porcentaje | 6.5 | 0.73** | CIAT, 1982 |
| Proteína del tallo[b] (nov. 80) | porcentaje | 5.3 | 0.70** | CIAT, 1982 |
| Proteína del tallo[b] (feb. 81) | porcentaje | 2.5 | 0.66** | CIAT, 1982 |
| Digestibilidad de la hoja[b] (nov.80) | porcentaje | 49.5 | 0.79** | CIAT, 1982 |
| Digestibilidad de la hoja[b] (feb. 81) | porcentaje | 38.9 | NS[c] | CIAT, 1982 |
| Digestibilidad del tallo[b] (nov. 80) | porcentaje | 47.4 | 0.82** | CIAT, 1982 |
| Digestibilidad del tallo[b] (feb. 81) | porcentaje | 34.4 | 0.73** | CIAT, 1982 |
| Altura de la planta (feb. 81) | cm | 184.2 | 0.84** | CIAT, 1982 |
| Longitud del entrenudo | cm | 25.6 | 0.66** | CIAT, 1982 |
| Altura de la planta (agt. 81) | cm | 201.5 | 0.66** | CIAT, 1982 |
| **Período junio-septiembre 1981** | | | | |
| Tallos reproductivos | número | 80.9 | 0.83** | Cardona, 1982 |
| Días a la floración | día | 40.3 | 0.51** | Cardona, 1982 |
| Retención de semilla | porcentaje | 42.6 | NS[c] | Cardona, 1982 |
| Longitud del entrenudo | cm | 27.7 | 0.62** | Cardona, 1982 |

(Continúa)

Cuadro 1. Continuación.

| Descripción del atributo | Medida o unidad | Media de la población | Heredabilidad (sentido amplio) | Referencia |
|---|---|---|---|---|
| Altura de la planta | cm | 137.7 | 0.72** | Cardona, 1982 |
| Entrenudos/tallo | número | 6.8 | 0.47** | Cardona, 1982 |
| Nudos de la panícula inferior | número | 3.3 | 0.58** | Cardona, 1982 |
| Diámetro del tallo | mm | 3.4 | 0.66** | Cardona, 1982 |
| Panículas/tallo | número | 16.2 | 0.63** | Cardona, 1982 |
| Espiguillas/panícula | número | 10.4 | 0.44* | Cardona, 1982 |
| Rendimiento, peso fresco | g/planta | 735.8 | 0.79** | Cardona, 1982 |
| Relación hoja:tallo (según peso fresco) | porcentaje | 38.8 | 0.68** | Cardona, 1982 |
| Relación hoja:tallo (según peso seco) | porcentaje | 48.1 | 0.40** | Cardona, 1982 |
| **Período noviembre 1981-enero 1982** | | | | |
| Tallos reproductivos | número | 111.4 | 0.85** | Cardona, 1982 |
| Días a la floración | día | 25.8 | 0.55** | Cardona, 1982 |
| Retención de semilla | porcentaje | 40.2 | NS[c] | Cardona, 1982 |
| Longitud del entrenudo | cm | 29.2 | 0.61** | Cardona, 1982 |
| Altura de la planta | cm | 145.0 | 0.64** | Cardona, 1982 |
| Entrenudos/tallo | número | 6.9 | 0.53** | Cardona, 1982 |
| Nudos de la panícula inferior | número | 3.4 | 0.53** | Cardona, 1982 |
| Diámetro del tallo | mm | 3.7 | 0.66** | Cardona, 1982 |
| Panículas/tallo | número | 22.1 | 0.66** | Cardona, 1982 |
| Espiguillas/panícula | número | 10.3 | 0.55** | Cardona, 1982 |
| Rendimiento, peso fresco | g/planta | 1081.9 | 0.72** | Cardona, 1982 |
| Relación hoja:tallo (según peso fresco) | porcentaje | 45.0 | 0.73** | Cardona, 1982 |
| Contenido de cariópsides[d] | $\sin^{-1}(\%)$ | 0.52 | 0.69** | Cardona, 1982 |
| Cariópsides viables[e] | $\sin^{-1}(\%)$ | 0.43 | 0.52* | Cardona, 1982 |

a. Si no se indica otra cosa, estos valores se basan en 200 genotipos tomados al azar de la variedad CIAT 621, evaluada en parcelas de plantas individuales, con dos repeticiones según un diseño de repetición dentro de conjuntos donde había diez conjuntos de 20 genotipos.
b. Tomados en un conjunto (20 genotipos).
c. Variación no significativa ($P > 0.05$) entre los clones.
d. Tomado en cinco conjuntos (100 genotipos).
e. Tomado en dos conjuntos (40 genotipos).
* Componente de varianza genética significativo ($P < 0.05$).
** Componente de varianza genética significativo ($P < 0.01$).

Estudios más restringidos —se fundaban en sólo 20 genotipos medidos en una sola localidad— sobre la digestibilidad in vitro y el porcentaje de proteína de hojas o tallos revelaron (Cuadro 1), en general, una variación genética significativa y altos estimativos de heredabilidad en sentido amplio (CIAT, 1982). Sin embargo, las correlaciones genéticas entre dos fechas de muestreo fueron generalmente bajas o incluso negativas, una indicación de que la clasificación de genotipos por estas características no es consistente en el tiempo.

Se informó también de la alta heredabilidad, en sentido amplio, de la altura de la planta (CIAT, 1982) junto con una correlación genética positiva entre dos fechas de muestreo. La longitud de los entrenudos, un componente importante de la altura de la planta, también fue altamente heredable (Cuadro 1).

Estudiando una muestra independiente de la misma población de *A. gayanus*, Cardona (1982) halló una variación genética estadísticamente significativa entre clones repetidos, en 11 atributos agronómicos en dos épocas del año, y para tres atributos adicionales en uno de los dos períodos (Cuadro 1). La única característica medida por Cardona para la cual no se detectó variación genética significativa fue la retención de semilla; Cardona sugirió que con un muestreo más intensivo sería posible detectar diferencias genéticas en la retención de semilla.

Otras evidencias de la variación genética significativa que experimenta *A. gayanus* proceden del análisis de los datos de altura de la planta de 16 clones y de sus progenies obtenidas por libre polinización, tomados tanto en Quilichao como en Carimagua (CIAT, 1986). Los clones parentales originales se seleccionaron de parcelas de introducción mantenidas por la sección de Germoplasma del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, y con ellos se inició un programa encaminado a desarrollar una variedad sintética de *A. gayanus* de porte bajo (CIAT, 1985). Los clones se escogieron entre accesiones representativas de una amplia diversidad de orígenes. A pesar de ser un conjunto de clones seleccionados, éstos difirieron significativamente en ambos sitios de prueba. Una correlación significativa entre el clon parental y la progenie obtenida por

polinización abierta [r = 0.58 (P < 0.05) en Carimagua] sugirió la existencia de una variación genética aditiva en el carácter altura de la planta. La detección de diferencias significativas en la altura media de las plantas entre las progenies obtenidas por polinización libre en cada una de las localidades apoya esta sugerencia. La mayoría de las progenies fueron sustancialmente más bajas que la accesión testigo CIAT 621.

La correlación entre localidades, ya sea respecto a clones o a progenies, no fue significativa, resultado que señala la presencia de una importante interacción genotipo-localidad. Sin embargo, este resultado parece derivarse ante todo del rango relativamente estrecho de variación genética que ocurre entre los genotipos seleccionados. En efecto, cuando la accesión testigo CIAT 621 se incluye en el análisis, la correlación entre localidades (respecto a las progenies obtenidas por polinización abierta) aumenta sustancialmente (de r = 0.31 a r = 0.56).

R. Godoy[1] informa que la mayoría de las 26 progenies por polinización libre provenientes de plantas seleccionadas manifestaron un vigor temprano mayor que el de *A. gayanus* cv. Planaltina, que es la población de plantas de la cual aquéllas se originaron (ver en este capítulo: 'Proyectos Actuales de ...').

Los anteriores estudios demuestran que la variación entre plantas que se ha observado respecto a varios atributos de *A. gayanus* es predominantemente genética; sugieren además que se debería lograr un rápido progreso inicial como respuesta a la selección, excepto en el caso, poco probable, de que la mayor parte de la variación no fuera aditiva.

Los resultados de los programas de selección en *A. gayanus* de que se tiene noticia (ver 'Proyectos Actuales de...') se limitan a la selección de genotipos respecto a floración tardía que hizo Grof en una localidad de baja latitud en Colombia (Grof, 1986). Aunque las diferencias entre los clones seleccionados fueron amplias, en la mayoría de ellos la floración fue tardía y la producción de panículas inferior a la de la población original

1. Comunicación personal.

(*A. gayanus* cv. Carimagua 1) de la cual fueron seleccionados, lo cual demuestra cuán efectiva es la selección para aislar los genotipos deseados de floración tardía.

## Fitomejoramiento

### Objetivos

Las pruebas disponibles, tal como se describieron en la sección anterior, indican que hay suficiente variación genética en las accesiones de *A. gayanus* y entre ellas como para justificar programas de mejoramiento genético de esta gramínea; estarían éstos condicionados a la formulación de objetivos de mejoramiento bien definidos y al diseño de métodos apropiados de evaluación. La experiencia relativamente escasa adquirida hasta la fecha enseña que *A. gayanus* es una gramínea forrajera de amplia adaptación cuyo éxito ha sido notable. Sin embargo, algunas deficiencias potenciales, que podrían rectificarse mediante el mejoramiento genético, se han hecho ya manifiestas.

### Rendimiento y calidad del forraje

La obtención de un mayor rendimiento de forraje constituye, generalmente, un objetivo importante en cualquier programa de mejoramiento de una especie forrajera. En el de *A. gayanus,* sin embargo, que no es una gramínea de alta calidad, aumentar el rendimiento total de forraje permitiría una mayor capacidad de carga de la pastura, aunque no mejoraría quizás el desempeño animal individual.

Puesto que el contenido de proteína cruda en el tejido foliar casi duplica el que se halla en el tallo (Böhnert et al., 1986; CIAT, 1982; Haggar y Ahmed, 1971; Rodríguez, 1985), un aumento en la relación hoja:tallo o en el rendimiento total de hojas debería mejorar el valor alimenticio de *A. gayanus.* En efecto, ha sido posible demostrar que existe una relación entre el porcentaje de hojas de tres genotipos y el consumo voluntario cuando el forraje cortado se suministró a carneros enjaulados (Guzmán, 1983). Sin embargo, al evaluar los mismos genotipos bajo pastoreo

cuando el animal tenía la oportunidad de pastorear selectivamente, no se detectó ningún efecto de genotipo de *A. gayanus* en el desempeño animal (Rodríguez, 1985; Ortiz, 1987).

Hay alguna evidencia de que existen diferencias genéticas respecto a la digestibilidad in vitro y al contenido de proteína cruda de los tejidos de la hoja y del tallo de *A. gayanus* (CIAT, 1982); el mejoramiento de una de estas características, o de ambas, podría resultar en mejor desempeño animal.

Un enfoque más práctico para lograr mejor calidad nutricional en *A. gayanus* es considerar la pastura como un todo, en vez de la gramínea como componente aislado de aquélla. La inclusión de una leguminosa en la pastura mejora en forma demostrable el desempeño animal. Sin embargo, al parecer por el excesivo vigor y competitividad de *A. gayanus,* se ha informado de la precaria persistencia de varias leguminosas que, de otra parte, se hallaban bien adaptadas. Hutton (1968) ha sugerido que se seleccionen gramíneas tropicales de menor vigor, enfoque que se intenta con *A. gayanus* empleando como criterios de selección el porte bajo y la abundancia de hojas (CIAT, 1985; CIAT, 1986).

## Epoca de floración

La mayoría de las accesiones de *A. gayanus* que se encuentran en América tropical fue recolectada en sitios de Africa comprendidos entre las latitudes 8° N y 12° N. Aunque la aparición de la floración en estos materiales parece estar bien sincronizada en latitudes similares o mayores de América tropical, la floración en latitudes menores (por ejemplo, en CIAT-Quilichao a 3° 06' N o en el CNIA de Carimagua a 4° 34' N) está débilmente sincronizada. En estas latitudes bajas, el comienzo típico de la floración es muy anterior al inicio de la estación seca porque los días son más cortos en las latitudes bajas que en las altas entre abril y septiembre, en el hemisferio norte. Algunos genotipos de la accesión CIAT 621 florecen después de la defoliación en cualquier época del año en CIAT-Quilichao. En las latitudes bajas los genotipos de floración tardía deben de producir un forraje más hojoso y de mayor calidad durante la

estación lluviosa. Una floración más uniforme, que comience al principio de la estación seca, debería producir mayor rendimiento de semilla de mejor calidad a causa de una mejor polinización y de una maduración más uniforme de la semilla.

Mejorar la adaptación de *A. gayanus* a ambientes de baja latitud requerirá una respuesta correcta de la floración para asegurar que ésta comience sincrónicamente a finales de la estación lluviosa o a principios de la estación seca. Este resultado necesitará, probablemente, de una reacción más sensible a la disminución en la longitud del día, puesto que el rango que abarca la duración del día durante el año es mucho menor en las latitudes bajas que en las más altas. La respuesta a otros estímulos ambientales, como el aumento del estrés hídrico al comenzar la estación seca, podría mejorarse mediante la selección.

## Rendimiento y calidad de la semilla

El rendimiento y la calidad de la semilla han sido características deficientes en *A. gayanus,* particularmente en sitios de bajas latitudes (CIAT, 1984). Este hecho parece, en gran medida, el resultado de una floración mal sincronizada que conduce a una polinización incompleta y a una maduración desuniforme de la semilla. El rendimiento potencial disminuye porque las primeras semillas maduras caen al suelo, en tanto que las semillas inmaduras reducen la calidad de la cosecha total de semilla. No se han formulado rigurosamente objetivos claros para mejorar el rendimiento y la calidad de la semilla, aunque es probable que se avance en esa dirección cuando se sincronice mejor la floración del pasto en regiones de baja latitud.

Aumentar el rendimiento de semilla elevando el número de tallos reproductivos podría resultar en una menor calidad del forraje a causa de la reducción en la relación hoja:tallo. Sin embargo, debería ser posible mejorar el rendimiento de semilla aumentando el número de panículas por tallo, la formación de semilla (porcentaje de espiguillas llenas), y la retención de semilla —cuando se pueda identificar una variación genética aplicable de este último atributo— sin que se altere la relación hoja:tallo.

## Vigor de la plántula

El escaso vigor de las plántulas y su establecimiento incierto se citan con frecuencia en la literatura como limitaciones de los genotipos de *A. gayanus* actualmente disponibles (CIAT, 1985). Debe ser posible mejorar el vigor de las plántulas seleccionándolas ya sea directamente por su vigor o ya indirectamente por el tamaño de la semilla (cariópside).

## Resistencia a enfermedades e insectos

Un objetivo importante en muchos programas de mejoramiento de gramíneas forrajeras es la resistencia de la planta a una o más enfermedades o insectos plaga. Este asunto, al parecer, no despierta preocupación en *A. gayanus* puesto que en América Latina no se han detectado amenazas importantes de enfermedades o insectos.[2] Es notable que, hasta en las sabanas de Africa Occidental, de donde es nativo, el pasto *A. gayanus* se halle libre de enfermedades y plagas.[2]

## Métodos de fitomejoramiento

Los métodos de mejoramiento apropiados para *A. gayanus* se basan en su sistema reproductivo alógamo, en su hábito perenne, y en la facilidad con que se pueden multiplicar genotipos heterocigóticos individuales mediante propagación vegetativa. Se consideran también aquí la dificultad para lograr endogamia mediante autopolinización más allá de la primera generación (Foster, 1962), la dificultad para obtener un gran número de cruces controlados, y el carácter aún no mejorado o 'silvestre' del germoplasma actualmente disponible.

Por lo regular, en las especies forrajeras alógamas el objetivo de los programas de fitomejoramiento es aumentar las frecuencias de los alelos favorables en las poblaciones sintéticas que se formen con progenitores seleccionados (Bray y Hutton, 1976). Es frecuente que sean necesarios varios ciclos recurrentes

2. Lenné, J. Comunicación personal.

de selección y de cruzamiento para alcanzar niveles adecuados de expresión de los criterios de selección.

Simmonds (1979) esboza los métodos básicos de selección recurrente que se emplean en la formación de variedades sintéticas. Difieren éstos principalmente en el criterio de selección, que puede ser simplemente el comportamiento de la planta individual (selección masal) o el comportamiento de algún tipo de progenie (generalmente una progenie de hermanos medios). Los esquemas de selección que implican un control parental completo añadirían, generalmente, otro año al ciclo de selección para propagar vegetativamente los progenitores seleccionados y para establecer un bloque aislado de recombinación. En algunos casos la ventaja obtenida con el estricto control parental no compensaría la prolongación del ciclo de selección.

Okoli y Olorode (1981) sugirieron el uso deliberado de la hibridación interespecífica para el mejoramiento genético de *Andropogon* spp. Lograron obtener 43 híbridos $F_1$ triploides y un híbrido $F_1$ aneuploide valiéndose de *A. gayanus* y de *A. tectorum* como progenitores. Aunque la mayoría de los híbridos obtenidos producían polen parcialmente estéril, uno de ellos produjo un polen con 92% de fertilidad y una calificación 'muy alta' en el proceso de formación de semilla. Los autores concluyen que la hibridación interespecífica es un método promisorio para mejorar a *Andropogon* spp. combinando características favorables encontradas en diferentes especies.

## Procedimientos de evaluación

En general, las condiciones en que se evalúan los genotipos en un programa aplicado de mejoramiento genético deben simular, en lo posible, las condiciones de producción comercial. Aunque las gramíneas forrajeras se evalúan con frecuencia en las condiciones de siembra espaciada de los viveros, se han encontrado importantes interacciones genotipo-ambiente de algunos atributos en varias especies forrajeras (Bray y Hutton, 1976). En realidad, un progreso genético significativo, medido en

las condiciones de un vivero, puede disminuir o incluso desaparecer cuando las plantas seleccionadas se cultiven en las condiciones de pastura sometida a pastoreo. Sin embargo, tanto Sedcole y Clements (1973) como England (1975) encontraron correlaciones genéticas altas entre el comportamiento de genotipos de *Lolium multiflorum* (raigrás) que se evaluaron en diferentes densidades de siembra, a pesar de que las interacciones genotipo-densidad fueron significativas. Ambos trabajos sugieren que, al menos en las poblaciones particulares bajo estudio, la selección basada en el comportamiento de plantas espaciadas debería contribuir a mejorar el comportamiento de la pastura.

Sería muy útil saber, en cualquier programa de mejoramiento, el grado de correlación genética que existe entre el comportamiento del pasto en ciertas condiciones y su comportamiento en otras condiciones diferentes; este conocimiento permitiría predecir el progreso genético que se obtenga en el comportamiento de la gramínea en la pastura cuando esa gramínea se seleccione en un vivero donde haya sido sembrada en forma espaciada. Hasta donde los autores han investigado, no hay información disponible al respecto para ninguna característica de *A. gayanus*.

## Proyectos Actuales de Mejoramiento: Descripción y Resultados

### Sección de Agronomía de Forrajes del CIAT

En el CNIA de Carimagua, en los Llanos Orientales de Colombia (4º 34' N), se desarrollaron dos ciclos de selección basados en el comportamiento de clones parentales y de progenies obtenidas de policruzamientos, con el fin de producir una variedad sintética vigorosa cuya floración sea uniforme y tardía en ambientes de baja latitud (Grof, 1986). Se compararon 16 clones seleccionados de progenies derivadas del segundo ciclo de policruzamientos con la población original (*A. gayanus* cv. Carimagua 1) de donde los clones fueron seleccionados, respecto al número promedio de racimos emergidos durante dos períodos, uno de 122 días y otro de 107 días, ambos en 1984 (Grof, 1986).

Los clones seleccionados tenían floración más tardía que la población original, lo cual demuestra que la selección es efectiva para aislar los genotipos deseados. Falta por demostrar si el comportamiento animal es realmente mejor cuando se pastoree la variedad sintética mejorada.

## Sección de Fitomejoramiento del CIAT

La selección respecto a los caracteres porte bajo, floración tardía, y abundancia de hojas ('hojosidad') se inició en 1984 con el objetivo de mejorar la compatibilidad de *A. gayanus* con leguminosas no trepadoras y de facilitar su manejo. Se seleccionaron 19 clones parentales de un total de 13 accesiones de germoplasma y se establecieron, con repeticiones, en un lote de cruzamiento. Las progenies del policruzamiento de primer ciclo se evaluaron en CIAT-Quilichao y en el CNIA de Carimagua, y en cada localidad se seleccionaron 100 plantas individuales para iniciar un segundo ciclo de selección. Estas plantas se evaluarán como clones en ensayos con repeticiones que se sembrarán en forma espaciada en los dos sitios de ensayo, y se producirán progenies de policruces por polinización abierta. Aunque los clones parentales originales se seleccionaron según su comportamiento en CIAT-Quilichao solamente, la mayoría de las progenies de primer ciclo, tanto en esta localidad como en el CNIA de Carimagua, tenían un porte más bajo que la accesión testigo CIAT 621.

## EMBRAPA en São Carlos

En 1984 se dio comienzo a un proyecto de selección con el propósito de mejorar el vigor inicial y el valor nutricional (este último mediante el aumento de la hojosidad) de *A. gayanus* cv. Planaltina.[3] Se evaluaron 26 progenies de polinización abierta obtenidas de plantas vigorosas, en parcelas con hileras de 6 m en dos repeticiones; como testigo se tomaron seis muestras del cv. Planaltina. La mayoría de las progenies fueron superiores al cv. Planaltina en su vigor inicial. Se seleccionaron 76 plantas (al

3. Godoy, R. Comunicación personal.

parecer, de siete progenies de polinización abierta seleccionadas) y se propagaron vegetativamente; estas plantas debían someterse a una nueva evaluación a finales de 1985. Se han planeado varios ciclos de selección recurrente donde se obtendrán estimativos de las heredabilidades y de otros parámetros genéticos en las selecciones mencionadas.

## Conclusiones

Hay pruebas abundantes de la amplia variación genética contenida en el *A. gayanus* tetraploide. Aparentemente, la variación adicional que ofrecen especies diploides relacionadas es accesible al fitomejorador de *A. gayanus*. Toda esta variabilidad genética, habida cuenta de la reproducción alógama de *A. gayanus*, sugiere que se logrará fácilmente la modificación genética de las poblaciones de esa gramínea mediante procedimientos sencillos de selección.

Sin embargo, un proyecto exitoso de mejoramiento genético de forrajes no puede medirse únicamente por la creación de nuevos genotipos de plantas. Tratándose de especies forrajeras, el resultado de un proyecto exitoso de mejoramiento genético debe contribuir al mejoramiento del desempeño animal en las fincas. Al parecer, las principales limitaciones de un proyecto exitoso de mejoramiento de *A. gayanus* radican en la ausencia tanto de una definición rigurosa de los criterios de selección apropiados, como del diseño de procedimientos efectivos de evaluación.

## Resumen

El comportamiento reproductivo alógamo de *Andropogon gayanus* y la existencia, ya demostrada, de la amplia variación genética de varios de sus caracteres agronómicos sugieren que en esta especie hay un potencial notable para la manipulación genética. En este capítulo se consideran los objetivos posibles de mejoramiento de la especie y se discuten los métodos apropiados para lograrlos. Se describen brevemente tres proyectos de

mejoramiento de *A. gayanus* que se están realizando. Aparentemente, la mayor limitación de un programa exitoso de mejoramiento de esta gramínea radica tanto en la ausencia de una definición clara de los objetivos importantes de ese mejoramiento, como en el escaso desarrollo de una metodología sencilla, eficaz, y confiable para obtenerlos.

## Referencias


Böhnert, E.; Lascano, C. y Weniger, J. H. 1986. Botanical and chemical composition by fistulated steers under grazing on improved grass-legume pastures in the tropical savannas of Colombia; II: chemical composition of forage available and selected. Tier. Züchtungsbiol. 103(1):69-70.

Bray, R. A. y Hutton, E. M. 1976. Plant breeding and genetics. En: Shaw, N. H. y Bryan, W. W. (eds.). Tropical pasture research, principles and methods. Bulletin 51. Commonwealth Agricultural Bureaux, Hurley, Inglaterra. p. 338-353.

Cardona, J. O. 1982. Variación genética y relaciones entre componentes de rendimiento y calidad de semilla en *Andropogon gayanus* Kunth. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. 57 p.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Informe annual del Programa de Pastos Tropicales, 1980. Cali, Colombia. 138 p.

———. 1982. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1981. Cali, Colombia. 302 p.

———. 1985. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1984. Cali, Colombia. 274 p.

———. 1986. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1985. Cali, Colombia. 408 p.

———. 1987. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1986. Cali, Colombia. 344 p.

England, F. 1975. Heritabilities and genetic correlations for yield in Italian ryegrass *(Lolium multiflorum* Lam.) grown at different densities. J. Agric. Sci. 84:153-158.

Foster, W. H. 1962. Investigations preliminary to the production of cultivars of *Andropogon gayanus.* Euphytica 11:47-52.

Grof, B. 1986. Selection of the components of a synthetic variety of *Andropogon gayanus*. J. Agric. Sci. 106:629-633.

Guzmán, S. 1983. Evaluación de la calidad forrajera de tres genotipos de *Andropogon gayanus* Kunth. Tesis (M.S.). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago. 77 p.

Haggar, R. J. y Ahmed, M. B. 1971. Seasonal production of *Andropogon gayanus;* 3: changes in crude protein content and in vitro dry matter digestibility of leaf and stem portions. J. Agric. Sci. 77:47-52.

Hutton, E. M. 1968. Australia's pasture legumes. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 34:203-218.

Monniaux, G. 1978. Structure génétique des populations naturelles d'*Andropogon gayanus* Kunth au Sénégal. Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM), Dakar, Senegal. 103 p.

Okoli, B. E. y Olorode, O. 1981. Hybridization in *Andropogon gayanus-A. tectorum* (Gramineae) complex: potential for pasture improvement. En: Smith, J. A. y Hays, V. W. (eds.). Fourteenth International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, E.U., junio 1981. Memorias. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 54.

Ortiz, M. C. 1987. Evaluación bajo pastoreo de la productividad animal en genotipos de *Andropogon gayanus* Kunth. Tesis. Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. 92 p.

Rodríguez, J. C. 1985. Evaluación bajo pastoreo de la calidad nutritiva de genotipos de *Andropogon gayanus* Kunth. Tesis (Universidad de Costa Rica). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 114 p.

Sedcole, J. R. y Clements, R. J. 1973. Studies on genotype x spacing interactions for herbage yield, using a modified diallel analysis. J. Agric. Sci. 80:97-104.

Simmonds, N. W. 1979. Principles of crop improvement. Longman Group, Nueva York. p. 142-145.

Walker, J. L. 1983. Introduction. En: Burt, R. L. (ed.). The role of *Centrosema, Desmodium,* and *Stylosanthes* in improving tropical pastures. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 3-4.

# RANGO DE ADAPTACION DE *ANDROPOGON GAYANUS*

María C. Amézquita, Esteban A. Pizarro, y José M. Toledo*

## Antecedentes

En 1979, el Programa de Pastos Tropicales del CIAT, en colaboración con varias instituciones nacionales, estableció la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) para evaluar sistemáticamente gramíneas y leguminosas forrajeras del trópico americano. La RIEPT ha evaluado un amplio rango de materiales por su adaptación al medio y por su capacidad de producción de biomasa, en ensayos multilocacionales distribuidos en los ecosistemas mayores de ese trópico. Estos ecosistemas se denominan sabana bien drenada isotérmica, sabana bien drenada isohipertérmica, sabana mal drenada, bosque tropical lluviso, y bosque tropical estacional (Cochrane et al., 1985).

De las 103 accesiones del género *Andropogon* disponibles en el banco de germoplasma del CIAT,[1] 11 pertenecientes a la especie *gayanus* var. *bisquamulatus* han sido sometidas a evaluación de adaptación en la RIEPT, y en 4 de éstas se ha estudiado su capacidad de producción de biomasa en ensayos agronómicos bajo corte de tipo multilocacional. El Cuadro 1 presenta los niveles de producción de biomasa de estas cuatro accesiones en el trópico americano; el Cuadro 2 muestra las evaluaciones hechas respecto a la adaptación de *A. gayanus* y los rangos de producción de biomasa de esa gramínea en Asia, Africa y Oceanía.

---

* Jefe de Biometría en la Unidad de Servicio de Datos, agrónomo en la sección de Ensayos Regionales del Programa de Pastos Tropicales, y agrónomo de pasturas y coordinador del mismo Programa, respectivamente, CIAT, Cali, Colombia.

1. Schultze-Kraft, R. Comunicación personal.

Cuadro 1. Producción de biomasa (MS) de algunas accesiones de *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus*, en el trópico americano.

| Accesión | MS producida[a] (kg/ha) | | Localidades (no.) |
|---|---|---|---|
| | Prec. min. | Prec. max. | |
| *A. gayanus* CIAT 621 | 2937±2881[b] | 6211±1601[b] | 77 |
| *A. gayanus* CIAT 6053 | 691—5645[c] | 1012—9536[c] | 4 |
| *A. gayanus* CIAT 6054 | 1741—6295[c] | 5680—9200[c] | 2 |
| *A. gayanus* CIAT 6200 | 2790±2400[b] | 2965±1701[b] | 8 |

a. En 12 semanas de rebrote; Prec. = precipitación; min. = mínima; max. = máxima.
b. Promedio y desviación estándar de la producción observada.
c. Rango de producción observado.

FUENTE: CIAT, 1983; 1986.

La accesión *Andropogon gayanus* CIAT 621, en particular, ha demostrado el más alto potencial de producción en los suelos de baja fertilidad y de alta saturación de aluminio, buen comportamiento durante el período seco, facilidad de asociación con las leguminosas forrajeras, y resistencia a plagas y enfermedades. Hoy en día ha sido liberada comercialmente en varios países de América tropical (ver el capítulo 'Liberación de *Andropogon gayanus* y...' por Seré y Ferguson).

El Cuadro 3 presenta datos del grado de adaptación al medio ambiente y de la capacidad de producción de materia seca de *A. gayanus* CIAT 621, tanto en la época de máxima como en la de mínima precipitación, en varias localidades de América tropical. Esa información indica que *A. gayanus* CIAT 621 se adapta bien a una gran diversidad de localidades de América tropical, ya que en el 93% de los sitios experimentales su grado de adaptación se consideró 'excelente' o 'bueno'. Sin embargo, su capacidad de producción de biomasa es muy variable, oscilando entre 53 y 21,453 kg/ha de materia seca, a las 12 semanas del rebrote durante la época de máxima precipitación, y de 0 a 17,006 kg/ha de materia seca a las 12 semanas del rebrote en la época de mínima precipitación.

Cuadro 2. Evaluaciones de la adaptación y del rango de productividad de *A. gayanus* observados en localidades de Asia, Africa y Oceanía.

| País | Fuente | Grado de adaptación | Rendimiento de MS (kg/ha) |
|---|---|---|---|
| Australia | McIvor, J. G. et al., 1982 | Bueno | — |
| | Anning, P., 1982 | — | 5,000 |
| | Fisher, M. J., 1971 | — | 2,146-6,356 |
| | Ralph, W., 1983 | Regular | — |
| | Reid, P. A. y Miller, I. C., 1970 | — | 4,480 |
| Ghana | Kannegieter, A., 1966 | | 3,270-3,490 |
| | Tetteh, A., 1976 | — | 7,253 |
| India | Singh, R. D. y Chatterjee, B. N. 1968a y 1968b | — | 1,000-15,000 |
| | Singh, R. D. et al., 1972 | — | 18,000 |
| | Prasad, L. K. y Prasad, N. K., 1977 | — | 2,298 |
| | Chatterjee, B. N., 1964 | — | 5,740-6,600 |
| Indonesia | Thompson, J. R. y Evensen, C. L. I. En: CIAT, 1986. | — | 3,921 |
| Nigeria | Rains, A. B., 1959 | — | 13,646 |
| | Foster, W. H. y Mundy, E. J., 1961 | Bueno | 6,000 |
| Senegal | Nourrisat, P., 1966 | Bueno | — |

Cuadro 3. Evaluación de introducciones de *A. gayanus* por su producción de materia seca (MS) en el trópico americano.

| País | Localidad[a] | Investigador[b] | Producción promedio de MS (kg/ha)[c] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Precipitación mínima | Precipitación máxima |
| Argentina | Corrientes | E. M. Ciotti de Marín | — | — |
| Bolivia | Valle del Sacta | J. H. Espinoza | 1520 | 11052 |
| | Chipirire | F. Saavedra | 4079 | 5818 |
| | Yapacaní | G. Vega y O. Velasco | — | 4281 |
| Brasil | Pará | M. B. Dias Filho y E. A. S. Serrão | — | — |
| | Goiás | E. B. García | — | — |
| | Bahía | M. Moreno y J. M. Pereira | 3018 | 6071 |
| | Bahía | J. M. Pereira y M. Moreno | 3275 | 8748 |
| | Ouro Preto | C. A. Gonçalves | — | — |
| | Porto Velho | C. A. Gonçalves | — | — |
| | Vilhena | C. A. Gonçalves y C. M. C. da Rocha | 380 | 10050 |
| | Porto Seguro | M. Moreno et al. | — | — |
| | Porto Seguro | J. M. Pereira et al. | — | — |
| Colombia | Florencia, BH23 (Magangué) | A. Acosta y P. A. Cuesta | — | — |
| | Puerto Gaitán, BH02 (El Paraíso) | L. H. Franco y A. Gómez-Carabaly | 290 | 3418 |
| | Caucasia | L. A. Giraldo et al. | 3413 | 8888 |
| | Orocué | A. Gómez-Carabaly y C. E. Castilla | 600 | 3462 |
| | Carimagua | R. Gualdrón et al. | 1712 | 2380 |
| | Puerto Asís | D. Orozco | 1192 | — |
| | Leticia | J. M. Toledo et al. | — | — |

(Continúa)

Cuadro 3. Continuación.

| País | Localidad[a] | Investigador[b] | Producción promedio de MS (kg/ha)[c] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Precipitación mínima | Precipitación máxima |
| Colombia | Orocué | J. M. Toledo et al. | — | — |
| | SBDH (diversos sitios) | J. M. Toledo et al. | 3801 | 7413 |
| | Puerto López | J. M. Toledo et al. | 154 | 504 |
| | Quilichao | J. M. Toledo et al. | 5892 | 7124 |
| | Florencia | R. Angulo y G. Collazos | 4821 | 4306 |
| | Florencia | A. Acosta | — | — |
| | Villavicencio | P. A. Cuesta | — | 10610 |
| | Chiriguaná, BH27 (Los Cerezos) | J. A. Barros | 91 | 4583 |
| | Puerto López | L. H. Franco et al. | 1668 | 1494 |
| | San Roque (El Nus) | F. Báez | 5875 | 21453 |
| | Puerto López, BH04 (El Viento) | L. H. Franco et al. | 216 | 469 |
| | Villavicencio | L. H. Franco et al. | 1688 | 2073 |
| | Amalfi | L. A. Giraldo et al. | 1063 | 2264 |
| | Puerto Gaitán, BH03 (Guayabal) | B. Grof | 154 | — |
| | Mutatá | A. Mila y H. Restrepo | 1844 | 7225 |
| | Puerto López | E. A. Pizarro et al. | 601 | 2253 |
| | Leticia, BL14 | E. A. Pizarro et al. | 5373 | 3940 |
| | Quilichao, BE21-III | E. A. Pizarro et al. | 2037 | 11215 |
| | Chinchiná, BE19 (La Romelia) | S. Suárez et al. | 17006 | 13078 |
| | Venecia, BE45 (El Rosario) | S. Suárez y H. Marín | 2056 | 3678 |
| | Gigante, BE29 | S. Suárez y G. Chavarro | 8002 | 10813 |
| | Buenavista | S. Suárez y L. O. Arias | — | 8115 |
| | Supía, BE28 | S. Suárez y L. F. Machado | — | 7521 |

(Continúa)

Cuadro 3. Continuación.

| País | Localidad[a] | Investigador[b] | Producción promedio de MS (kg/ha)[c] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Precipitación mínima | Precipitación máxima |
| Costa Rica | Cartago | R. Borel | — | — |
| | Guanacaste, BL20 (Hojancha) | J. Gómez y R. de Lucía | 4363 | 3685 |
| | San José | V. Prado | 2476 | 2633 |
| | Guápiles | B. Sánchez y G. Guevara | — | — |
| Cuba | Isla Juventud, BE18 | A. Gutiérrez y D. Delgado | 2769 | 2373 |
| | Las Tunas | A. Gutiérrez et al. | — | 10040 |
| Ecuador | Pastaza (El Puyo) | M. T. Freire | 7640 | 8718 |
| | Napo | K. Muñoz | 126 | 5386 |
| Estados Unidos | Hawaii | S. Whitney | 6529 | 1631 |
| Guyana | Moblissa | C. Wickham y P. Osuji | — | — |
| | Moblissa | C. Wickham y P. Osuji | — | — |
| Honduras | La Ceiba | G. Valle | — | — |
| Jamaica | Manchester | D. S. McLeod | — | — |
| México | Jalapa, BL36 | H. S. Amaya | 7005 | 7567 |
| | Arriaga | A. Cigarroa y J. Palomo | 255 | 7557 |

(Continúa)

Cuadro 3. Continuación.

| País | Localidad[a] | Investigador[b] | Producción promedio de MS (kg/ha)[c] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Precipitación mínima | Precipitación máxima |
| México | Pijijiapan | A. Cigarroa y J. Palomo | — | 13405 |
| | Tonalá | A. Cigarroa y J. Palomo | 332 | 12225 |
| | Isla Veracruz | J. F. Enríquez | 880 | 4485 |
| | Loma Bonita | J. F. Enríquez | 4260 | 14803 |
| | Huimanguillo | J. I. López-N. | 4589 | 5573 |
| | Sabinas | J. I. López-N. | — | 14800 |
| | La Huerta, BE46 | H. Regla | — | 2720 |
| Nicaragua | Nueva Guinea | C. Avalos y A. Castro | 8567 | 14707 |
| | El Recreo | A. Castro y A. Cruz-M. | 1912 | 16852 |
| | Puerto Cabezas | O. Miranda | — | — |
| Panamá | Veraguas | M. A. Avila | — | 1618 |
| | Ciudad de Panamá | J. Quintero y M. Rodríguez | — | 10400 |
| | Veraguas | H. Aranda y M. Pinilla | — | — |
| | Veraguas | E. Arosemena et al. | — | — |
| | Los Santos | O. Duque y E. Vargas | — | 5818 |
| Paraguay | Barrerito | P. Valinotti | 2010 | 2631 |
| | Eusebio Ayala | P. Valinotti y O. Molas | — | — |
| Perú | Yurimaguas-I | M. A. Ara y R. Schaus | 4417 | 2893 |
| | Tarapoto (COPERHOLTA-I) | W. López et al. | 1829 | 4010 |

(Continúa)

Cuadro 3. Continuación.

| País | Localidad[a] | Investigador[b] | Producción promedio de MS (kg/ha)[c] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Precipitación mínima | Precipitación máxima |
| Perú | Tarapoto (ESEP-I) | W. López y G. Silva | 2721 | 8875 |
| | Pucallpa-I | H. Ordóñez y C. Reyes | 1086 | — |
| | Pucallpa-II, BE17 | L. Pinedo y C. Reyes | 3922 | 53 |
| | Tarapoto (Porvenir-I) | G. Silva y W. López | 834 | 1416 |
| | Yurimaguas-II | M. A. Ara y R. Schaus | 6203 | 3130 |
| | Tingo María, BL19 (Pumahuasi) | E. Cárdenas | 3503 | 8365 |
| | Puerto Maldonado, BL15 | R. Chumbimune y K. Reátegui | 3883 | 12129 |
| | Tingo María, BL20 (La Morada) | H. Ibazeta y K. Reátegui | 7300 | 7420 |
| | Tarapoto (ESEP-II) | W. López et al. | 2000 | 2813 |
| | Moyobamba | E. Palacios y R. Díaz | 2848 | — |
| | Puerto Bermúdez | K. Reátegui | — | 2495 |
| | Pucallpa | C. Reyes y H. Ordóñez | 2830 | 7600 |
| | Tarapoto (COPERHOLTA-II) | J. G. Silva et al. | 80 | 100 |
| | Tarapoto | J. G. Silva y W. López | 1863 | 10286 |
| | Tarapoto | J. G. Silva | 2262 | 2813 |
| República Dominicana | Sabana de la Mar | M. Germán | 674 | 4495 |
| | Distrito Nacional, BE26 (Pedro Brand) | M. Germán | 1643 | 7113 |
| | Distrito Nacional, BE27 (Haras Nacionales) | M. Germán | 88 | 96 |
| Trinidad | Centeno | N. K. Persad | 99 | 90 |

(Continúa)

Cuadro 3. Continuación.

| País | Localidad[a] | Investigador[b] | Producción promedio de MS (kg/ha)[c] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Precipitación mínima | Precipitación máxima |
| Venezuela | Miranda | P. J. Arias et al. | — | 1967 |
| | Espino | L. A. Barreto | 10 | 100 |
| | El Tigre | D. M. Sanabria y S. González | 82 | 85 |
| | Miranda | D. M. Sanabria y S. González | 755 | 2393 |
| | Mantecal | G. R. Torres | — | 1590 |

a. Los nombres de fincas van entre paréntesis; los experimentos han sido identificados por la Unidad de Servicio de Datos del CIAT con códigos como BH03, en los cuales la primera letra indica el tipo de ensayo, la segunda, el tipo de ecosistema según la clasificación de Cochrane et al., 1985, y los dos dígitos, el número de serie que recibía el ensayo; ESEP = Escuela Superior de Educación Profesional, Tarapoto, Perú; COPERHOLTA = Cooperación Holandesa en Tarapoto; SBDH = sabana bien drenada isohipertérmica. Los números romanos indican el número de ensayos hechos en un sitio.

b. Los investigadores publicaron los resultados de sus experimentos en CIAT, 1983 y en CIAT, 1986.

c. A las 12 semanas después del rebrote.

## Objetivos del Estudio

Partiendo de las características antes mencionadas (amplio rango de adaptación y producción de biomasa muy variable) se hizo un análisis que identificara, en las sabanas y bosques tropicales de América, grupos de ambientes homogéneos respecto al comportamiento de la planta. Una vez identificados esos grupos, se intenta explicarlos mediante las condiciones de suelo y clima que los caractericen.

## Materiales y Metodología para el Análisis

### Fuente de información

Los datos utilizados en este estudio provienen de 48 de los ensayos de producción de forraje en condiciones de corte (ensayos regionales B) de la RIEPT, en los cuales *Andropogon gayanus* CIAT 621 fue uno de los materiales evaluados. Para este estudio se seleccionaron ensayos hechos en la región comprendida entre México y Paraguay, donde la latitud varía entre 19° N y 26° S, la altitud entre 12 y 1500 m, la temperatura promedio entre 18.8 y 28.6 °C, la precipitación media anual entre 957 y 4775 mm, y donde las condiciones de fertilidad son muy diversas (Cuadro 4).

En estos ensayos se observó el comportamiento agronómico de *A. gayanus* durante un período de establecimiento de 12 semanas en que se midió el porcentaje de suelo cubierto por el pasto y la altura de las plantas. Una vez establecido el pasto, se evaluó su potencial de producción de materia seca en cortes hechos a las edades de 3, 6, 9 y 12 semanas después del corte de uniformidad, y en dos épocas: de máxima y de mínima precipitación (Toledo y Schultze-Kraft, 1982). Además de los datos agronómicos sobre el comportamiento de la planta, se disponía de la siguiente información sobre el suelo: porcentajes de arena, limo, y arcilla; pH; porcentaje de materia orgánica; contenido de P, Ca, Mg, K, Na, y Al; porcentaje de saturación de Al; y contenido de S. Se disponía también de datos del clima como precipitación diaria durante el período de producción de 12 semanas, tanto en la

Cuadro 4. Ubicación, clima y suelo de las localidades donde se evaluó el pasto *A. gayanus*.

| Localidad e (institución)[a] | Ubicación | | Clima | | Suelo[b] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Latitud | Altitud (m) | Temp. (°C) | Lluvia (mm/año) | Arena (%) | Arcilla (%) | pH | P (ppm) | Sat. Al (%) | Cationes interc. (meq/100 g) Ca | Mg | K |
| Bolivia | | | | | | | | | | | | |
| Chipirire (IBTA) | 16°50'S | 250 | 23.7 | 4668 | 59 | 10 | 5.1 | 4.3 | 74.70 | 0.41 | 0.41 | 0.18 |
| Valle del Sacta (UMSS) | 17°12'S | 260 | 25.0 | 1881 | 5 | 52 | 4.8 | 0.6 | 73.80 | 0.41 | 0.21 | 0.24 |
| Brasil | | | | | | | | | | | | |
| Barrolandia (CEPLAC) | 16°23'S | — | 26.5 | 1440 | 72 | 19 | 5.3 | 1.0 | 22.80 | 0.70 | 0.15 | 0.05 |
| Macapá (UEPAE) | 0°5'S | — | 26.7 | 1732 | 70 | 27 | 4.8 | 0.7 | 78.65 | 0.09 | 0.19 | 0.01 |
| Colombia | | | | | | | | | | | | |
| Caucasia (UDEA) | 8°0N | 50 | 28.0 | 2500 | 42 | 36 | 4.5 | 1.0 | 58.75 | 1.40 | 0.41 | 0.06 |
| Carimagua (CIAT) | 4°37'N | 200 | 26.1 | 2181 | 12 | 39 | 4.1 | 1.0 | 88.25 | 0.27 | 0.07 | 0.09 |
| El Viento (CIAT) | 4°7'N | 200 | 26.0 | 2281 | 40 | 45 | 4.6 | 0.9 | 88.80 | 0.13 | 0.02 | 0.05 |
| El Paraíso (CIAT) | 6°20'N | 120 | 26.0 | 2355 | 20 | 54 | 4.3 | 1.3 | 88.25 | 0.17 | 0.04 | 0.15 |
| El Nus (ICA) | 6°29'N | 835 | 23.0 | 2200 | 50 | 31 | 5.0 | 3.2 | 11.50 | 2.17 | 0.68 | 0.21 |
| El Guayabal (CIAT) | 4°20'N | 120 | 26.0 | 2355 | 50 | 25 | 4.5 | 2.1 | 84.70 | 0.16 | 0.03 | 0.08 |
| Gigante (CENICAFE) | 2°22'N | 1500 | 19.4 | 1189 | 43 | 37 | 5.2 | 5.5 | 25.80 | 2.10 | 0.80 | 0.23 |
| La Libertad (ICA) | 4°4'N | 336 | 25.3 | 2357 | 20 | 49 | 4.2 | 2.5 | 76.95 | 1.00 | 0.09 | 0.12 |
| La Laguna (SEA) | 6°54'N | 1500 | 18.8 | 2467 | 20 | 42 | 5.0 | 4.8 | 85.25 | 2.10 | 0.14 | 0.12 |
| Leticia (CIAT) | 4°9'S | 84 | 26.0 | 2820 | 34 | 33 | 4.4 | 2.2 | 91.70 | 0.18 | 0.13 | 0.12 |
| Mutatá (ICA) | 7°0'N | 132 | 26.0 | 4775 | 20 | 63 | 5.1 | 5.1 | 72.30 | 3.08 | 0.52 | 0.14 |
| Puerto Asís (F.G.P.) | 0°30'N | 384 | 25.0 | 3800 | — | — | 5.0 | 2.1 | 67.00 | 0.83 | 0.40 | 0.18 |
| Paraguaicito (CENICAFE) | 4°24'N | 1250 | 21.2 | 1975 | 59 | 13 | 5.8 | 45.0 | 0.00 | 7.10 | 1.20 | 0.82 |
| Quilichao (CIAT) | 3°6'N | 990 | 24.0 | 1800 | 18 | 67 | 3.9 | 4.0 | 84.50 | 0.48 | 0.15 | 0.11 |
| Supía (CENICAFE) | 5°28'N | 1320 | 20.6 | 2253 | 44 | 35 | 5.0 | — | 32.00 | 2.00 | 1.30 | 0.23 |

(Continúa)

Cuadro 4. Continuación.

| Localidad e (institución)[a] | Ubicación | | Clima | | Suelo[b] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Latitud | Altitud (m) | Temp. (°C) | Lluvia (mm/año) | Arena (%) | Arcilla (%) | pH | P (ppm) | Sat. Al (%) | Cationes interc. (meq/100 g) Ca | Mg | K |
| Costa Rica | | | | | | | | | | | | |
| Hojancha (MINAG/CORECA) | 10°01'N | 420 | 24.2 | 2098 | 37 | 31 | 6.2 | 1.5 | 0.60 | 22.04 | 5.47 | 1.87 |
| San Isidro (MINAG) | 9°22'N | 703 | 27.5 | 2954 | 34 | 29 | 5.2 | 5.0 | 49.20 | 0.50 | 0.30 | 0.18 |
| Cuba | | | | | | | | | | | | |
| Isla Juventud (MINAG) | 21°28'N | 20 | 25.3 | 1505 | 76 | 17 | 4.5 | 29.4 | — | 0.73 | 0.22 | 0.15 |
| Ecuador | | | | | | | | | | | | |
| Coca (INIAP) | 0°21'S | 249 | — | 3113 | — | — | 4.9 | — | 85.60 | 0.63 | 0.21 | 0.25 |
| El Napo (INIAP) | 0°21'S | 266 | 25.4 | 3113 | 23 | 52 | 4.4 | 2.5 | 85.60 | 0.63 | 0.21 | 0.21 |
| El Puyo (ESPOCH) | 1°31'S | 900 | 21.0 | 4100 | 60 | 18 | 4.8 | 2.0 | 36.10 | 1.58 | 0.27 | 0.18 |
| México | | | | | | | | | | | | |
| Destierro (INIFAP) | 17°51'N | 30 | 26.0 | 2200 | 71 | 9 | 4.8 | 5.7 | 67.20 | 0.18 | 0.08 | 0.10 |
| Isla Veracruz (INIFAP) | 18°6'N | 50 | 25.7 | 996 | 62 | 9 | 4.8 | — | — | 0.98 | 0.08 | 0.11 |
| Jalapa (INIFAP) | 17°50'N | 40 | 26.0 | 2500 | 65 | 19 | 4.8 | — | 46.05 | 3.72 | 0.51 | 0.09 |
| Jericó (INIFAP) | 15°3'N | 70 | 26.7 | 2345 | 57 | 10 | 5.5 | 41.1 | — | — | — | — |
| Loma Bonita (INIFAP) | 18°6'N | 25 | 24.7 | 1845 | 70 | 8 | 4.0 | 20.0 | — | 0.65 | 0.08 | 0.11 |
| Tonalá (INIFAP) | 15°9'N | 40 | 27.0 | 1600 | 65 | 12 | 5.6 | 7.3 | — | — | — | — |
| Nicaragua | | | | | | | | | | | | |
| El Recreo (MIDINRA) | 12°10'N | 30 | 25.0 | 3159 | 24 | 37 | 4.3 | 6.0 | 33.90 | 4.20 | 2.60 | 0.32 |
| Mateare (MIDINRA) | 12°17'N | — | 28.6 | 957 | 44 | 18 | 6.9 | — | — | 0.50 | 6.30 | 1.92 |
| Matiguás (MIDINRA) | 12°50'N | — | 24.5 | 1291 | 33 | 30 | 5.9 | — | 4.60 | 1.50 | 5.76 | 0.72 |
| Nueva Guinea (MIDINRA) | 11°41'N | 150 | 24.5 | 2536 | 3 | 58 | 4.4 | — | 21.00 | 2.00 | 1.88 | 0.42 |

(Continúa)

Cuadro 4. Continuación.

| Localidad e (institución)[a] | Ubicación | | Clima | | Suelo[b] | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Latitud | Altitud (m) | Temp. (°C) | Lluvia (mm/año) | Arena (%) | Arcilla (%) | pH | P (ppm) | Sat. Al (%) | Cationes interc. (meq/100 g) Ca | Mg | K |
| Panamá | | | | | | | | | | | | |
| El Chepo (UP) | 9°8'N | 30 | 26.6 | 2089 | 36 | 31 | 4.4 | 1.3 | 55.70 | 0.14 | 0.13 | 0.13 |
| Paraguay | | | | | | | | | | | | |
| Caapucú (PRONIEGA/MAG) | 26°S | 125 | 21.6 | 1498 | 54 | 19 | 5.4 | 2.5 | 42.30 | 3.25 | 3.25 | 0.06 |
| Perú | | | | | | | | | | | | |
| Puerto Bermúdez (INIPA/PEPP/NCSU) | 10°18'S | 300 | 26.0 | 3312 | — | — | 4.2 | 7.4 | 78.00 | 1.05 | — | 0.09 |
| P. Maldonado (INIPA/CIPA) | 12°35'S | 310 | 26.6 | 1230 | 50 | 30 | 4.9 | 2.5 | 65.35 | 0.70 | 0.40 | 0.10 |
| Tarapoto, COPERHOLTA (INIPA/CIPA X) | 6°31'S | 310 | 26.6 | 1230 | 68 | 20 | 4.4 | 3.2 | 85.30 | 0.30 | 0.05 | 0.08 |
| Tarapoto, Porvenir (INIPA/CIPA X) | 6°32'S | 460 | 26.0 | 1200 | 73 | 17 | 4.6 | 4.4 | 88.30 | 0.20 | 0.05 | 0.06 |
| Yurimaguas (INIPA/NCSU) | 5°56'S | 184 | 26.0 | 2376 | 66 | 11 | 4.5 | 6.8 | 67.00 | 0.72 | 0.35 | 0.16 |
| Pucallpa | 8°80'S | 175 | | | 35 | 38 | 4.3 | 1.5 | 31.00 | 1.10 | 0.90 | 0.07 |
| República Dominicana | | | | | | | | | | | | |
| El Valle Seybo (CENIP/SEA) | 19°3'N | 20 | 25.0 | 2034 | 34 | 31 | 4.5 | 1.0 | 21.50 | 1.40 | 0.52 | 0.17 |
| Haras Nacionales (CENIP/SEA) | 18°35'N | 12 | 26.0 | 1774 | 19 | 63 | 4.5 | 0.2 | 16.70 | 4.15 | 8.75 | 0.10 |
| Pedro Brand (CENIP/SEA) | 18°40'N | 50 | 25.5 | 1866 | 52 | 46 | 5.1 | 4.7 | 6.9 | 0.35 | 0.09 | 0.13 |
| Venezuela | | | | | | | | | | | | |
| Atapirire (FONAIAP) | 8°25'N | 140 | 26.2 | 1975 | 91 | 6 | 4.9 | 1.2 | 54.30 | 0.46 | 0.02 | 0.03 |
| Espino (FONAIAP) | 8°48'N | 175 | 26.3 | 1100 | 35 | 28 | 4.3 | 1.5 | 31.00 | 1.10 | 0.90 | 0.07 |
| Guachi (LUZ) | 9°10'N | 50 | 28.0 | 2743 | 56 | 20 | 4.6 | 2.5 | 53.00 | 1.60 | 0.20 | 0.15 |

a. Ver 'Acrónimos y abreviaturas', al comienzo de esta obra.

b. Sat. = saturación; interc. = intercambiables.

época de máxima como en la de mínima precipitación; y temperatura máxima, mínima y media por día durante los dos períodos de producción; finalmente, se conocía la localización geográfica (altura, latitud y longitud) de cada sitio de evaluación.

## Parámetros de comportamiento de *A. gayanus* empleados en el análisis

Partiendo de la información experimental obtenida en los ensayos mencionados, se definieron algunos parámetros de comportamiento de *A. gayanus* CIAT 621 que resumen su rapidez de establecimiento, su potencial de producción de materia seca, y su tolerancia a las enfermedades y plagas, en cada una de las localidades donde se evaluó la gramínea. Estos parámetros son:

- Porcentaje de suelo cubierto por la planta 12 semanas después de la siembra.

- Altura de la planta a las 12 semanas después de la siembra.

- Tasa máxima de producción de materia seca tanto en la época de máxima como en la época de mínima precipitación. Estas tasas se calcularon como kg de MS por semana, producidos desde el corte de uniformidad hasta la edad en que la planta mostró su máxima producción. Para estimar estas tasas, se emplearon los ajustes de las curvas de producción de materia seca de *A. gayanus* en cada localidad.

- Indice de tolerancia a las enfermedades. Se consideró que la única enfermedad de importancia para *A. gayanus* era *Rhynchosporium* sp., cuyos síntomas se manifiestan como manchas de color naranja o marrón en el tallo, en las hojas o en ambos. El índice de tolerancia a esta enfermedad se expresó como la máxima calificación de daño (en una escala de 0 a 4) alcanzada por la planta en el período de producción tanto en la época de mínima precipitación como en la de máxima precipitación (Lenné, 1982).

- Indice de tolerancia a los insectos. Se consideró que el daño causado por salivita (o salivazo) era el de mayor importancia

para *A. gayanus*. El índice de tolerancia a este insecto se estimó siguiendo la misma metodología empleada para el índice de tolerancia antes mencionado, esto es, como la máxima calificación de daño (en una escala de 0 a 4) alcanzada por la planta en cada época estacional (Calderón, 1982).

## Parámetros de caracterización del ambiente empleados en el análisis

Se calculó la matriz de coeficientes de correlación de Pearson (Cuadro 5) entre las variables originales del suelo, es decir, porcentajes de arena, limo, y arcilla; pH; contenido de P, Ca, Mg y K; y porcentaje de saturación de Al. Dada la alta correlación observada entre algunas de estas variables, se procedió a reducir su número mediante la técnica del Análisis de Componentes Principales, inicialmente desarrollada por Pearson (1901) y ampliada luego por Hotelling (1933). Esta técnica analítica produce un conjunto menor de variables que son combinaciones lineales de las originales, y que explican una alta proporción de la varianza presente en el conjunto original de variables. Estos nuevos descriptores del suelo —los Componentes Principales de las variables del suelo— que son combinaciones lineales de las variables originales del suelo previamente estandarizadas, constituyen el primer grupo de parámetros de caracterización del ambiente empleados en el análisis. El empleo de la técnica de los Componentes Principales, como método de reducción de variables ambientales, se ha comunicado en la literatura; Perkins (1972), por ejemplo, informa del uso de los Componentes Principales en un estudio de la interacción genotipo x ambiente; J.G. Patterson y otros investigadores utilizaron esta técnica en 1978 para estimar la variabilidad climática de una región de Australia occidental.

Adicionalmente, como descriptores de las condiciones climáticas del lugar, se emplearon un 'índice de disponibilidad de agua para la planta en el período de máxima precipitación' y un 'índice de disponibilidad de agua para la planta en el período de mínima precipitación', que representan el agua disponible para la planta entre el corte de uniformidad y la edad de máxima producción de materia seca. Estos índices se obtuvieron como

Cuadro 5. Coeficientes de correlación entre las variables del suelo (Sat. = saturación).

| Variable | Arena (%) | Limo (%) | Arcilla (%) | pH | P (ppm) | Cationes interc. (meq/100 g) | | | Sat. de Al |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Ca | Mg | K | |
| Arena (%) | 1.00 | -0.61* | -0.86* | 0.17 | 0.11 | -0.25** | -0.24** | -0.12 | -0.07 |
| Limo (%) | | 1.00 | 0.13 | 0.14 | 0.06 | 0.22 | 0.23 | 0.33** | -0.03 |
| Arcilla (%) | | | 1.00 | -0.27** | -0.18 | 0.22 | -0.17 | -0.07 | 0.11 |
| pH | | | | 1.00 | 0.14 | 0.10 | 0.35** | 0.69* | -0.50* |
| P (ppm) | | | | | 1.00 | 0.17 | -0.22 | 0.14 | -0.14 |
| Ca (meq/100 g) | | | | | | 1.00 | 0.56* | -0.02 | -0.56* |
| Mg (meq/100 g) | | | | | | | 1.00 | 0.51* | -0.44** |
| K (meq/100 g) | | | | | | | | 1.00 | -0.31** |
| Sat. de Al (%) | | | | | | | | | 1.00 |

* Correlación significativa ($0.01 < P \leq 0.05$).

** Correlación significativa ($P \leq 0.01$).

función de las siguientes variables: precipitación diaria en los dos períodos estacionales de observación, temperaturas máxima y mínima del sitio del ensayo durante los períodos de observación, y localización de éste en términos de su altura sobre el nivel del mar y de su latitud (Keig y McAlpine, 1974; Reddy, 1979; Jones, 1987).

## Identificación de Grupos de Ambientes

Este análisis comprendía dos pasos:

**Primer paso.** La identificación de grupos de ambientes similares respecto al comportamiento agronómico de *A. gayanus,* utilizando cuatro parámetros de comportamiento: el porcentaje de suelo cubierto por la planta, la altura de la planta durante el establecimiento, la tasa máxima de producción de materia seca en la época de máxima precipitación, y la tasa máxima de producción de materia seca en la época de mínima precipitación. No se incluyeron los índices de tolerancia de *A. gayanus* a *Rhynchosporium* sp. ni al insecto salivita porque se registraron rangos consistentemente bajos de calificación del daño de estas plagas en los distintos ambientes: el de *Rhynchosporium* se calificó de 0 a 0.14 (n = 41 localidades, escala de 0 a 4) y el de salivita de 0 a 0.16 (n = 41 localidades, escala de 0 a 4). Estas tasas de daño bajas reflejan el alto grado de resistencia de *A. gayanus* a esos factores bióticos.

La técnica empleada para clasificar los ambientes fue la del Análisis por Conglomerados (Cluster Analysis) según el método de Ward (Everitt, 1980; Hartigan, 1975)[2] en que el criterio de agrupamiento es minimizar la suma de cuadrados de las desviaciones entre los puntos que conforman un grupo y maximizar la distancia entre los grupos. Este método define la distancia entre dos grupos como la suma de cuadrados de las desviaciones que haya entre todas las posibles parejas de puntos ($P_i$, $P_j$) pertenecientes a dos grupos diferentes.

2. Ward's minimum variance hierarchical cluster analysis.

**Segundo paso.** Una vez obtenidos los grupos de ambientes homogéneos en términos del comportamiento agronómico de la gramínea, el análisis procedió a identificar cuáles de los descriptores ambientales antes descritos explicaban mejor las diferencias detectadas entre los grupos. Un descriptor ambiental se consideró un buen indicador de las diferencias entre grupos, cuando su varianza dentro de los grupos mostró ser significativamente menor que su varianza entre los grupos. Para probar esta hipótesis se realizaron análisis de varianza para cada descriptor ambiental utilizando el modelo expresado a continuación, y se empleó, para comparar varianzas, la prueba de F calculada como 'Cuadrado Medio de Grupo'/'Cuadrado Medio de Loc (Grupo)':

$$Y_{ij} = \mu + Grupo_i + Loc_j\,(Grupo_i) \qquad (1)$$

donde

$Y_{ij}$ = valor del descriptor ambiental en la localidad j del grupo i;

$\mu$ = media general del descriptor ambiental;

$Grupo_i$ = efecto del grupo i sobre el descriptor ambiental;

$Loc_j(Grupo_i)$ = efecto de la localidad j perteneciente al grupo i, sobre el descriptor ambiental.

Como el 'Cuadrado Medio de Grupo' [$CM_{grupo}$] es un estimador de la varianza entre grupos, y el 'Cuadrado Medio de Loc(Grupo)' [$CM_{Loc(Grupo)}$] es un estimador de la varianza existente entre las localidades pertenecientes a un mismo grupo, la prueba F expresada como

$$F = \frac{CM_{grupo}}{CM_{Loc(Grupo)}} \qquad (2)$$

permite probar la hipótesis de que la varianza del descriptor entre grupos es mayor que su varianza dentro de los grupos.

## Resultados y Discusión

Las correlaciones significativas observadas entre las variables del suelo (Cuadro 5) justifican la necesidad de reducir la dimensionalidad del problema empleando la técnica Análisis de Componentes Principales. Las correlaciones significativas encontradas son las siguientes: correlaciones negativas entre las variables referentes a la textura y a la fertilidad del suelo (el porcentaje de arena con los contenidos de Ca y Mg, así como el porcentaje de arena con el de limo, y el porcentaje de arena con el de arcilla). El nivel del pH está correlacionado negativamente con el porcentaje de arcilla y el porcentaje de saturación de Al, y positivamente con los contenidos de Mg y K del suelo. El contenido de Ca está positivamente correlacionado con el de Mg y negativamente con el porcentaje de saturación de Al. De modo semejante, el contenido de Mg está positivamente correlacionado con el de K y negativamente con el porcentaje de saturación de Al. Es normal esperar estas asociaciones de variables en suelos ácidos y de baja fertilidad como los considerados en este estudio.

El Análisis de Componentes Principales redujo el número de variables del suelo a tres componentes principales que explicaban un 71% de la varianza total de las variables originales. Su interpretación puede hacerse observando los coeficientes asociados con cada variable original en cada uno de los tres Componentes Principales (Cuadro 6). El primero de ellos, que explica un 31% de la varianza total, se interpreta como un 'índice general de fertilidad del suelo', caracterizado por coeficientes positivos altos para los valores de los cationes (Ca, Mg, K) y coeficientes negativos altos para la saturación de Al. El coeficiente positivo asociado con el pH indica la relación natural entre la mayor saturación de bases y la baja saturación de Al con aumentos en el nivel del pH.

El segundo Componente Principal, que explica un 25% de la varianza total de las variables originales, se interpreta como un 'índice de textura ligera y de menor acidez del suelo'. Está caracterizado por un alto coeficiente positivo para las partículas más gruesas (porcentaje de arena) y uno negativo para las partículas más finas (porcentaje de arcilla); el pH contribuye con

Cuadro 6. Reducción del número de variables del suelo mediante el Análisis de Componentes Principales.

| Variable original[a] | Coeficientes asociados con cada componente principal, C.P.[b] | | |
|---|---|---|---|
| | C.P. índice de fertilidad (31%) | C.P. índice de textura ligera y menor acidez (25%) | C.P. contenido de P y desajuste de relación Ca/K[c] (15%) |
| Arena | -0.27 | 0.56 | 0.06 |
| Limo | 0.32 | -0.23 | -0.14 |
| Arcilla | 0.15 | -0.56 | -0.04 |
| pH | 0.36 | 0.41 | -0.18 |
| P | -0.02 | 0.16 | 0.52 |
| Ca | 0.36 | -0.07 | 0.58 |
| Mg | 0.48 | 0.01 | -0.01 |
| K | 0.40 | 0.19 | -0.49 |
| Sat. Al | -0.39 | -0.28 | -0.31 |

a. Arena, limo, arcilla y saturación (Sat.) de Al, en porcentaje; P, en ppm; Ca, Mg y K, en meq/100 g de suelo.

b. Aparece entre paréntesis el porcentaje de varianza explicado por cada componente principal.

c. El término inglés 'imbalance' se traduce aquí como 'desajuste de la relación de equilibrio Ca/K'.

un coeficiente positivo alto. Por consiguiente, valores positivos de este segundo Componente Principal están asociados con suelos ligeros y de menor acidez relativa.

El tercer Componente Principal, que explica el 15% de la varianza total, se interpreta como un 'índice del contenido de P y del desajuste de la relación de equilibrio Ca/K' (Ca/K imbalance). Valores positivos de este índice están asociados con suelos cuyo nivel de P nativo es muy alto, y con el predominio relativo del Ca sobre el K de algunos suelos.

Resultan así del Análisis de Componentes Principales estos tres descriptores del suelo —combinaciones lineales de las variables originales del suelo previamente estandarizadas— que son, por consiguiente, variables normales estandarizadas cuya media es 0 y cuya desviación estándar es 1.

El agrupamiento de las localidades mediante el Análisis de Conglomerados (Cluster Analysis) produjo cinco grupos diferentes. El Cuadro 7 presenta las localidades incluídas en cada

Cuadro 7. Características de las localidades que fueron agrupadas por el análisis de conglomerados según la producción de MS y la precipitación.

| Grupo | Localidad | País | Tasa máxima de producción de MS (kg/ha por semana) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Máxima precipitación | Mínima precipitación |
| 1 | Caucasia | Colombia | 741 | 284 |
| | Pumahuasi | Perú | 697 | 291 |
| | Mateare | Nicaragua | 743 | 343 |
| | H. Nacionales | Rep. Dominicana | 712 | 115 |
| | El Recreo | Nicaragua | 763 | 119 |
| | El Espino | Venezuela | 720 | 0 |
| | Arriaga | México | 934 | 58 |
| | Promedio | | 759 | 173 |
| | Desviación estándar | | 80 | 132 |
| 2 | Pucallpa | Perú | 602 | 773 |
| | Pedro Brand | Rep. Dominicana | 512 | 514 |
| | El Napo | Ecuador | 449 | 596 |
| | Leticia 1 | Colombia | 565 | 448 |
| | Leticia 2 | Colombia | 350 | 647 |
| | Guachi | Venezuela | 599 | 476 |
| | El Nus | Colombia | 661 | 490 |
| | La Romelia | Colombia | 743 | 584 |
| | Gigante | Colombia | 706 | 667 |
| | El Puyo | Ecuador | 727 | 637 |
| | La Morada | Perú | 621 | 608 |
| | Coca | Ecuador | 801 | 486 |
| | Destierro | México | 1045 | 647 |
| | Nueva Guinea | Nicaragua | 838 | 714 |
| | Jalapa | México | 862 | 669 |
| | Quilichao | Colombia | 594 | 881 |
| | Promedio | | 670 | 615 |
| | Desviación estándar | | 175 | 117 |
| 3 | Alto Mayo | Perú | 432 | 107 |
| | Valle del Sacta | Bolivia | 469 | 127 |
| | Barrolandia | Brasil | 483 | 142 |
| | Valle Seibo | Rep. Dominicana | 507 | 159 |
| | San Isidro | Costa Rica | 513 | 206 |
| | Chiriguaná | Colombia | 569 | 9 |
| | Mutatá | Colombia | 602 | 154 |
| | Promedio | | 511 | 129 |
| | Desviación estándar | | 58 | 61 |
| 4 | Isla Juventud | Cuba | 386 | 363 |
| | Loma Bonita | México | 400 | 355 |
| | Yurimaguas | Perú | 322 | 368 |

(Continúa)

Cuadro 7. Continuación.

| Grupo | Localidad | País | Tasa máxima de producción de MS (kg/ha por semana) | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Máxima precipitación | Mínima precipitación |
| | Chipirire | Bolivia | 347 | 333 |
| | Pto. Maldonado | Perú | 292 | 324 |
| | Promedio | | 349 | 388 |
| | Desviación estándar | | 45 | 95 |
| 5 | Tarapoto (COPERHOLTA II) | Perú | 334 | 212 |
| | Tarapoto (ESEP) | Perú | 234 | 255 |
| | Tarapoto (Porvenir) | Perú | 267 | 114 |
| | Tarapoto (COPERHOLTA I) | Perú | 244 | 95 |
| | Isla Veracruz | México | 374 | 182 |
| | El Paraíso | Colombia | 285 | 142 |
| | Atapirire | Venezuela | 282 | 142 |
| | Barrerito | Paraguay | 219 | 168 |
| | El Viento | Colombia | 193 | 18 |
| | Promedio | | 251 | 119 |
| | Desviación estándar | | 52 | 48 |

grupo con las respectivas medias de dos de los parámetros de comportamiento agronómico de *A. gayanus* empleados para hacer la agrupación: las tasas de producción de materia seca en dos épocas, la de máxima y la de mínima precipitación. Las medias por grupo de los otros dos parámetros de desempeño agronómico —porcentaje de cobertura del suelo y altura de la planta durante el establecimiento— junto con los parámetros descriptivos del ambiente se presentan en el Cuadro 8.

El primer grupo de localidades se caracteriza por un buen establecimiento de *A. gayanus*, por una alta producción de materia seca en la época de máxima precipitación, aunque también baja producción de materia seca en el período de mínima precipitación. El segundo grupo se caracteriza por un buen establecimiento y por una producción alta de MS en ambas épocas estacionales. En el tercer grupo, la altura de la planta y el porcentaje de cobertura en el establecimiento son menores, los

Cuadro 8. Características de los grupos de localidades obtenidos del análisis por conglomerados (A.C.) según el comportamiento agronómico de *A. gayanus*, la precipitación, la fertilidad y la acidez del suelo, y el contenido de elementos del suelo.

| Parámetro | Grupo de localidades del A.C.[1] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | p[2] |
| Comportamiento agronómico de *A. gayanus* | | | | | | |
| Altura de la planta en el establecimiento (cm) | 83 | 88 | 65 | 77 | 53 | |
| Cobertura en el establecimiento (%) | 57 | 72 | 63 | 57 | 53 | |
| Tasas máximas de producción de MS (kg/ha por semana) | | | | | | |
| - Período de máxima precipitación | 759 | 670 | 511 | 349 | 250 | |
| - Período de mínima precipitación | 173 | 615 | 129 | 388 | 119 | |
| Disponibilidad de agua para la planta | | | | | | |
| En período de máxima precipitación (mm/semana) | 72.6 | 59.1 | 49.4 | 45.2 | 39.3 | ns |
| En período de mínima precipitación (mm/semana) | 19.1 ab | 37.1 a | 35.2 a | 31.5 ab | 7.4 b | 0.10 |
| Componentes Principales de parámetros del suelo | | | | | | |
| Indice de fertilidad | 0.99 a | -0.05 ab | 0.22 ab | -0.50 b | -0.79 b | 0.006 |
| Indice de textura ligera y menor acidez | 0.21 | -0.21 | -0.25 | 0.49 | 0.21 | ns |
| Indice[3] de contenido de P y de D.R.E. Ca/K | 0.18 | 0.16 | -0.12 | -0.20 | -0.26 | ns |

(Continúa)

Cuadro 8. Continuación.

| Parámetro | Grupo de localidades del A.C.[1] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | p[2] |
| Variables originales del suelo | | | | | | |
| Arena (%) | 43.4 b | 39.8 b | 36.3 b | 64.8 a | 60.4 a | 0.02 |
| Limo (%) | 27.1 | 23.7 | 28.6 | 21.0 | 17.3 | ns |
| Arcilla (%) | 29.4 ab | 36.6 a | 36.6 a | 14.2 b | 23.3 b | 0.05 |
| pH | 4.9 | 4.7 | 5.0 | 4.8 | 4.6 | ns |
| P (ppm) | 3.8 | 4.2 | 3.0 | 3.1 | 2.5 | ns |
| Ca (meq/100 g) | 2.1 a | 1.3 ab | 1.1 ab | 1.3 ab | 0.7 b | 0.20 |
| Mg (meq/100 g) | 0.90 a | 0.52 b | 0.33 b | 0.25 b | 0.45 b | 0.009 |
| K (meq/100 g) | 0.40 a | 0.18 ab | 0.17 ab | 0.14 ab | 0.07 b | 0.20 |
| Sat. Al (%) | 31.9 b | 51.6 ab | 46.2 ab | 73.0 a | 77.2 a | 0.02 |

1. Entre las medias seguidas por la misma letra no hay diferencias significativas según la prueba de Tukey.

2. Probabilidad (p) de significación estadística de la prueba de Tukey que analiza comparaciones entre las medias de grupos.

3. D.R.E. = desajuste (o desestabilización) de la relación de equilibrio Ca/K (= Ca/K imbalance).

ns = no significativo.

niveles de producción de MS durante la época de máxima precipitación son intermedios y durante el período de mínima precipitación son bajos. En el cuarto grupo la producción de MS es menor y es similar en ambas épocas estacionales. Finalmente, el quinto grupo se caracteriza por un establecimiento deficiente de la gramínea, por una baja producción de MS en la estación de máxima precipitación y aún más baja en la época de mínima precipitación.

El Cuadro 8 describe también las características de los cinco grupos de localidades en lo referente al agua disponible para la planta y a las condiciones del suelo. Obsérvese que las variables originales del suelo figuran en el Cuadro 8 como información complementaria que contribuye a la interpretación de los Componentes Principales.

Dos parámetros ambientales se consideraron buenos indicadores de las diferencias en desempeño de *A. gayanus* entre los distintos grupos: el 'índice de disponibilidad de agua durante la época de mínima precipitación' ($p = 0.10$), y el 'índice de fertilidad del suelo' ($p = 0.006$). El primer índice explica la diferencia en las tasas de producción de materia seca durante la época indicada en él. Las tasas bajas observadas en los grupos 5 y 1 (119 y 173 kg/ha de MS por semana, respectivamente) pueden explicarse considerando la escasa disponibilidad de agua en esos grupos de ambientes. Las tasas altas e intermedias observadas en los grupos 2 y 4 (615 y 388 kg/ha de MS por semana, respectivamente) están asociadas con altos niveles de agua disponible; sin embargo, este índice no explica, al parecer, el bajo nivel de producción de MS del grupo 3 (129 kg/ha de MS por semana). Por otra parte, el 'índice de disponibilidad de agua para la planta durante la época de máxima precipitación' no explica el agrupamiento de ambientes en términos del comportamiento del *A. gayanus*. Sin embargo, este resultado era previsible puesto que el agua no es una limitante durante la época de máxima precipitación. Es importante, además, tener en cuenta que *A. gayanus* es una especie muy eficiente en el uso del agua, como se observa en el Cuadro 9 donde es superior o igual a gramíneas promisorias del género *Brachiaria* respecto al uso eficiente de la lluvia caída.

Cuadro 9. Eficiencia de producción de materia seca de *Andropogon gayanus* 621 en los ecosistemas de bosque tropical y de sabana, comparada con la de otras gramíneas promisorias.

| Ecotipos de gramínea | Eficiencia de producción de MS (kg/ha por mm)[1] en: | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Llanos o sabanas | | Bosque tropical | |
| | Máxima precipitación | Mínima precipitación | Máxima precipitación | Mínima precipitación |
| *A. gayanus* 621 | 10.0 a | — | 12 a | 21 ab |
| *B. dictyoneura* 6133 | 4.7 c | 4.9 a | 9 b | 22 ab |
| *B. decumbens* 606 | -- | — | 8 b | 27 a |
| *B. humidicola* 679 | 7.7 b | 5.3 a | 7 b | 13 b |
| Media general | 7.0 | 5.0 | 9.0 | 23 |

1. Entre las medias seguidas por la misma letra no hay diferencia significativa según la prueba de Tuckey; mm = milímetros de precipitación pluvial.

Con respecto al 'índice de fertilidad del suelo', se observa que la reducción en la tasa de producción de MS en los grupos, durante la época de máxima precipitación, está asociada con un decrecimiento en el 'índice de fertilidad del suelo', mostrando diferencias significativas entre los promedios de los grupos. La misma tendencia exhibe el 'índice de contenido de P y de desajuste (o desestabilización) de la relación de equilibrio Ca/K, aunque en este caso no se detectaron diferencias significativas entre los grupos. Estos resultados señalan la excelente respuesta de *A. gayanus* a mejores condiciones de fertilidad y el efecto negativo que el desajuste de las relaciones de equilibrio entre cationes intercambiables divalentes y monovalentes ejerce en la producción de MS durante la época de máxima precipitación.

El otro Componente Principal, el 'índice de textura ligera y menor acidez', no contribuye, aparentemente, a explicar las diferencias en el desempeño agronómico de *A. gayanus* entre los grupos. No obstante, dos de las variables del suelo originales que más pesan en este componente (porcentaje de arena y porcentaje de arcilla) presentan diferencias altamente significativas entre los grupos; este resultado sugiere que *A. gayanus* tiene un mejor desempeño en los suelos de textura más pesada. Las diferencias

significativas observadas entre los grupos respecto a los niveles de Ca, Mg, K y de saturación de Al en el suelo corroboran la afirmación hecha sobre el primer Componente Principal, a saber, que el 'índice de fertilidad del suelo' es un buen indicador de las diferencias que *A. gayanus* manifiesta en su desempeño.

## Conclusiones

Cinco puntos se derivan del análisis desarrollado:

- Partiendo de los datos de desempeño agronómico de *A. gayanus,* fue posible obtener una clasificación de ambientes homogéneos para esta especie vegetal. Los grupos obtenidos se explican principalmente por las diferencias halladas en el nivel de fertilidad del suelo (contenidos de Ca, Mg y K, y niveles bajos de saturación de Al), en el agua disponible para la planta durante el período de menor precipitación, y en la textura del suelo.
- Teniendo en cuenta tanto las evaluaciones empleadas para este estudio —que proceden de los ERB localizados en suelos ácidos cuyo contenido de P es bajo— como la excelente adaptación de *A. gayanus* a estas condiciones, no es sorprendente que las variables 'nivel de pH' y 'contenido de P en el suelo' resultaran inadecuadas para explicar el desempeño de esa gramínea.
- *A. gayanus* es una especie adaptada a los suelos ácidos y de baja fertilidad, aunque responde positivamente a mejores condiciones de fertilidad del suelo.
- Aunque *A. gayanus* es una gramínea eficiente que utiliza bajos niveles del agua disponible, la menor disponibilidad de agua durante el período seco la afecta negativamente.
- El desempeño de *A. gayanus* es mejor en los suelos con mayor contenido de arcilla que de arena.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Dr. José G. Salinas, del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, por su colaboración en la interpretación de los descriptores del suelo, resultantes del Análisis de Componentes Principales; y al Ing. Germán Lema, de la sección de Biometría de la Unidad de Servicio de Datos del CIAT, por su apoyo en la fase de programación.

## Referencias

Anning, P. 1982. Evaluation of introduced grass species for pastures in the dry tropics of north Queensland. Trop. Grassl. 16(3):136-145.

Calderón; M. 1982. Evaluación del daño causado por insectos. En: Toledo, J. M. (ed.). Manual para la evaluación agronómica: Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p 57-72.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1983. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT); resultados 1979-1982. Segunda reunión de la RIEPT celebrada en el CIAT, Cali, Colombia, 27-29 septiembre, 1982. Pizarro, E.A. (ed.) Cali, Colombia. 460 p.

———. [1986]. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT); resultados 1982-1985. Tercera reunión de la RIEPT, 21-24 octubre, 1985, 2 vols. Pizarro, E. A. (ed.). Cali, Colombia. Vol. 1, 742 p.; vol. 2, p. 743-1228.

Chatterjee, B. N. 1964. At Sabour, Sadabahar is first among fodder grasses. Indian Farming 14(8):17.

Cochrane, T. T. 1982. Caracterización agroecológica para el desarrollo de pasturas en suelos ácidos de América tropical. En: Toledo, J. M. (ed.). Manual para la evaluación agronómica; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 23-44.

———; Sánchez, L. G.; Porras, J. A.; de Azevedo, L. G. y Garver, C. L. 1985. La tierra en América tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, y Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária en el Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, D.F., Brasil. 146 p.

Everitt, B. S. 1980. Cluster analysis. 2a. edición. Heinemann, Londres, Inglaterra. 122 p.

Fisher, M. J. 1971. Pasture species for the Tipperary area, Northern Territory. Technical paper no. 31. Division of Land Research, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Brisbane, Australia. 48 p.

Foster, W. H. y Mundy, E. J. 1961. Forage species in northern Nigeria. Trop. Agric. (Trinidad) 38(4):311-318.

Hartigan, J. A. 1975. Clustering algorithms. Wiley, Nueva York, 359 p.

Hotelling, H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. J. Educ. Psychol. 24:417-441, 498-520.

Jones, P. G. 1987. Current availability and deficiencies in data relevant to agroecological studies in the geographic area covered by the IARCs. En: Bunting, A. H. (ed.). Agricultural environments: characterization, classification and mapping. Memorias. Commonwealth Agricultural Bureaux International, Wallingford, Inglaterra. p. 69-83.

Kannegieter, A. 1966. The cultivation of grasses and legumes in the forest zone of Ghana. Ghana J. Sci. 6(3-4):97-109.

Keig, G. y McAlpine, J. R. 1974. Watbal: a computer system for the estimation and analysis of soil moisture regimes from simple climatic data. Technical memo 74/4. Division of Land Use Research, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Melbourne, Australia.

Lenné, J. M. 1982. Evaluación de enfermedades en pastos tropicales en el área de actuación. En: Toledo, J. M. (ed.). Manual para la evaluación agronómica; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. (RIEPT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 45-56.

McIvor, J. G.; Williams, W. T.; Anning, P.; Clem, R. L. y Finlay, M. C. 1982. The performance of introduced grasses in seasonally dry tropical environments in northern Australia. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 22(118 y 119):373-381.

Nourrisat, P. 1966. The introduction of forage plants at the Centre de Recherches Agronomiques, Bambey, Senegal. Agronomie (París) 21(9):1013-1035.

Patterson, J. G.; Goodchild, N. A. y Boyd, W. J. R. 1978. Classifying environments for sampling purposes, using a principal component analysis of climatic data. Agric. Meteorol. 19(4):349-362.

Pearson, L. 1901. On line and plans of closest fit to systems of points in space. Philos. Mag. 6(2):559-572.

Perkins, J. M. 1972. The principal components analysis of genotype-environmental interactions and physical measures of the environment. Heredity 29:339-356.

Prasad, L. K. y Prasad, N. K. 1977. Evaluation of grasses under seepage irrigation in spring and summer season in plateau region of Chotanagpur. Indian J. Agron. 22(3):183-184.

Rains, A. B. 1959. Report on agriculture in the departments of northern Nigeria, 1955-1956. Government Printer, Kaduna, Nigeria. p. 142-146.

Ralph, W. 1983. Testing grasses for tropical pastures. Rural Research 119:11-14.

Reddy, S. J. 1979. User's manual for the water balance models. International Crop Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Hyderabad, India.

Reid, P. A. y Miller, I. C. 1970. New grasses for the Top End: Gamba grass. Turnoff 1970 2(4):26-27.

Singh, R. D. y Chatterjee, B. N. 1968a. Growth analysis of perennial grasses in tropical India; 1: herbage growth in pure grass. Exp. Agric. 4(2):117-25.

——— y . ——— 1968b. Growth analysis of perennial grasses in tropical India; 2: herbage growth in mixed grass/legume swards. Exp. Agric. 4(2):127-34.

———; Premchand, y Rahaman, A. 1972. Herbage growth of pearl-millet-napier grass hybrid when compared with other grasses. Indian J. Agric. Sci. 42(3):218-222.

Tetteh, A. 1976. Evaluation of productivity of mixed grass/legume stands and their pure stands cut as herbage for two years. Ghana J. Agric. Sci. 9(1):9-14.

Toledo, J. M. y Schultze-Kraft, R. 1982. Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales. En: Toledo, J. M. (ed.). Manual para la evaluación agronómica; Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 91-110.

# ASPECTOS FISIOLOGICOS DE *ANDROPOGON GAYANUS* Y SU COMPATIBILIDAD CON LAS LEGUMINOSAS FORRAJERAS

José M. Toledo y Myles J. Fisher*

## Introducción

*Andropogon gayanus* Kunth var. *bisquamulatus* (Hochst) Hack. es una gramínea que, a pesar de haber alcanzado el status de cultivar comercial en varios países de América tropical, no ha sido suficientemente estudiada en aspectos básicos como el de su fisiología. Este capítulo contiene, además de la escasa información disponible, resultados aún no publicados de varios experimentos sobre algunos aspectos fisiológicos de *A. gayanus* y de su compatibilidad con las leguminosas, dirigidos por los autores y por científicos del CIAT entre 1979 y 1986.

## Análisis del Crecimiento

Se hizo un análisis comparativo, tanto del efecto de la defoliación como de las curvas de crecimiento, a nueve gramíneas, en CIAT-Quilichao (latitud: 3º 06' N, longitud: 76º 31' O, altitud: 990 m) entre 1980 y 1982 (Abaunza, 1982). La Figura 1 muestra las curvas de crecimiento de tres gramíneas seleccionadas durante un período seco cuyo balance hídrico (Bh) fue de -114 mm, y en un período lluvioso cuyo balance hídrico fue de +133 mm. Durante el período seco, las tres gramíneas —*Andropogon gayanus* CIAT 621, *Brachiaria decumbens* CIAT 606, e *Hyparrhenia rufa* CIAT 601— crecieron muy lentamente y no hubo diferencias

* José M. Toledo es agrónomo de pasturas, líder del Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia. Myles J. Fisher es ecofisiólogo, sección de Ecofisiología del mismo Programa.

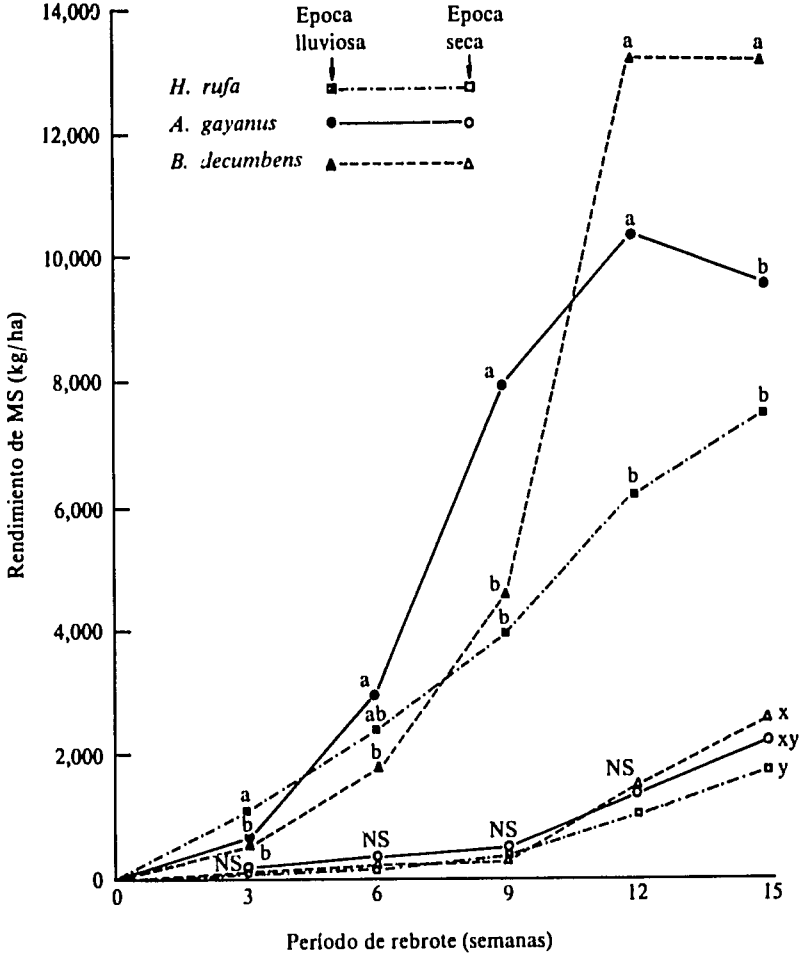



Figura 1. Curvas de crecimiento de *A. gayanus*, *B. decumbens* y *H. rufa* en Quilichao, obtenidas en un período lluvioso (Bh = +133 mm) y en otro seco (Bh = -114 mm). Letras en minúsculas diferentes sobre los puntos indican diferencias isgnificativas; NS = no significativo.

FUENTE: Abaunza, J. A., 1982.

significativas, salvo a las 15 semanas, cuando habían acumulado aproximadamente 2000 kg/ha de MS. Durante el período lluvioso, en cambio, el crecimiento fue diferente para cada gramínea. Las tasas iniciales de crecimiento y de acumulación total de MS por hectárea, hasta las 15 semanas, fueron diferentes. Resalta la mayor tasa de crecimiento de *A. gayanus* entre la tercera y la novena semanas de rebrote, cuando acumuló cerca de 8000 kg/ha de MS mientras que las otras dos gramíneas sólo produjeron menos de 4500 kg/ha de MS. Por otro lado, se observó la mayor tasa de crecimiento de *B. decumbens* entre las semanas 9 y 12, y fue en ésta, de las 15 semanas, aquélla en la que se acumuló mayor forraje (13,000 kg/ha de MS). Luego de 12 semanas, *A. gayanus* dejó de crecer, pero en ese lapso acumuló 10,000 kg/ha de MS. *H. rufa* mantuvo una tasa semanal de crecimiento lineal de aproximadamente 480 kg/ha de MS.

Este estudio comprendió la evaluación de tres períodos de 18 semanas en los que se cortaron, cada tres semanas y en forma secuencial, subparcelas de *A. gayanus* y de las otras gramíneas. Además, las parcelas fueron evaluadas durante un período adicional en el que las subparcelas se cortaron cada semana. Los datos de MS correspondientes a *A. gayanus* se usaron para calcular la tasa de crecimiento relativo (TCR) de esta gramínea:

$$TCR = \frac{\ln(\text{rendimiento}_t) - \ln(\text{rendimiento}_{t-1})}{(\text{tiempo}_t - \text{tiempo}_{t-1})} \qquad (1)$$

Con esta expresión se quería saber si las diferencias se debían al tamaño del sistema fotosintético o a su actividad. Los datos de la relación hoja/tallo fueron usados para calcular el peso foliar relativo (PFR = peso de hojas/peso total de parte aérea) así como las tasas netas de asimilación (TNA = TCR/PFR), ya que no había datos del área foliar.

Las relaciones así calculadas, para los tres períodos de evaluación, se ilustran en la Figura 2, donde se observa, comparando la forma de las curvas, que la TNA es más importante que la PFR para determinar la TCR; obsérvese también que la TNA no decrece suavemente con la edad, como se

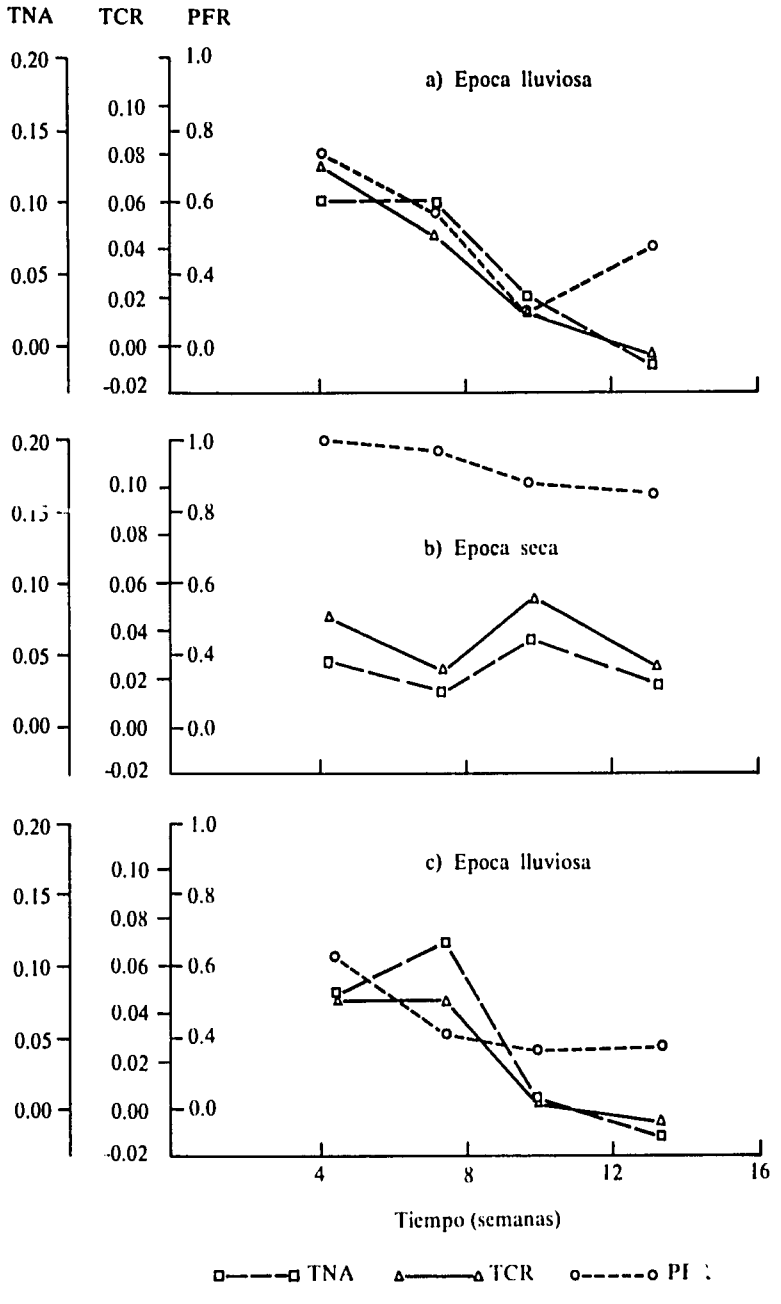



Figura 2. Tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa neta de asimilación (TNA), y peso foliar relativo (PFR) en tres ciclos de crecimiento de *A. gayanus*, en CIAT-Quilichao, Colombia.

esperaba (Evans, 1972). Este resultado fue particularmente claro durante la evaluación que se inició el 3 julio de 1980 y coincidió con un período seco (Bh = -114 mm), lo cual sugiere una fuerte influencia de los factores ambientales sobre la TNA. Este efecto podría deberse a rebrotes nuevos en respuesta a lluvias menores caídas durante un período eminentemente seco, y a la capacidad de las plantas de mantener una biomasa fotosintéticamente activa mínima como lo sugieren los altos valores del PFR para ese período. Debe indicarse además que en el perfil de los suelos de CIAT-Quilichao hay una capa superficial de 40 a 60 cm de espesor de muy buen drenaje; sin embargo, debajo de ella el suelo presenta una alta capacidad de retención de humedad. Otros factores, como la deficiencia de nutrimentos disponibles para la planta durante el período seco y los cambios en la radiación solar, asociados ambos con la precipitación y el balance hídrico, podrían afectar también la TNA.

Se analizó adicionalmente la relación entre la TNA y el balance hídrico (calculado) del suelo. No fue sorprendente que la relación entre el balance hídrico en el período de tres semanas ya considerado y la TNA no haya sido clara; no obstante, surgió una relación más precisa ($r^2 = 0.50$, $P < 0.1$) cuando se estudió la regresión de la TNA y el Bh durante el período anterior. Además, cuando los valores de la TNA correspondientes al primer corte, hecho entre las semanas 0 y 3 del rebrote, fueron eliminados de la regresión (Figura 3), se ajustó mejor la relación ($r^2 = 0.62$, $P < 0.1$). Los datos de la TNA correspondientes a los primeros cortes resultaron altos teniendo en cuenta que en este período las plantas presentan un índice de área foliar pequeño. Este resultado se explica porque el corte estimula la movilización de las reservas destinadas al crecimiento, confundiéndose de este modo la TNA con el uso de las reservas.

Esta relación causal entre TNA y Bh durante el período de crecimiento antes mencionado puede explicar buena parte de los cambios observados en la TNA entre un período de evaluación y otro; sin embargo, en ausencia de los datos que controlan directamente el balance hídrico, la relación encontrada en la Figura 3 debe considerarse como especulativa.

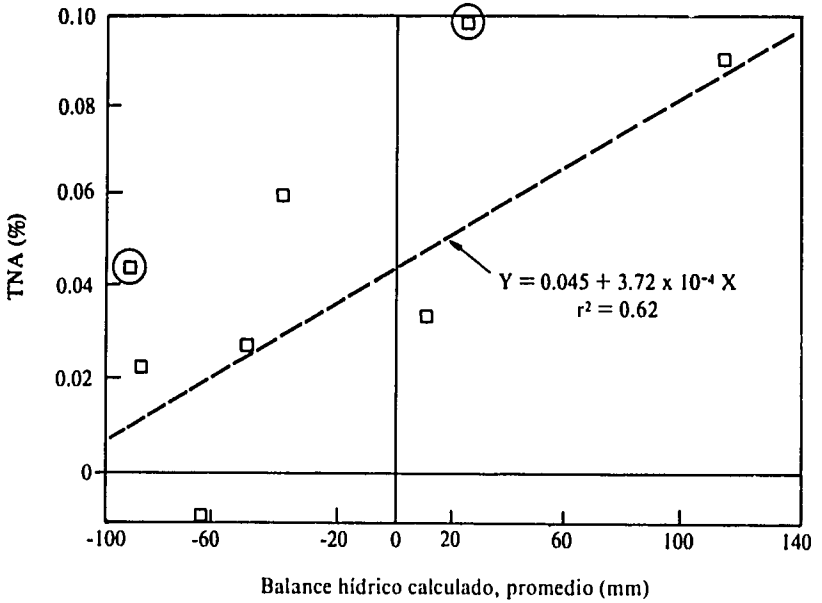



Figura 3. Relación entre la tasa neta de asimilación, TNA, y el promedio del balance hídrico calculado durante las tres semanas iniciales del rebrote. Los puntos encerrados en círculos corresponden al primer corte (ver texto) y fueron excluidos de la regresión.

## Comportamiento de los Estomas

Puede asumirse que el aire dentro de una hoja está saturado con vapor de agua, en contraste con el aire que rodea la hoja, rara vez saturado y muy frecuentemente en estado de altos déficits de presión de vapor. En contraste, se espera que la concentración del $CO_2$ dentro de una hoja expuesta a la radiación normal sea menor que la del medio ambiente, a causa de la fijación del $CO_2$ por la fotosíntesis. Consecuentemente, cuando los estomas están abiertos, el $CO_2$ del aire entra en la hoja por difusión mientras que la hoja entrega vapor de agua al aire. Por el contrario, cuando la planta cierra sus estomas, el intercambio de $CO_2$ y vapor de agua entre las cavidades subestomáticas y el aire virtualmente cesa, y disminuyen así al mínimo la fotosíntesis y la traspiración. Bajo estas condiciones, la planta simplemente sobrevive reduciendo su metabolismo al máximo.

Los estomas de *A. gayanus* (Figura 4) no responden a la humedad exterior (El-Sharkawy et al., 1984), es decir, no reducen notoriamente el potencial de agua de las hojas en respuesta a demandas altas de agua por evaporación. Jones et al. (1980) estudiaron el comportamiento de *A. gayanus, B. decumbens, H. rufa* y *Panicum maximum* bajo condiciones de sequía en la subestación CIAT-Quilichao (suelo: Ultisol). La Figura 5 muestra la relación entre el potencial hídrico de la planta y la resistencia a la difusión de los gases en la parte abaxial de las hojas. De las cuatro especies estudiadas, *P. maximum* es la más sensitiva porque cierra sus estomas rápidamente cuando el potencial hídrico de la planta se aproxima a -20 bar. En contraste, *A. gayanus, B. decumbens* y *H. rufa,* que tienen menor sensibilidad estomática, cierran sus estomas sólo cuando el potencial hídrico de la planta sobrepasa el valor -20 bar. Estas pocas observaciones sugieren que la especie *A. gayanus* posee cierta tolerancia a la desecación.

Existen dos clases de plantas resistentes a la sequía: unas, cuyos tejidos no toleran la sequedad del aire, y posponen la fase final del proceso de deshidratación de sus tejidos mediante mecanismos como los estomas sensibles a la sequedad del aire, los movimientos parahélicos, y el enrollado de las hojas, con los cuales minimizan la pérdida de agua de las hojas; otras plantas, en cambio, tienen estomas insensibles a la sequedad del aire. Estas últimas no evitan que el proceso de deshidratación continúe porque, en general, tienen tejidos tolerantes a la desecación. Con frecuencia, este segundo grupo de plantas posee otros mecanismos, como la capacidad de modificar el potencial osmótico de sus células, para mantener la actividad metabólica aun enfrentando déficit crecientes de agua.

Aunque *A. gayanus* puede soportar largos períodos secos en el campo, no se ha esclarecido hasta qué punto puede tolerar la desecación de sus tejidos. Por su insensibilidad estomática a la sequedad del aire, esta especie podrá hacer un uso más eficiente de la humedad superficial y profunda del suelo porque mantendrá un nivel metabólico y de fotosíntesis mayor, bajo condiciones en las que la sequedad ambiental es alta. No obstante, la brusca respuesta de los estomas de *A. gayanus* al

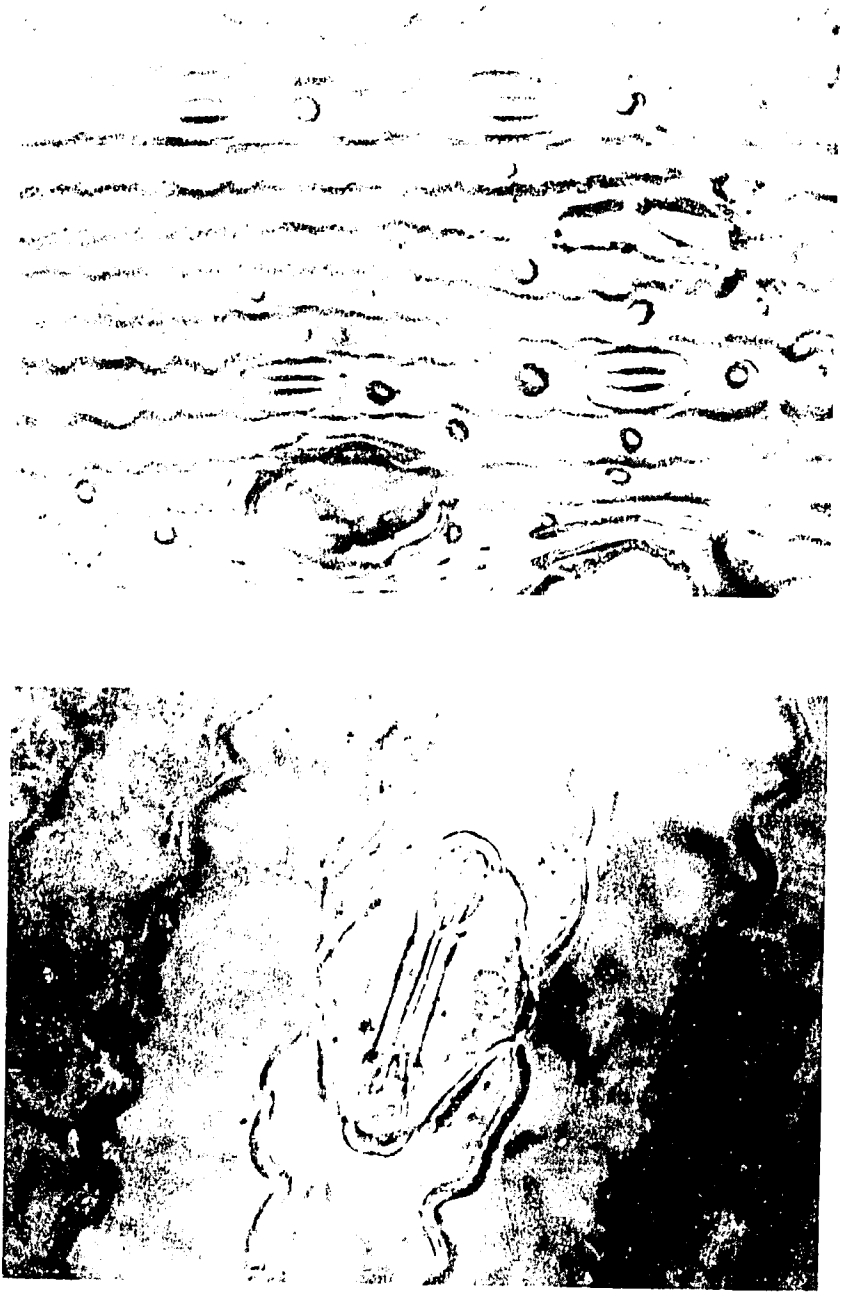


Figura 4 Microfotografías de estomas de una hoja de *Andropogon gayanus* (CIAT 621). Abajo, detalle de un estoma. (Foto: W. Roca, CIAT.)

potencial hídrico de la hoja sugiere que esta gramínea no toleraría los potenciales hídricos notoriamente bajos que se han registrado en otras especies vegetales (Ludlow et al., 1985).

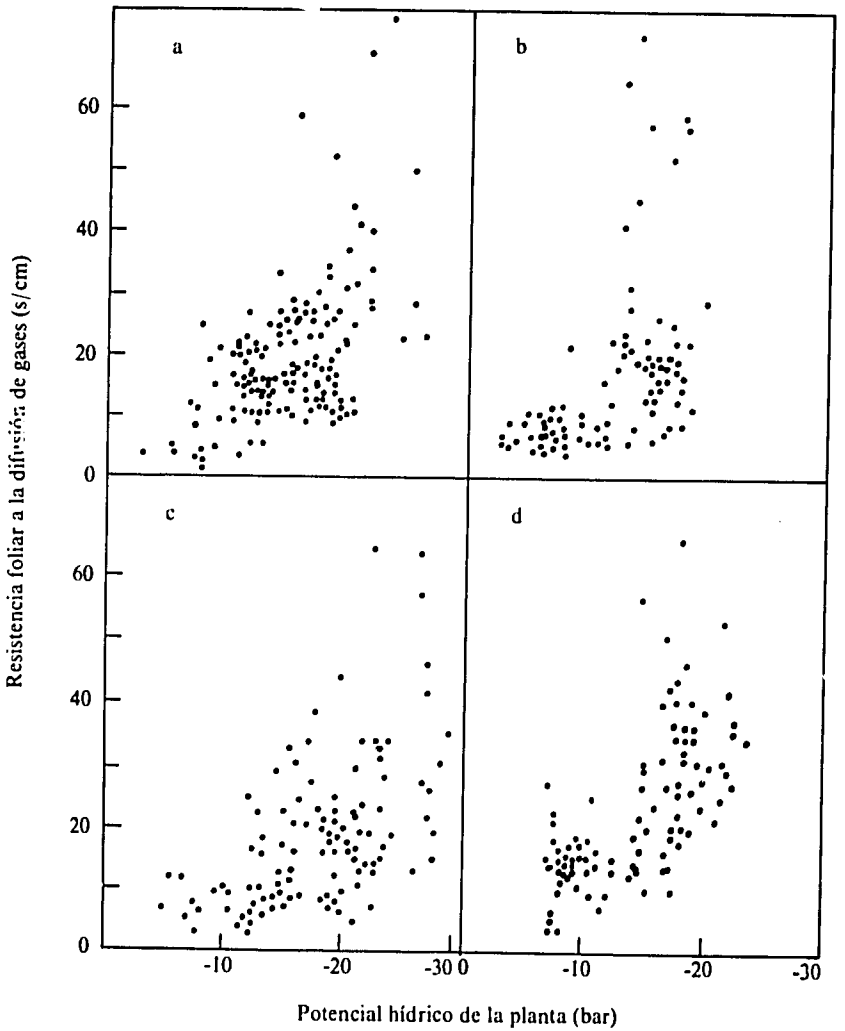



Figura 5. Relación entre el potencial hídrico de la planta y la resistencia a la difusión gaseosa de la parte abaxial de las hojas. a) *Andropogon gayanus* (CIAT 621), b) *Panicum maximum* (CIAT 604), c) *Brachiaria decumbens* (CIAT 606), d) *Hyparrhenia rufa* (CIAT 601).

FUENTE: Jones et al., 1980.

## Fotosíntesis

*Andropogon gayanus* posee un ciclo o ruta fotosintética $C_4$ (Ludlow, 1976). En consecuencia, debe esperarse que posea una gran eficiencia en el uso del agua, es decir, será capaz de fijar, mediante la fotosíntesis, altos niveles de carbono por unidad de agua traspirada. Se espera además que el aparato fotosintético de *A. gayanus* no se sature a niveles normales de radiación solar, a diferencia de las plantas $C_3$, como las leguminosas, que se espera sean saturadas con aproximadamente 2/3 de la radiación solar total.

La tasa máxima de fotosíntesis de *A. gayanus* parece ser similar (32 a 47 µmol $CO_2$ $m^{-2}s^{-1}$) a la obtenida en otras monocotiledóneas $C_4$ (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tasa fotosintética de *A.gayanus* y de otras monocotiledóneas $C_4$.

| Especie | Tasa fotosintética (µmol $CO_2$ $m^{-2}s^{-1}$) | Fuente |
|---|---|---|
| *A. gayanus* | 32.0 ± 1.0 | El-Sharkawy et al., 1984 |
| | 46.8 ± 3.2 | El-Sharkawy et al. 1985 |
| *P. maximum* | 45.5 | Ludlow y Wilson., 1971 |
| Sorgo | 47.0 ± 5.0 | El-Sharkawy et al., 1984 |
| | 41.2 ± 2.6 | El-Sharkawy et al., 1985 |
| Maíz | 41.0 ± 1.3 | El-Sharkawy et al., 1985 |

## Tolerancia a la Sequía

*A. gayanus*, como ya fue discutido, posee una aparente resistencia a la desecación por efecto del gradiente de presión de vapor que existe entre el aire y la hoja. Consecuentemente, mientras haya suficiente agua en el suelo como para mantener su potencial de agua foliar por encima de -20 bars, esta gramínea tolerará condiciones aéreas desfavorables, es decir, mínima humedad relativa, alta temperatura, y viento fuerte.

La relación entre la cantidad de agua del perfil del suelo extraída por las plantas, y la tasa a que éstas la explotan durante los períodos de escasez de agua, es importante para explicar la tasa de crecimiento de la planta cuando esos períodos son cortos (sequías durante la época de crecimiento), y su supervivencia cuando los períodos son largos (como la estación seca).

Durante la estación seca de 1977-1978, se instalaron en el CNIA de Carimagua bloques de yeso (bouyucos) hasta una profundidad de 1.2 m, para estimar la humedad extraída del perfil del suelo por varias gramíneas (CIAT, 1978). Se midió la conductividad eléctrica a diferentes profundidades en suelos cubiertos con rastrojo (materia vegetal muerta), con sabana nativa, y con los pastos *Panicum maximum, Brachiaria decumbens* y *Andropogon gayanus*. Tanto la sabana nativa como el pasto *P. maximum* mostraron una capacidad de extracción de agua similar, y eran relativamente menos eficientes para extraer la humedad contenida de 90 a 120 cm de profundidad (Figura 6). Este resultado contrasta con lo observado para *A. gayanus* y *B. decumbens*, que secaron prácticamente el perfil del suelo hasta una profundidad de 90 cm y extrajeron mayor humedad que los otros pastos a 120 cm. En las condiciones creadas por el rastrojo, el subsuelo permaneció relativamente húmedo durante la estación seca aun a una profundidad no mayor de 30 cm.

Moreno et al. (1983) evaluaron a *A. gayanus* junto con *Cenchrus ciliare* L. y *Brachiaria humidicola* Rendler por su capacidad de producción de MS al inicio del período seco, y por su reacción al restablecimiento del suministro de agua del suelo al final de ese período. La humedad del suelo (un Alfisol de buen drenaje) se controló protegiendo el área experimental de la lluvia con una cobertura plástica trasparente situada a 2 m de altura y rodeando el área con un avenamiento de 60 cm de profundidad. El tratamiento testigo se mantuvo a capacidad de campo mediante riegos frecuentes, mientras que el tratamiento seco no recibió riego alguno durante seis meses. La producción de MS de *A. gayanus* sin riego sólo se redujo significativamente luego de 102 días; la de *C. ciliare* no fue significativamente inferior hasta los 120 días, mientras que la de *B. humidicola* lo fue a los 84 días de iniciada la sequía. Esta información fue confirmada por datos

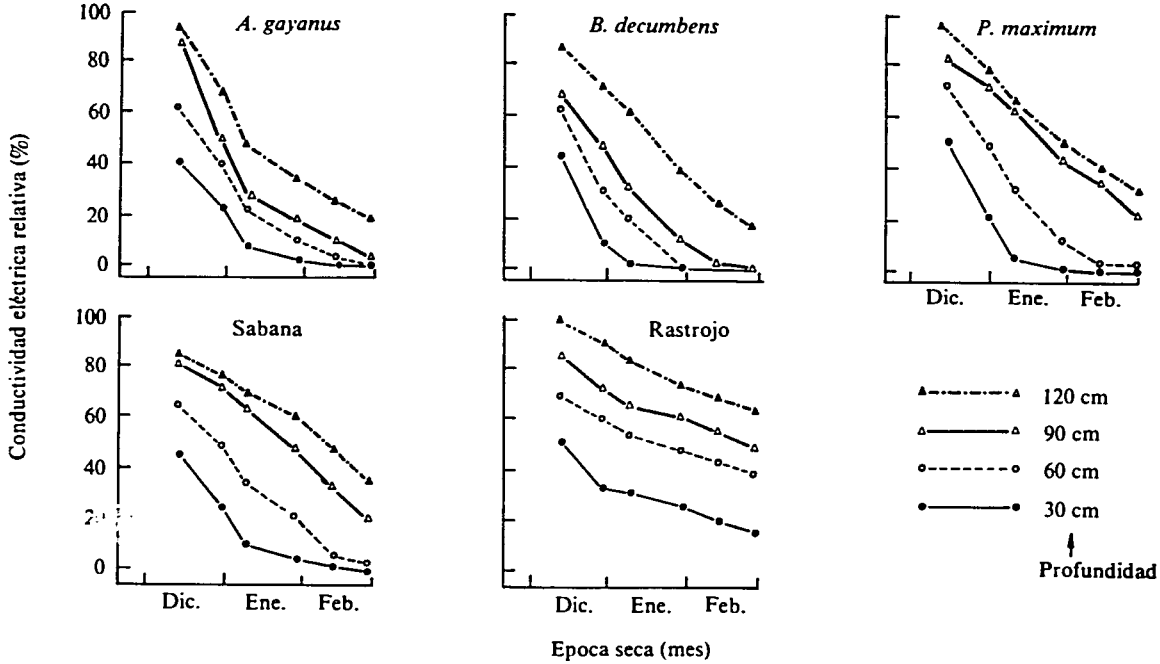



Figura 6. Conductividad eléctrica relativa, a diferentes profundidades, de un suelo cubierto ya sea con *A. gayanus, B. decumbens, P. maximum,* sabana nativa o rastrojo, durante la estación seca de 1977-1978 en el CNIA de Carimagua.

FUENTE: CIAT, 1978.

obtenidos en CIAT-Quilichao (CIAT, 1978) donde se observó que *A. gayanus* mantuvo, durante las primeras seis semanas del período seco, una producción de MS similar a la del período lluvioso, en tanto que otras gramíneas como *B. decumbens* y *B. humidicola* disminuyeron su producción de MS inmediatamente después del comienzo del período seco. Al final de este período, y luego de regar una vez el suelo, tanto *A. gayanus* como *C. ciliare* produjeron rebrotes significativamente superiores a los del testigo mantenido con humedad permanente. *B. humidicola,* en cambio, produjo rebrotes similares bajo ambos regímenes de riego (Cuadro 2).

Cuadro 2. Rendimiento de tres gramíneas sometidas a 120 días de sequía y luego regadas, comparado con el de testigos bien regados.

| Gramínea | Rendimiento (kg/ha de MS, en 46 días) | |
|---|---|---|
| | Testigos bien regados | Gramíneas regadas después de sequía |
| *A. gayanus* CIAT 621 | 2467* | 4027* |
| *C. ciliare* cv. Biloela | 2928* | 4218* |
| *B. humidicola* CIAT 679 | 2658 NS | 2801 NS |

* Diferencias significativas con $P < 0.05$; NS = no significativo ($P > 0.05$).

FUENTE: Modificado de Moreno et al., 1983.

La producción de las parcelas que recibieron riego luego de haber sido sometidas a un largo período de sequía fue mayor, e indica un crecimiento compensatorio que podría explicarse no sólo por una movilización muy rápida de las reservas acumuladas durante la sequía (Ludlow, 1976; Horst y Nelson, 1979), sino por la gran capacidad de *A. gayanus* y de *C. ciliare* para mantener sus tejidos radiculares y meristemáticos activos, y por su habilidad para usar rápidamente el agua y los nutrimentos mineralizados cuando empiezan las lluvias. Otra posible explicación es la mayor eficiencia fotosintética que poseen las hojas de las plantas sometidas a la sequía (Ludlow y Ng, 1974; 1977).

Se puede concluir que *A. gayanus* es una especie resistente a la sequía, capaz de extraer agua de capas profundas del perfil del

suelo y de mantener un metabolismo activo y fotosintetizar aun bajo condiciones climáticas desfavorables. Dada la profusión de su sistema radical y la profundidad que éste alcanza, las plantas de *A. gayanus* son altamente competitivas por el agua del suelo durante la sequía. Los resultados obtenidos por Moreno et al. (1983) sugieren que *A. gayanus* es una especie capaz de acortar, en cuanto a disponibilidad de forraje se refiere, el efecto del período seco, por su mayor capacidad de mantenerse productiva luego de iniciado el período de sequía, y su alta capacidad de rebrote al iniciarse las lluvias.

## Tolerancia a la Quema

La única información sobre el modo como *A. gayanus* tolera la quema fue obtenida por C. A. Jones (CIAT, 1978). En evaluaciones hechas en CIAT-Quilichao se encontró que *A. gayanus* CIAT 621, *P. maximum* CIAT 604, y *P. maximum* CIAT 622 fueron muy resistentes a la quema porque reaccionaron a ella y produjeron aproximadamente 900 kg/ha de MS en cuatro semanas de rebrote; en *B. decumbens* y en *B. humidicola*, en cambio, el proceso de recuperación después de la quema fue más lento y sólo produjeron 600 kg/ha de MS a las cuatro semanas del rebrote (Figura 7). Se comparó asimismo el efecto de la quema y el del corte; se observó que el primero fue negativo para *A. gayanus* hasta la cuarta semana de ocurridos ambos eventos (942 vs. 1290 kg/ha de MS). Semanas más tarde, sin embargo, la producción de esta gramínea, con quema o al corte, fue similar: 3761 vs. 3012 kg/ha de MS a las 8 semanas y 5785 vs. 5650 a las 12 semanas.

Este comportamiento es coherente con el lugar de origen de esta especie —las sabanas del oeste de Africa— donde las quemas hacen parte del manejo común (Jones, 1979).

## Tolerancia a la Sombra

En un experimento hecho en CIAT-Palmira, *Andropogon gayanus* y otras 12 gramíneas fueron expuestas a ocho niveles de sombra: 0%, 28%, 40%, 42%, 54%, 61%, 76% y 98% de

intercepción de la radiación solar incidente; estos niveles se obtuvieron con jaulas de 1 m x 1 m x 0.8 m cubiertas con mallas plásticas negras de diferente densidad (Figura 8). Todas tenían la

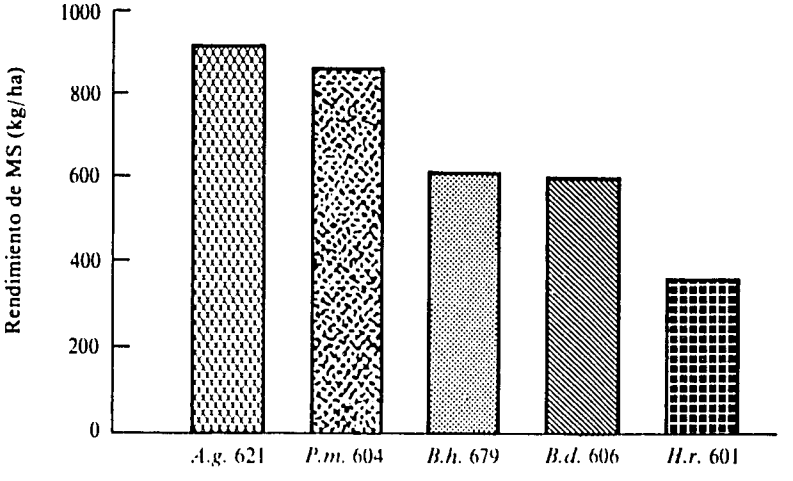



Figura 7. Rebrote de cinco gramíneas tropicales cuatro semanas después de la quema. (*A.g.* = *A. gayanus*, *P.m.* = *P. maximum*, *B.h.* = *B. humidicola*, *B.d.* = *B. decumbens*, *H.r.* = *H. rufa.*)

Figura 8. Mallas de sombreamiento empleadas para reducir los niveles de radiación solar.

misma forma, la cual permitía la circulación del aire para disminuir el efecto que ejerce la sombra en la temperatura del aire; ésta se mantuvo entre 30 y 32 $^{0}$C al medio día. Las plantas se desarrollaron de semilla sexual en macetas que contenían 2.5 kg de suelo. Antes de aplicar los tratamientos, crecieron durante ocho semanas bajo 100% de luz. A las ocho semanas se les practicó un corte de uniformidad a 5 cm de altura, se les aplicaron los tratamientos, y se cubrieron con las jaulas antes mencionadas. Durante un tiempo de rebrote de cinco semanas con riego diario, se midió la altura y el número de hojas expandidas de la gramínea.

Se observó, en todos los tratamientos, un incremento en el número de hojas, que resultó lineal en el tratamiento sin sombra. A partir de la segunda semana del rebrote, en los tratamientos de 54% y 76% de sombreamiento las macollas del pasto produjeron muy pocas hojas. Las plantas sometidas al tratamiento de máxima sombra (98%) dejaron de producir hojas desde la segunda semana del rebrote, luego de haber agotado las reservas previamente acumuladas; finalmente, se defoliaron y secaron (Figura 9). Las plantas expuestas a mayor sombreamiento (98% y 76%) se alargaron más rápidamente durante las dos primeras semanas del rebrote; pasado ese tiempo, las sometidas al tratamiento de 98% de sombra murieron, mientras que aquéllas bajo 76% de sombra se alargaron aún más, manifestando así un claro efecto de etiolación (Figura 10). En cambio, las plantas no sometidas a sombreamiento y las expuestas a 54% de sombra adquirieron una altura estable cumplidas las dos semanas del rebrote, incrementando su producción de hojas desde la base (Figuras 9 y 10).

El rendimiento más alto de la parte aérea y de las raíces, luego de cinco semanas de rebrote, se registró cuando el sombreamiento era de 40% a 50% (Figura 11). Wong y Wilson (1980) informaron de aumentos semejantes del rendimiento, cuando aplicaron algún sombreamiento, en *P. maximum* var. *trichoglume* 'green panic', y Singh et al. (1974) en *Panicum capilare*. Contrasta ese reporte con el de otros autores (Burton et al., 1959; Ludlow, 1978), quienes no hallaron incrementos en el rendimiento al sombrear las plantas, y con el consenso general de

que el sombreamiento reduce linealmente las tasas de crecimiento y de fotosíntesis de una gramínea $C_4$. Una posible explicación de tales resultados es ésta: se ha observado un fenómeno confundido del efecto de intercepción de la radiación solar en las tasas de fotosíntesis y de traspiración, y se sugiere que se obtienen mayores eficiencias fotosintéticas a niveles más bajos de

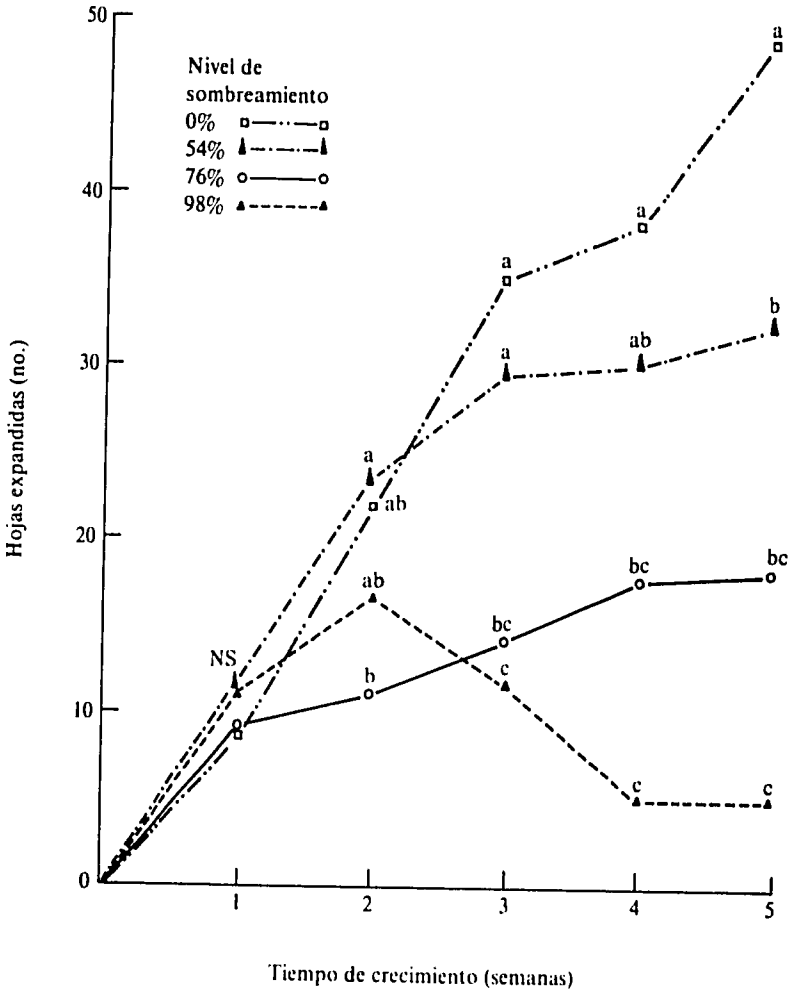



Figura 9. Respuesta de *A. gayanus*, en número de hojas expandidas, a diferentes niveles de sombreamiento. Letras diferentes señalan puntos que difieren significativamente ($P < 0.05$); NS = no significativo.

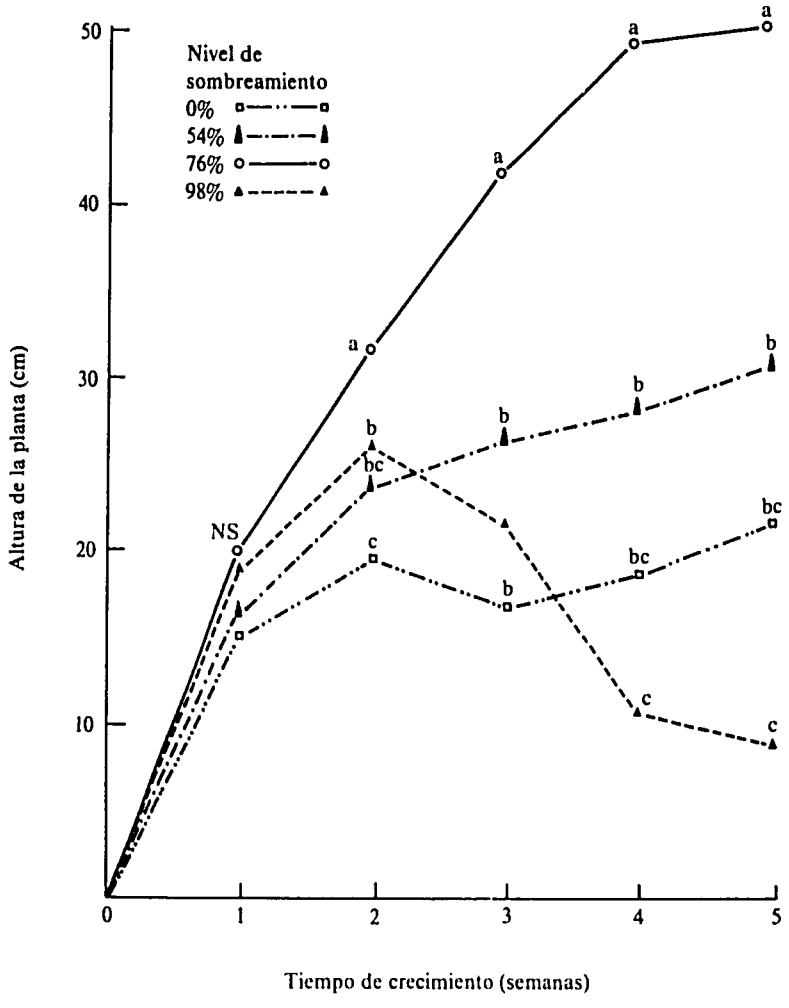



Figura 10. Altura de las plantas de *A. gayanus* en respuesta a diferentes niveles de sombreamiento. Letras iguales señalan puntos que no difieren significativamente ($P > 0.05$). NS = no significativo.

traspiración. Otra explicación ha sido la sugerida por Wong y Wilson (1980): observaron que los niveles de N en el tejido de *P. maximum* aumentaron cuando había poca sombra, lo que implica que el mayor contenido de N en el tejido tiene efectos importantes en la eficiencia del aparato fotosintético.

Es interesante notar que el nivel de sombreamiento en que se obtiene el máximo rendimiento, para las raíces y los tallos, fluctuó entre 40% y 50% (Figura 11), en tanto que para el máximo rendimiento de las hojas, ese nivel fue aproximadamente del 60%. Sin embargo, el número de hojas por planta decreció de 48 a plena luz a 33 con 60% de sombreamiento, aunque aumentaron tanto el área por hoja —de 1.4 $cm^2$ a plena luz a más de 3 $cm^2$— como el área específica (una medida del espesor de las hojas) que pasó de 8.3 $m^2/kg$ a más de 12 $m^2/kg$.

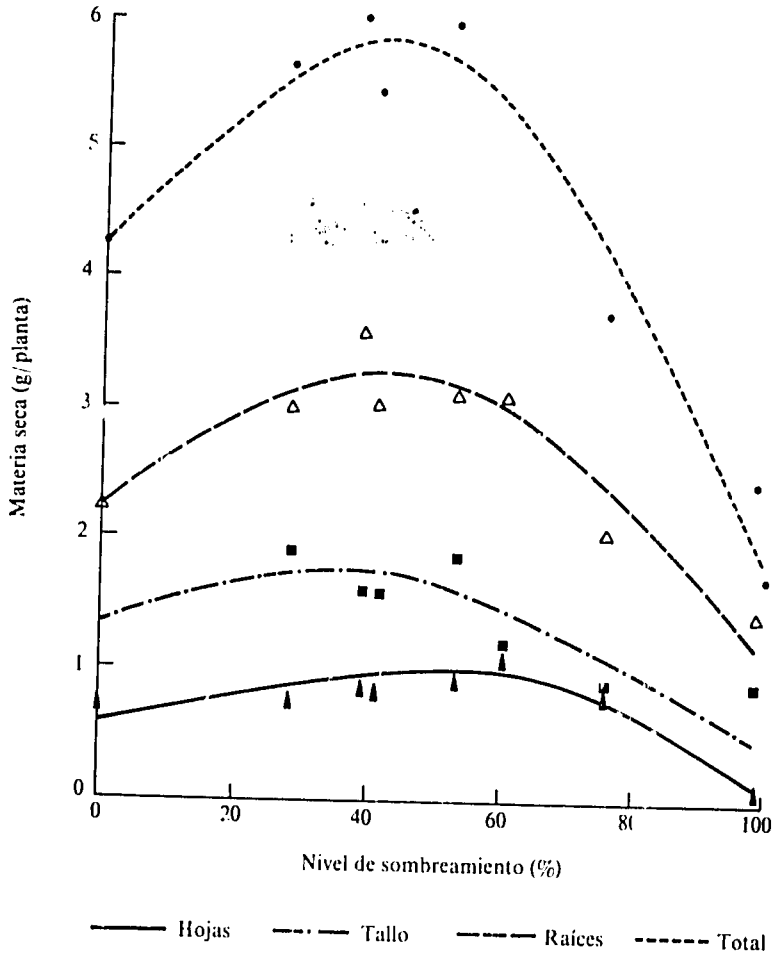



Figura 11. Acumulación de biomasa de *A. gayanus* a las cinco semanas del rebrote, bajo diferentes niveles de sombreamiento.

Se puede concluir que la planta de *A. gayanus* reacciona al sombreamiento produciendo hojas más largas e incrementando su área foliar total (Figura 12) a expensas del número de hojas (menor macollamiento) y del espesor de éstas. Además, con 40% a 50% de sombreamiento la producción total de biomasa es aproximadamente 13% mayor que la obtenida bajo plena radiación solar. Este resultado sugiere que *A. gayanus* sería un competidor efectivo bajo sombreamiento parcial o en condiciones nubosas. Sin embargo, su tolerancia al pastoreo (es decir, a la defoliación y al pisoteo), que determina el uso equilibrado de las reservas bajo condiciones de sombra, no ha sido evaluada aún.

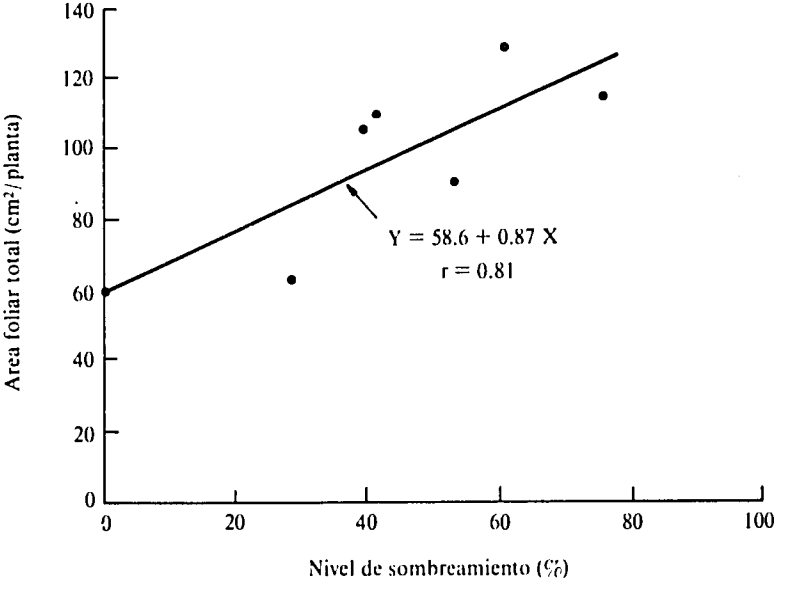



Figura 12. Area foliar total por planta de *A. gayanus*, bajo diferentes niveles de sombreamiento.

## Compatibilidad de *A. gayanus* con las Leguminosas

*A. gayanus* ha sido reconocida como una gramínea bien adaptada a suelos pobres y ácidos bajo condiciones climáticas subhúmedas. Posee ciertas características fisiológicas que le permiten utilizar eficientemente recursos como la radiación solar,

el agua y los nutrimentos del suelo, y para competir con otras plantas por estos recursos. Se asume, además, que por su hábito de crecimiento en macollas sería fácilmente compatible con las leguminosas.

Entre 1979 y 1982 se hicieron experimentos en la subestación CIAT-Quilichao (CIAT, 1981; Cuesta, 1982) en los cuales se evaluaron las relaciones de compatibilidad aérea y radical entre las gramíneas tropicales *A. gayanus* CIAT 621 y *B. decumbens* CIAT 606 cuando se cultivaron asociadas con cada una de las siguientes leguminosas: *C. pubescens* CIAT 438, *D. ovalifolium* CIAT 350, *Pueraria phaseoloides* CIAT 9900, *S. guianensis* CIAT 184, y *S. capitata* CIAT 1315. En cada asociación se sembraron hileras de gramínea y de leguminosa, no sólo como mezclas en que alternaban las hileras de ambas especies, sino como siembras puras. En unas y otras se conservaron iguales distancias tanto entre las hileras como dentro de ellas, para que la densidad de los componentes de la mezcla fuera la mitad de la que éstos tenían cuando se hallaban en las siembras puras. Los datos se presentan como un índice de compatibilidad relativa (ICR):

$$ICR = \frac{2\ (\text{Rendimiento de la leguminosa en asociación})}{\text{Rendimiento de la leguminosa en monocultivo}} \quad (2)$$

El numerador se multiplica por 2 para compensar por la reducción a la mitad de la densidad de población de la leguminosa en la mezcla. Empleando como denominador para calcular el ICR el rendimiento de la leguminosa en el monocultivo, hay cabida para cambios en la población de la leguminosa causados por factores diferentes de la competencia que hace la gramínea.

Es interesante observar en la Figura 13 que se obtiene un nivel más alto del ICR para las diferentes leguminosas cuando éstas se asocian con *A. gayanus*, y más bajo cuando se asocian con *B. decumbens*. Debe señalarse también el fuerte efecto negativo de la asociación de estas dos gramíneas en la producción de las leguminosas, después del período de establecimiento; ese efecto, sin embargo, fue menor en *D. ovalifolium*, leguminosa que

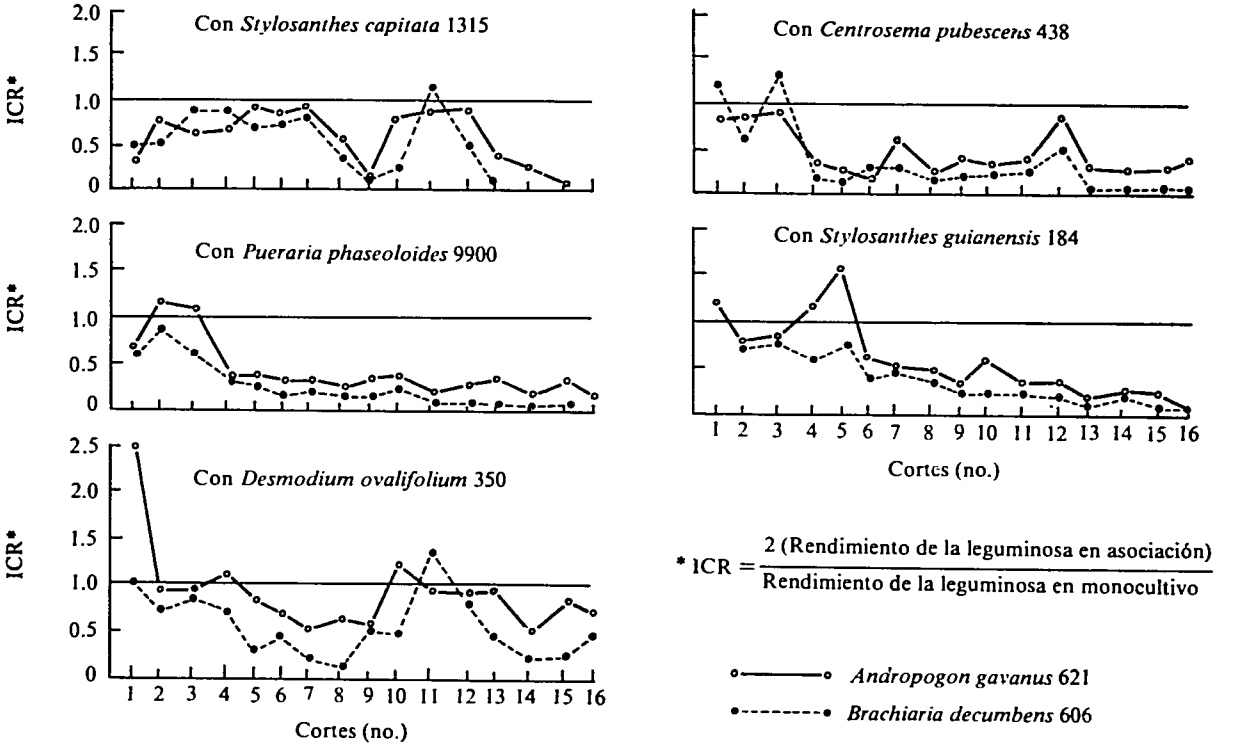



Figura 13. Dinámica de la composición botánica, expresada como Indice de Compatibilidad Relativa (ICR), de cinco leguminosas asociadas con *A. gayanus* y con *B. decumbens*, y determinada en 16 cortes hechos en dos años.

FUENTE: CIAT, 1981.

mantuvo un nivel de ICR muy cercano a 1.0 expresando así su mayor agresividad. Nótese igualmente que *S. capitata* mantiene niveles de ICR altos pero fluctuantes, tal vez a causa del restablecimiento de las nuevas generaciones de esta especie bianual de alta capacidad de producción de semilla.

La compatibilidad se manifestó también bajo la superficie del suelo. Cilindros de suelo de 10 cm de diámetro y 40 cm de profundidad fueron extraídos del suelo en la interfase (50 cm) que separaba las hileras de plantas de gramínea y de leguminosa; se removió luego el suelo de las raíces, y se separaron las raíces de la gramínea y de la leguminosa usando el método descrito por Cuesta (1982). Partiendo de los rendimientos de MS de las raíces en cada cilindro (tomado éste a 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 y 40-50 cm ya sea desde la leguminosa o desde la gramínea), se calculó el siguiente índice de agresividad radicular (IAR) de cada leguminosa:

$$IAR = \frac{\text{Rendimiento de MS de raíces de la leguminosa}}{\text{Rendimiento de MS de raíces de la gramínea}} \quad (3)$$

Es obvio que *A. gayanus* inhibe el desarrollo radicular de las leguminosas con menor intensidad que *B. decumbens* (Figura 14), resultado que sugiere con claridad que *A. gayanus* es, de los dos pastos, el menos agresivo.

Otro factor de competencia entre plantas es la sombra que una planta pueda hacer a otra, interceptando la radiación solar. El sombreamiento de leguminosas $C_3$ asociadas con una gramínea de porte alto, como *A. gayanus*, podría ser benéfico. En la subestación de CIAT-Quilichao se hizo un ensayo para evaluar el efecto del sombreamiento de diferentes niveles de biomasa acumulada de *A. gayanus* en varias leguminosas (CIAT, 1980). Para uniformar el efecto del sombreamiento, en las parcelas de campo, orientadas en dirección norte-sur, se sembró material vegetativo de un clon 'hojoso' (abundante en hojas) de *A. gayanus*. Asimismo, durante los diez meses que siguieron al establecimiento de las plantas, se hicieron cortes en las parcelas cada seis semanas para uniformar el desarrollo de las raíces en todo el experimento. Al comienzo de un período de lluvias se hicieron cortes en secuencia, a fin de generar cinco muestras

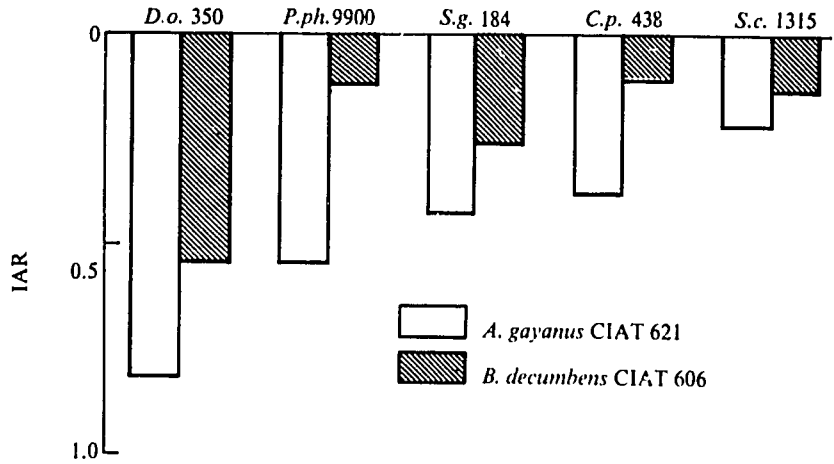



Figura 14. Indice de Agresividad Radicular (IAR), en promedio, entre las plantas de *A. gayanus* o de *B. decumbens* y diversas leguminosas sembradas con ellas. *D.o.* = *D. ovalifolium*, *P. ph.* = *P. phaseoloides*, *S.g.* = *S. guianensis*, *C.p.* = *C. pubescens* y *S.c.* = *S. capitata*. Los datos son un promedio de cinco cilindros de suelo de 40 cm de altura tomados a intervalos de 10 cm en los 50 cm de interfase entre la gramínea y la leguminosa.

diferentes de biomasa de *A. gayanus;* se hizo también un corte de uniformidad a las leguminosas asociadas, y se evaluó el rebrote pasadas cinco semanas.

Los resultados de los ensayos anteriores aparècen en la Figura 15. Se observó que el máximo nivel de radiación solar interceptada por las plantas de *A. gayanus* fue inferior a 28%; sin embargo, aun en ese rango se observaron importantes reacciones entre las leguminosas estudiadas en las asociaciones. Mientras que en *Stylosanthes guianensis* CIAT 184 y *S. capitata* CIAT 1315 decreció la producción de rebrote, *Centrosema pubescens* CIAT 438 y *Pueraria phaseoloides* CIAT 9900 incrementaron esa producción a medida que se incrementó el sombreamiento; por su parte, *Desmodium ovalifolium* CIAT 350 se mantuvo indiferente a éste.

El manejo del pastoreo afecta fuertemente las relaciones entre las plantas. Entre 1980 y 1983 (CIAT, 1981; Toledo et al., 1983; Giraldo y Toledo, 1986), se estableció en CIAT-Quilichao un

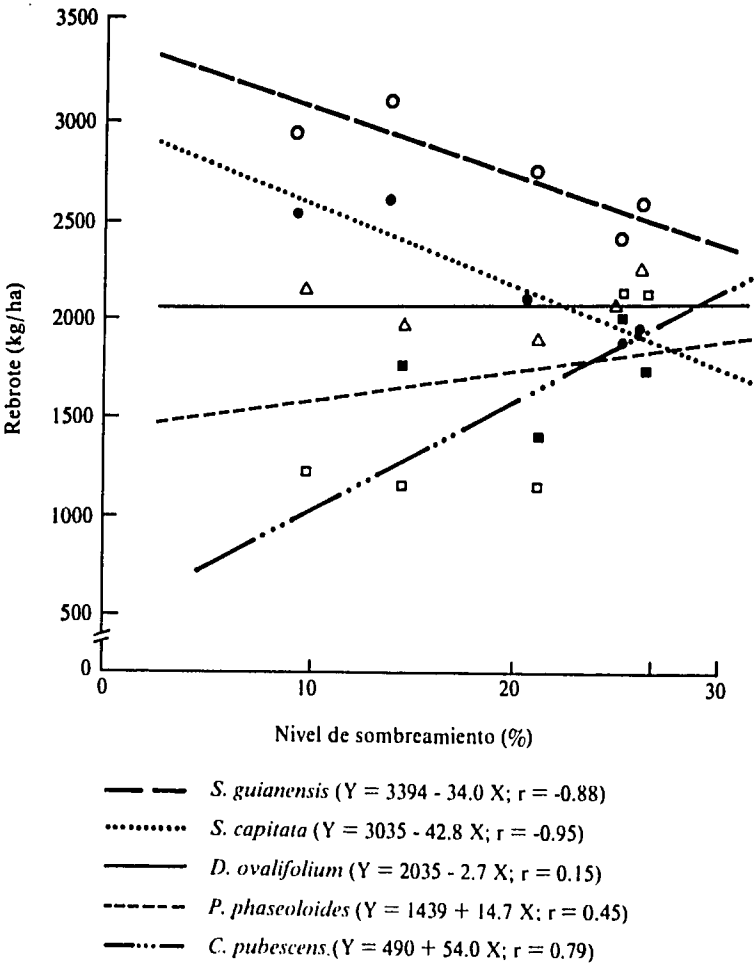



Figura 15. Reacción de varias leguminosas al sombreamiento causado por *A. gayanus*.

experimento de pastoreo en pequeñas parcelas para evaluar la compatibilidad, bajo pastoreo, de cinco asociaciones promisorias, entre las que se contaban *A. gayanus* CIAT 621 y *P. maximum* CIAT 604 con *C. pubescens* CIAT 438. Tres niveles de presión de pastoreo se aplicaron en rotación, cada seis semanas en los períodos lluviosos y cada ocho semanas en los secos, según la oferta de MSV[1] disponible antes de iniciar cada ciclo de pastoreo;

1. MSV = materia verde en base seca (= materia seca 'verde') es la producción de partes verdes de la planta obtenida al momento del corte.

los niveles de presión de pastoreo aplicados se calcularon como 2, 4 y 6 kg MSV/100 kg de peso vivo, correspondientes a presiones de pastoreo alta, media y baja, respectivamente.

Las diferentes presiones generaron rápidamente diferencias en la arquitectura de la biomasa de las dos pasturas asociadas (Figura 16). Obsérvese cómo la biomasa total en oferta (o disponible) después del quinto período de pastoreo contrasta claramente con la de los períodos anteriores; sin embargo, las cargas aplicadas tendieron a uniformarse con el tiempo. Estas tendencias indican que las tasas de crecimiento de las pasturas de diferente arquitectura que se desarrollaron bajo las distintas presiones de pastoreo se ajustaron de tal modo que sólo generaban la cantidad de materia verde consumida por los animales en cada pastura; de ese modo se mantenían cargas similares en la segunda mitad del experimento. Este resultado es particularmente interesante, porque muestra la importancia del efecto residual del manejo inicial para la arquitectura de la pastura, cuando se aplican a ésta presiones de pastoreo constantes; indica además que, bajo presiones de pastoreo diferentes, las cargas resultantes pueden ser semejantes. Es razonable esperar, sin embargo, que estas cargas semejantes ocasionen niveles diferentes de consumo de forraje y, en consecuencia, distintas ganancias de peso vivo por animal. Lamentablemente, dados los objetivos del ensayo y el tamaño limitado de las parcelas (1200 $m^2$) no fue posible evaluar las ganancias de peso de los animales.

Las presiones de pastoreo aplicadas causaron, además de cambios en la biomasa total, diferencias en la composición botánica de la pastura. En la Figura 17 se observa que, mientras la proporción de *C. pubescens* —a partir del período 5 de pastoreo en los tres manejos diferentes— se mantuvo entre 2% y 20% en la asociación con *A. gayanus,* fue sólo de 1% a 5% en la asociación con *P. maximun.* Nótese que en la asociación de *C. pubescens* con *A. gayanus* la proporción de leguminosa se estabiliza alrededor de 15% con las presiones baja y media, y alrededor de 3% con la presión alta; en la asociación con *P. maximum,* en cambio, no hubo diferencias respecto a las presiones mencionadas.

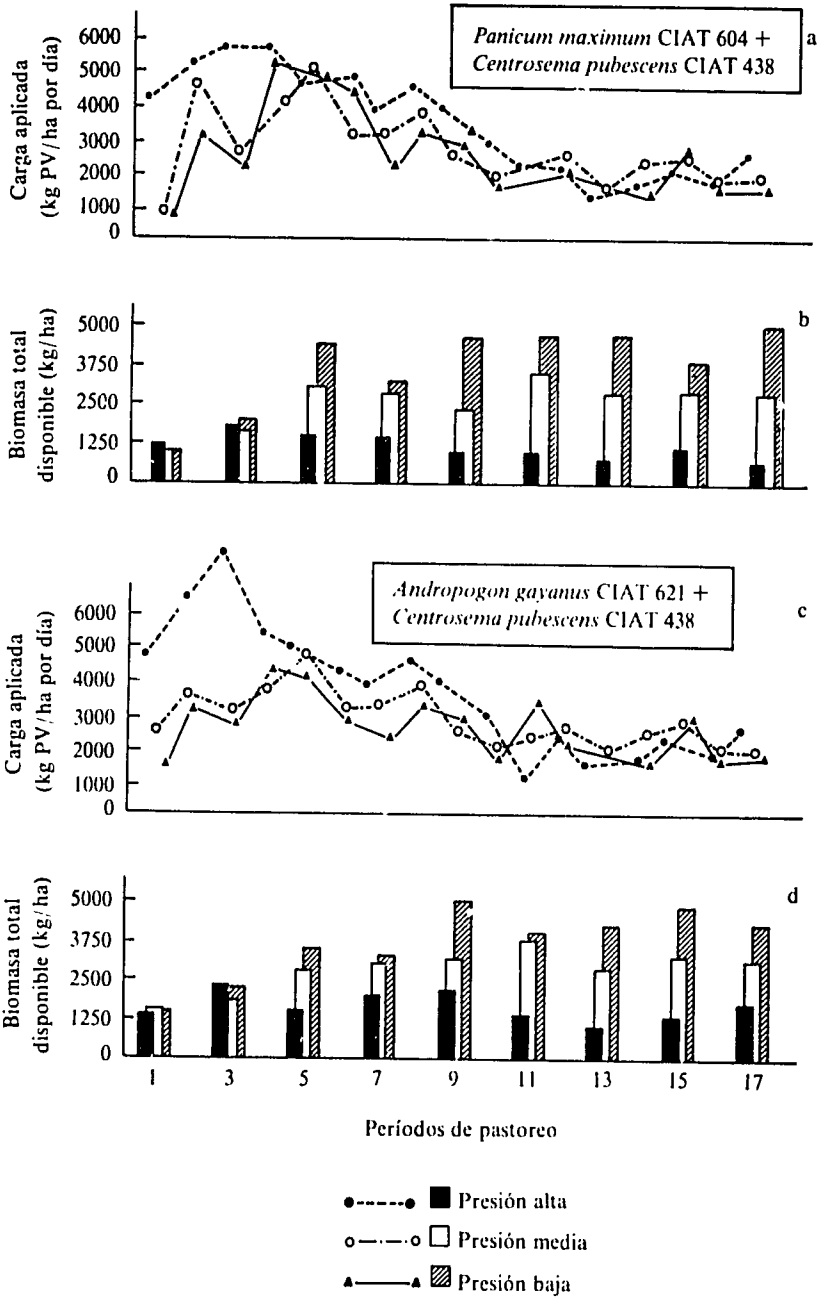



Figura 16. Biomasa total disponible y cargas que se aplican según el nivel de la presión de pastoreo, en dos asociaciones gramínea-leguminosa. a y b: *P. maximum* y *C. pubescens;* c y d: *A. gayanus* y *C. pubescens.*

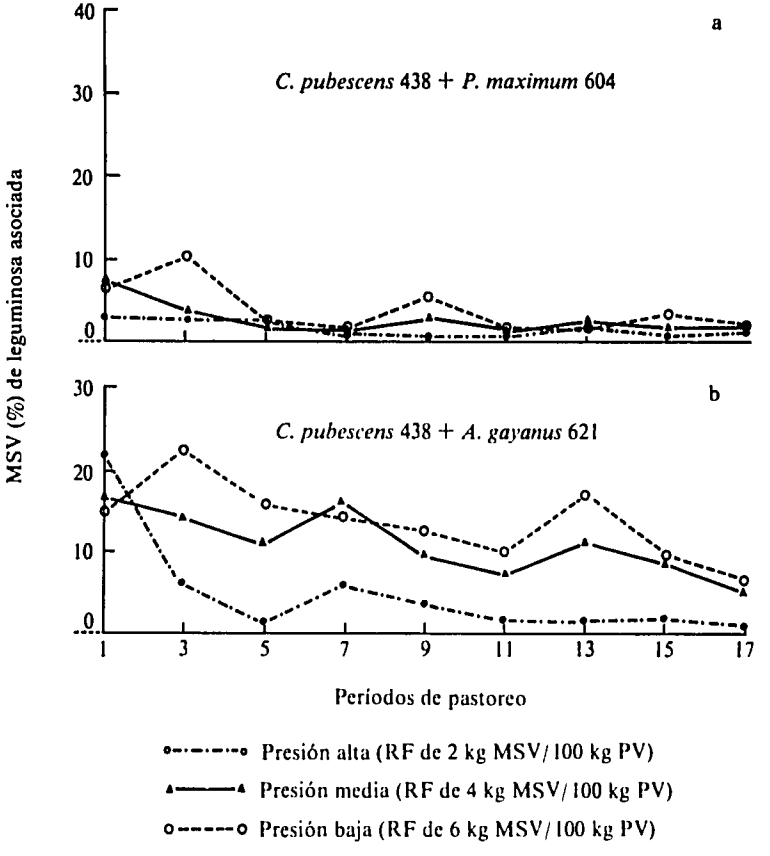



Figura 17. Dinámica de la proporción de leguminosa, medida como materia verde en base seca (MSV), en dos asociaciones con gramíneas, a y b, bajo tres presiones de pastoreo: alta, media y baja. RF = ración de forraje.

La arquitectura de la pastura se analizó después de un rebrote de seis semanas al final del experimento, es decir, después de 17 pastoreos hechos en dos años. Nótese (Cuadro 3) que la proporción de MS muerta fue similar en ambas pasturas; en cambio, en ambas la MSV y la MS de las malezas varió. En la asociación con *A. gayanus* sometida a presión alta, la proporción de MSV fue alta y la de malezas fue menor con respecto a las otras dos presiones; en cambio, en la asociación con *P. maximum* la proporción de malezas más alta se registró bajo la presión alta. En el Cuadro 4 se analizan las cantidades de MSV totales y su

composición en cuanto a gramínea y leguminosa. Obsérvese cómo la proporción de *C. pubescens* asociada con *A. gayanus* fue superior a la de esa misma leguminosa asociada con *P. maximum*, en las presiones de pastoreo media y baja.

Cuadro 3. Composición de dos pasturas después de 17 pastoreos hechos durante dos años (1981-1983) bajo tres presiones de pastoreo, en CIAT-Quilichao.

| Pastura | Fracción de la pastura | Presión de pastoreo[a] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Alta | Media | Baja |
| *A. gayanus* CIAT 621 + *C. pubescens* CIAT 438 | MS total (kg/ha) | 1827 | 3350 | 4890 |
| | MS muerta (%) | 53 | 59 | 59 |
| | MS, verde (%) | 44 | 36 | 34 |
| | MS, malezas (%) | 3 | 5 | 7 |
| *P. maximum* CIAT 604 + C. *pubescens* CIAT 438 | MS total (kg/ha) | 704 | 2997 | 5327 |
| | MS muerta (%) | 48 | 50 | 48 |
| | MS, verde (%) | 46 | 48 | 51 |
| | MS, malezas (%) | 6 | 2 | 1 |

a. Presiones de pastoreo, equivalentes a las siguientes raciones de forraje:

alta = 2 kg MSV/100 kg PV
media = 4 kg MSV/100 kg PV
baja = 6 kg MSV/100 kg PV.

Cuadro 4. Composición de la MSV de dos pasturas después de 17 pastoreos hechos en dos años (1981-1983) bajo tres presiones de pastoreo, en CIAT-Quilichao.

| Pastura | Fracción de la pastura | Presión de pastoreo[a] | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Alta | Media | Baja |
| *A. gayanus* CIAT 621 + *C. pubescens* CIAT 438 | MSV total (kg/ha) | 806 | 1223 | 1667 |
| | MSV gramínea (%) | 99 | 94 | 93 |
| | MSV leguminosa (%) | 1 | 6 | 7 |
| *P. maximum* CIAT 604 + *C. pubescens* CIAT 438 | MSV total (kg/ha) | 324 | 1475 | 2732 |
| | MSV gramínea (%) | 99 | 98 | 98 |
| | MSV leguminosa (%) | 1 | 2 | 2 |

a. Presiones de pastoreo, equivalentes a las siguientes raciones de forraje:

alta = 2 kg MSV/100 kg PV
media = 4 kg MSV/100 kg PV
baja = 6 kg MSV/100 kg PV.

Estos resultados sugieren que, bajo las condiciones de CIAT-Quilichao (suelo: Ultisol), *C. pubescens* CIAT 438 es compatible con *A. gayanus,* bajo pastoreo; no lo es, en cambio, con *P. maximum,* que resultó ser más competitivo para esa leguminosa. Una posible explicación de esta falta de compatibilidad entre *P. maximum* y *C. pubescens* sería la mayor competencia por los nutrimentos del suelo ejercida por *P. maximum.* Por otro lado, las diferencias en preferencia relativa, entre *C. pubescens* y las dos gramíneas, causadas por los animales en pastoreo podrían afectar también las relaciones de compatibilidad de las dos especies.

La competencia por nutrimentos del suelo tiene influencia en la compatibilidad entre los componentes de una asociación de gramínea y leguminosa. El caso específico de la asociación *A. gayanus* + *S. capitata* fue estudiado en el CNIA de Carimagua por Valencia et al. (1984). Los resultados obtenidos indicaron que la competencia por nutrimentos del suelo era responsable del descenso de la proporción de leguminosa en la asociación. Más aún, las plántulas de la segunda generación de *S. capitata* fueron incapaces de desarrollarse por causa de la competencia entre raíces establecida por las plantas adultas de *A. gayanus.* Se demostró además que esas plántulas eran deficientes en K, especialmente cuando crecían a distancias menores de 1 m de las plantas adultas de *A. gayanus.* Se observó igualmente una respuesta lineal (hasta 180 kg/ha) de las plántulas de *S. capitata* a la fertilización con K; esa dosis es tres veces mayor que el nivel de K recomendado para el establecimiento de una pastura en Carimagua.

En la literatura científica sobre el efecto ejercido por los nutrimentos en la competencia entre gramíneas y leguminosas se lee comúnmente que el fósforo favorece el desarrollo de éstas. Se debe enfatizar, sin embargo, que tanto *A. gayanus* como *S. capitata* son especies adaptadas a suelos ácidos y pobres, y que no solamente responden al P aplicado en niveles bajos, sino que son capaces de producir biomasa cuando hay poco fósforo en el suelo. Por ello, en el Oxisol de Carimagua el nivel de P es suficiente, al parecer, para el desarrollo de ambas especies (CIAT, 1984; CIAT, 1985). No obstante, dada la mayor respuesta de *A.*

*gayanus* al P y su sistema radical más extenso y profundo que el de *S. capitata,* cuando se añade el P solo al suelo tiende a favorecer el desarrollo de la gramínea. En contraste, la cantidad de cationes intercambiables del suelo favorece el desarrollo de las plántulas de *S. capitata* —por ejemplo, si se añade K en dosis de 20 kg/ha, el desarrollo de la leguminosa resulta favorecido.

El manejo de la defoliación y del pastoreo modifica también el equilibrio y las relaciones de competencia entre los componentes de una asociación de gramínea y leguminosa. Lemus y Toledo (1986) estudiaron el efecto de diferentes niveles de desarrollo de *A. gayanus* en el crecimiento de las plántulas de *S. capitata.* La gramínea se estableció 0, 2, 4, 6 y 8 semanas antes que la leguminosa en macetas que contenían suelo de Carimagua, y tanto ésta como aquélla se cosecharon 70 días después de la siembra de la leguminosa. El rendimiento de *S. capitata* descendió linealmente, al tiempo que aumentaba la biomasa total de la gramínea (Figura 18). No obstante, cuando se hicieron cortes en la gramínea al momento de la siembra de la leguminosa y cada cuatro semanas de ahí en adelante, se obtuvo una respuesta parabólica de *S. capitata* con un efecto positivo en el rendimiento de la leguminosa, cuando los rendimientos de *A. gayanus* eran bajos, y un efecto fuertemente negativo cuando eran mayores los rendimientos de la gramínea.

Así pues, la defoliación producida por el corte favoreció el desarrollo de las plántulas, tal vez reduciendo temporalmente la actividad o el tamaño del sistema radical de la gramínea y disminuyendo la competencia por agua y nutrimentos que experimenta el pequeño sistema radical de las plántulas de la leguminosa.

Se hicieron también experimentos de campo sobre fertilización y defoliación en la finca Alta Gracia de los Llanos Orientales de Colombia (CIAT, 1985): en esos experimentos la defoliación de *A. gayanus* (hasta 30 cm) favoreció la regeneración de las plántulas de *S. capitata,* cuya respuesta a la aplicación de K, aunque positiva, fue de menor magnitud. De modo semejante, en un experimento sobre pastoreo hecho en Carimagua, donde la asociación de *A. gayanus* y *S. capitata* fue sometida a tres cargas,

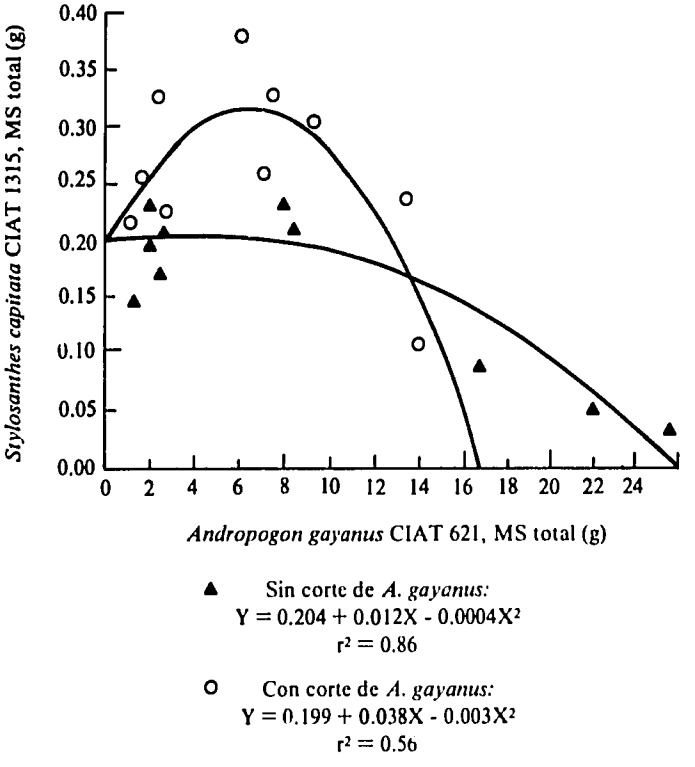



Figura 18. Relación entre el rendimiento total de MS de *Stylosanthes capitata* CIAT 1315 y *Andropogon gayanus* CIAT 621, cultivadas en asociación en macetas, con corte y sin corte.

FUENTE: Lemus y Toledo, 1986.

la regeneración inicial de las plántulas de *S. capitata* sólo ocurrió bajo la carga más alta (CIAT 1985); sólo hubo ligeras respuestas al K aplicado en tasas de 10 a 80 kg/ha.

Todos estos resultados sugieren la importancia tanto del pastoreo como de la defoliación drástica e intermitente para disminuir la fuerte competencia que hacen las raíces de *A. gayanus*, y favorecer así su compatibilidad con las leguminosas.

La palatabilidad relativa de *A. gayanus*, comparada con la de la leguminosa, puede causar importantes efectos en la competencia entre los componentes de una asociación.

Observaciones hechas en CIAT-Quilichao y en Carimagua (CIAT, 1980 a 1985) indicaron que las leguminosas que son muy palatables durante todo el año, como *S. capitata* y *S. macrocephala*, experimentan cierta desventaja en la competencia con la gramínea bajo pastoreo continuo, ya que su biomasa fotosintética es inferior a la que se necesita para un crecimiento rápido (Toledo et al., 1987). En cambio, especies de baja palatabilidad y de alta agresividad, como *D. ovalifolium*, se acumulan en el potrero y dominan a la gramínea, especialmente bajo pastoreo continuo. Por ello, las leguminosas de palatabilidad relativa media, como *Centrosema pubescens*, *C. acutifolium*, *C. macrocarpum*, y *C. brasilianum*, parecen tener mayor probabilidad de ser compatibles con *A. gayanus* bajo amplios rangos de opciones de manejo (Toledo et al., 1983; Giraldo y Toledo, 1986; CIAT, 1983; CIAT, 1984; CIAT, 1985).

La adaptación de la leguminosa y la gramínea, como componentes de una asociación, a las condiciones particulares del suelo ejerce una profunda influencia en las relaciones de compatibilidad de ambos. Por ejemplo, en diferentes fincas de los Llanos Orientales *A. gayanus* domina en suelos de textura pesada a franca, en tanto que *S. capitata* tiende a dominar en los de textura muy arenosa (CIAT, 1983; CIAT, 1984). No se ha esclarecido aún, sin embargo, a qué debe atribuirse la adaptación de estas especies a los suelos de diferente textura.

## Resumen

*A. gayanus* es una gramínea de tipo $C_4$, cuyos estomas son insensibles a los déficit de humedad del aire; es también tolerante a la desecación de sus tejidos, y hace un uso eficiente de la humedad del suelo en los períodos secos. Mantiene su actividad fotosintética y metabólica aun bajo condiciones extremas de sequía, y puede rebrotar rápidamente cuando comienzan las lluvias. Es también una especie resistente a la quema. Cuando está sometida a sombreamiento, reacciona alargando sus tallos y movilizando sus recursos de crecimiento para expandir su superficie fotosintética a expensas de su desarrollo estructural y radical.

Es una gramínea de agresividad media en sus relaciones de competencia con las leguminosas 'asociantes', y es menos agresiva que *B. decumbens* o que *P. maximum* en las condiciones de CIAT-Quilichao, en Colombia. Al parecer, un grado más intenso de defoliación o pastoreo disminuye la agresividad de *A. gayanus* favoreciendo así a la leguminosa. Las experiencias hechas indican que leguminosas del género *Centrosema* serán más compatibles con esta gramínea a diferencia de otras especies de los géneros *Stylosanthes* y *Desmodium.*

## Referencias


Abaunza, J. A. 1982. Growth and quality of nine tropical grasses and twelve tropical legumes under dry and rainy season conditions. Tesis (M.S.). New Mexico State University, Las Cruces, NM, E.U. 128 p.

Burton, G. W.; Jackson, J. E. y Knox, F. E. 1959. The influence of light reduction upon the production, persistence and chemical composition of coastal bermuda grass *(Cynodon dactylon).* Agron. J. 51:537-42.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1978. Programa de Ganado de Carne. En: Informe anual CIAT 1977. Cali, Colombia. p. A-1 a A-124.

———. 1980. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1979. Cali, Colombia. 159 p.

———. 1981. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1980. Cali, Colombia. 138 p.

———. 1982. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1981. Cali, Colombia. 302 p.

———. 1983. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1982. Cali, Colombia. 366 p.

———. [1984]. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1983. Cali, Colombia. 375 p.

———. [1985]. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1984. Cali, Colombia. 274 p.

Cuesta, P. A. 1982. Above-ground production and rooting patterns of six tropical grasses in association with two legumes with or without nitrogen fertilization. Tesis (M.S.). New Mexico State University, Las Cruces, NM, E.U. 144 p.

El-Sharkawy, M. A.; Cock, J. H. y Held, A. A. 1984. Water use efficiency of cassava; II: differing sensitivity of stomata to air humidity in cassava and other warm-climate species. Crop Sci. 24:503-507.

———; ——— y Hernández, A. P. 1985. Stomatal response to air humidity and its relation to stomatal density in a wide range of warm climate species. Photosynth. Res. 6:11.

Evans, G. C. 1972. The quantitative analysis of plant growth. University of California, Berkeley, CA, E.U. 734 p.

Giraldo, H. y Toledo, J. M. [1986]. Compatibilidad y persistencia de gramíneas y leguminosas bajo pastoreo en pequeñas parcelas. En: Pizarro, E. A. (ed.). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales; resultados 1982-1985. Tercera reunión de la RIEPT, octubre 21-24, 1985, 2 vols. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. Vol. 2, p. 1079-1084.

Horst, G. L. y Nelson, C. J. 1979. Compensatory growth of tall fescue following drought. Agron. J. 71(4):559-563.

Jones, C. A. 1979. The potential of *Andropogon gayanus* Kunth in the Oxisol and Ultisol savannas of tropical America. Herbage Abstr. 49(1):1-8.

———; Peña, D. y Gómez Carabaly, A. 1980. Effects of plant water potential, leaf diffusive resistance, rooting density and water use on the dry matter production of several tropical grasses during short periods of drought stress. Trop. Agric. 57(3):211-219.

Lemus, R. A. y Toledo, J. M. 1986. Competencia entre *Andropogon gayanus* y plántulas en desarrollo de *Stylosanthes capitata*. Pasturas Trop. Bol. 8(3):9-13.

Ludlow, M. M. 1976. Ecophysiology of $C_4$ grasses. En: Lange, O. L., Kappen, L., y Shultze, E. D. (eds.). Water and plant life: problems and modern approaches. Ecological studies. Springer-Verlag, Berlín, Vol. 19, p. 364-386.

———. 1978. Light relations of pasture plants. En: Wilson, J. R. (ed.). Plant relations in pastures. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Melbourne, Australia. p. 35-49.

———; Fisher, M. J. y Wilson, J. R. 1985. Stomatal adjustment to water deficits in three tropical grasses and a tropical legume grown in controlled conditions and in the field. Aust. J. Plant Physiol. 12(3):131-149.

——— y Ng, T. T. 1977. Leaf elongation rate in *Panicum maximum* var. *trichoglume* following removal of water stress. Aust. J. Plant Physiol. 4:263-272.

——— y ———. 1974. Water stress suspends leaf ageing. Plant Sci. Lett. 3:235-240.

——— y Wilson, G. L. 1971. Photosynthesis of tropical pasture plants; II: temperature and illuminance history. Aust. J. Biol. Sci. 24:1065-1075.

Moreno R., M. A.; Machado, R. C. y Souza, H. M. 1983. Produção de quatro gramíneas forrageiras tropicais em condições de deficiência hídrica. Rev. Soc. Bras. Zootec. 12(2):357-368.

Singh, M.; Ogren, W. L. y Widholm, J. M. 1974. Photosynthetic characteristics of several $C_3$ and $C_4$ plant species grown under different light intensities. Crop Sci. 14:563-566.

Toledo, J. M.; Giraldo, H. y Spain, J. M. 1987. Efecto del pastoreo continuo y del método de siembra en la persistencia de la asociación *Andropogon gayanus/Stylosanthes capitata*. Pasturas Trop. Bol. 9(3):18-24.

———; Lascano, C.; Giraldo, H. y Hoyos, P. 1983. Evaluación en pastoreo de asociaciones en pequeñas parcelas. En: Novena reunión de ALPA. Resúmenes. Asociación Latinoamericana de producción Animal (ALPA), Santiago, Chile.

Valencia, I. M.; Spain, J. M. y Mott, G. O. 1984. Nutrient competition in *A. gayanus/S. capitata* association. En: Forage and Grassland Conference, Houston, Texas, enero 1984. Memorias. p. 324-326.

Wong, C. C. y Wilson, J. R. 1980. Effects of shading on the growth and nitrogen content of Green Panic and Siratro in pure and mixed swards defoliated at two frequencies. Aust. J. Agric. Res. 31:269-285.

# REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE *ANDROPOGON GAYANUS*

José G. Salinas y Saif ur Rehman Saif*

## Introducción

Durante los últimos años se ha prestado bastante atención, en varias regiones tropicales, al desarrollo de una tecnología de bajo costo y de pocos insumos para el establecimiento de pasturas. Los insumos son un componente importante de la fertilización, y su uso estratégico se basa en tres principios: 1) sembrar especies forrajeras adaptadas a las limitaciones del suelo, en vez de eliminar esas limitaciones con enmiendas y fertilización; 2) maximizar la producción de forraje mediante un uso eficiente de los recursos existentes; y 3) emplear con mayor ventaja los atributos favorables de los suelos tropicales. Como ejemplo del primer principio, *Andropogon gayanus* Kunth, una gramínea forrajera de origen africano, ha recibido particular atención en zonas tropicales a causa de su adaptación a un rango amplio de climas y suelos.

Los requerimientos nutricionales de los pastos tropicales se cumplen, generalmente, en dos etapas: en el establecimiento y en el mantenimiento de éstos. Este capítulo discute los primeros que, en la mayoría de los casos, cubren el primer año de desarrollo de las plantas. El conocimiento de los requerimientos nutricionales de *A. gayanus* durante su período de mantenimiento es mínimo, pero exige una investigación sustancial.

---

* José G. Salinas, científico de suelos, sección de Suelos y Nutrición de Plantas del Programa de Pastos Tropicales del CIAT; actualmente dirige el proyecto SRJ-3 de recuperación de pasturas adelantado por el CIAT y el Gobierno de Japón en Pucallpa, Perú. Saif ur Rehman Saif, microbiólogo de suelos, dirigió el proyecto especial de micorrizas en la sección de Microbiología de Suelos del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia.

## Adaptación a Suelos Acidos de Baja Fertilidad

Debe destacarse el concepto de que la fertilidad del suelo es relativa y depende de la escala con que se la mida. Tomando como estándar un cultivo no adaptado a estos ecosistemas, la mayor parte de los suelos ácidos serían clasificados como infértiles; midiendo en cambio la fertilidad de esos suelos con especies adaptadas a ellos como *A. gayanus,* parecen bastante fértiles (Spain, 1981). De ahí que los requerimientos nutricionales de *A. gayanus* dependerán considerablemente de las relaciones suelo-planta existentes en un ecosistema específico. Cuanto más ácido sea un suelo y más limitada su disponibilidad de nutrimentos, más restringido será el rango de adaptación al ecosistema.

Los suelos ácidos de América tropical (pH $\leq$ 5.5) que primariamente pertenecen a los órdenes Oxisol, Ultisol y, a veces, Inceptisol de características óxicas (Figura 1), constituyen una enorme extensión de tierra potencialmente arable pero presentan problemas de manejo que, en general, han limitado el desarrollo agrícola de esas regiones. Casi todos estos suelos exhiben un 'complejo de baja fertilidad' que significa, en general, alta acidez, toxicidad por Al o por Mn (o por ambos elementos), y una deficiencia de macro y micronutrimentos.

La gramínea forrajera *A. gayanus* ha sido sometida a una serie de evaluaciones y ha demostrado una adaptación excelente a los suelos ácidos y de baja fertilidad (Jones, 1979; Thomas et al., 1981; CIAT, 1979). Esta gramínea ha mostrado, además, una gran adaptación a otros tipos de suelos, como los suelos aluviales fértiles (Barrault, 1973), los suelos derivados de rocas serpentinas (Wild, 1974), y los suelos arcilloarenosos de mediana a alta fertilidad (Bowden, 1963). Estos resultados contienen la evidencia de que *A. gayanus* posee una amplia adaptación edáfica que va desde los Oxisoles y Ultisoles (suelos ácidos de baja fertilidad) hasta los Alfisoles y Molisoles (suelos neutros de alta fertilidad). De ahí que las restricciones en su adaptación se refieran más a la altitud mayor que los 2000 msnm, a las épocas secas de más de seis meses de duración, y a una precipitación anual inferior a 750 mm (Bowden, 1964; Bogdan, 1977; Jones, 1979).

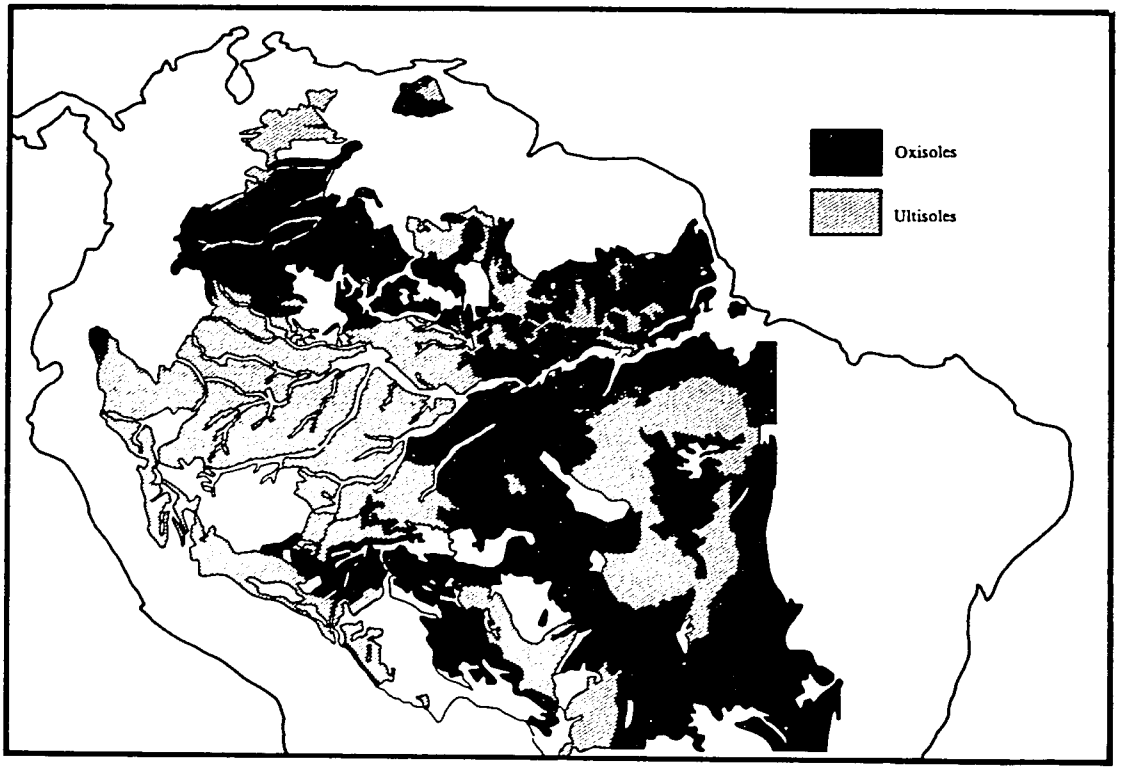


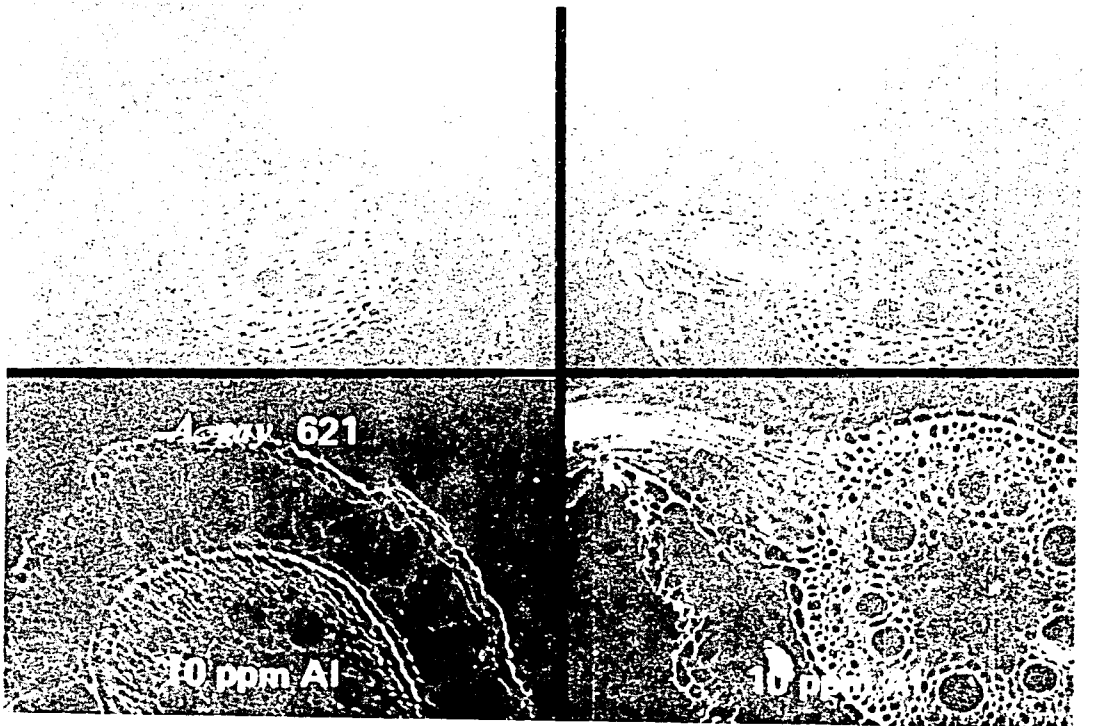

Figura 1. Distribución de suelos Oxisoles y Ultisoles en América tropical.
FUENTE: Cochrane et al., 1985.

## Tolerancia a la toxicidad por aluminio

La tolerancia de *A. gayanus* a la toxicidad causada por el Al es una adaptación genética que resulta de una selección involuntaria ocurrida en suelos ácidos. Varios intentos se han hecho para explicar las causas de esa tolerancia; básicamente, éstas pertenecen a dos categorías: 1) cambios diferenciales en la morfología radicular, y 2) cambios en la fisiología y en la bioquímica de la planta. Esta división no implica que la tolerancia al Al de *A. gayanus* resulte de cada categoría independientemente; por el contrario, el grado de tolerancia parece ser una combinación de ambas categorías, donde la segunda es a menudo considerada como una consecuencia de los cambios morfológicos en el sistema radical (Moore, 1974; Ali, 1973).

A pesar de que se han hecho pocos estudios sobre la caracterización del sistema radical de *A. gayanus* (Bowden, 1963; Mendoza, 1979; EMBRAPA, 1981), se atribuye a características especiales de la morfología de su sistema radical su tolerancia a los suelos ácidos con niveles altos de saturación de Al. Bowden (1963) identificó tres tipos de raíces morfológicamente distintos: 1) raíces fibrosas que se extienden lateralmente y exploran un volumen considerable de la capa arable; 2) raíces de anclaje de las macollas que se extienden, en un ángulo de $30^0$ a $40^0$, desde la superficie del suelo hasta unos 50 cm de profundidad; y 3) raíces verticales que penetran en el suelo a profundidades mayores que 80 cm, explorándolo en busca de agua y de los nutrimentos del subsuelo. La proporción de estos tres tipos de raíces, respecto al peso seco, es de 50%, 40% y 10%, respectivamente.

Utilizando la técnica de tinción del sistema radical de plántulas jóvenes con una solución de hematoxilina (0.2%), cuya gran afinidad por el Al permite detectar la entrada y la acumulación del Al a nivel celular para distinguir las plantas tolerantes de las menos tolerantes, se ha observado una clara distinción entre el grado de tolerancia de *A. gayanus* 621 y el de *P. maximum* 604 a la toxicidad del Al (Figura 2). Es razonable afirmar que el sistema radical de *P. maximum* 604 se inhibe porque absorbe más Al dentro de las células meristemáticas, y que el de *A. gayanus*




15 dias de crecimiento

30 dias de crecimiento

Figura 2. Desarrollo diferencial de las raíces laterales de *P. maximum* 604 y *A. gayanus* 621, a los 15 y 30 días de crecimiento en solución nutritiva, en presencia de 10 ppm de Al.

621, en cambio, tiende a excluir el Al mediante algún mecanismo fisiológico. La prueba de que esta exclusión ocurre es la comparación de la concentración de Al en el tejido foliar de *A. gayanus* y de otras gramíneas forrajeras establecidas en suelos con diferentes niveles de saturación de Al en Carimagua (Figura 3). Si bien a 90% de saturación de Al en el suelo, *Melinis minutiflora, A. gayanus* 621 y *P. maximum* 604 tienen el menor contenido de Al foliar en relación con *Digitaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa,* una ligera reducción de esa saturación de Al (86%) causó una disminución (cerca del 70%) de la concentración foliar de Al de *A. gayanus;* lo siguen *H. rufa* (62%),

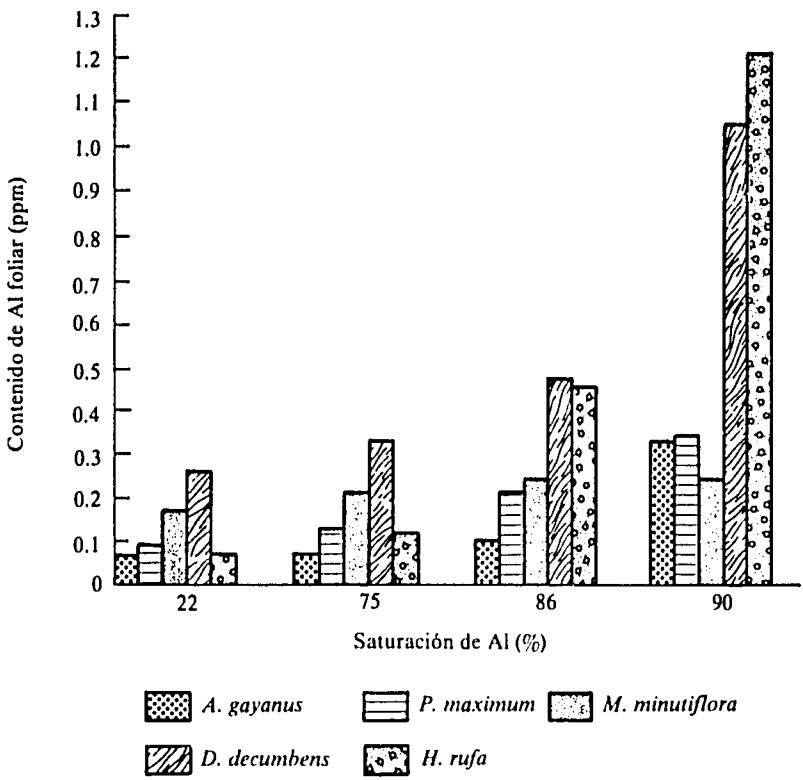



Figura 3. Contenido diferencial de Al en el tejido foliar de cinco gramíneas forrajeras tropicales, en función de los niveles de saturación de Al de un Oxisol de Carimagua, Colombia.

FUENTE: Salinas y Delgadillo, 1980.

*D. decumbens* (54%), *P. maximum* (36%), y *M. minutiflora,* especie que no experimentó reducción en su contenido de Al foliar.

## Tolerancia a la baja disponibilidad de P

Los problemas causados por la deficiencia de fósforo en los suelos ácidos del trópico se presentan usualmente junto con la toxicidad por aluminio. Los dos problemas son difíciles de separar a causa de la afinidad química entre ambos elementos. Consecuentemente, las interacciones aluminio-fósforo tienen que considerarse cuando se evalúa la tolerancia de las especies forrajeras a esas limitaciones del suelo.

Las diferencias entre una especie y otra para tolerar los niveles tóxicos de aluminio del suelo han sido relacionadas con la diferente habilidad de las plantas para absorber y utilizar el P en presencia de altos niveles de Al (Foy, 1976). La literatura científica menciona tres mecanismos fisiológicos principales para explicar la diferente tolerancia a bajos niveles de P, en presencia de Al, que demuestran muchas especies vegetales: 1) la extensión radicular, 2) la presencia de micorriza, y 3) las diferencias en el modo de extracción de P por las plantas (Salinas y Sánchez, 1976).

Aparentemente, la primera explicación es la más simple. Varios investigadores han sugerido que las especies con mayor superficie de absorción radicular pueden aprovechar mejor el fósforo cuando su disponibilidad en el suelo es baja (Rabideau et al., 1950; Singh et al., 1970). *A. gayanus* confirma la validez de esta explicación porque, en condiciones de acidez elevada y de baja disponibilidad de P, posee un buen potencial de expansión radical, como se mencionó anteriormente.

Respecto a la presencia de micorriza, las investigaciones realizadas con algunas especies forrajeras —entre ellas *A. gayanus*— en suelos de baja disponibilidad de P han demostrado los efectos positivos de la infección con el hongo de la micorriza en el crecimiento de esas plantas (Saif, 1986). El papel de la micorriza en la capacidad de absorción de P y de otros elementos en *A. gayanus* se comenta más adelante.

La eficiente extracción de P, en cambio, parece ser un mecanismo efectivo para explicar la adaptación de las plantas a los suelos ácidos con baja disponibilidad de P. Nye (1966) indicó que una tasa lenta de crecimiento inicial de una especie en suelos de baja disponibilidad de P proporciona a la planta el tiempo suficiente para la extracción y traslocación de este nutrimento, permitiéndole así utilizarlo más eficientemente a medida que se desarrolla. Hay pruebas de que *A. gayanus* presenta, en los primeros meses después de la siembra, un desarrollo inicial muy lento (Valencia et al., 1984); esta característica favorecería la eficiente extracción de P del suelo por la gramínea, le serviría de mecanismo para tolerar los bajos niveles de fósforo en el suelo, y la haría luego muy competitiva.

La toxicidad del Al en una planta se ha asociado generalmente con una disminución en la absorción y traslocación de otros elementos minerales. El P es el más afectado por el Al y se ha informado también de reducciones en la absorción y traslocación de Ca, Mg, K, Fe, Cu y Zn (Foy y Brown, 1963; Clarkson, 1969). La Figura 4 muestra la extracción diferencial de P hecha por *A. gayanus* y otras gramíneas forrajeras, en función del P nativo y de varias dosis de P, bajo dos niveles (86% y 22%) de saturación de Al en el suelo.

Cuando no se aplicó P, la deficiencia de P en la parte aérea fue el síntoma visual típico de la toxicidad de Al en *P. maximum, D. decumbens* y *H. rufa,* no así en *A. gayanus* y *Melinis minutiflora.* El exceso de Al redujo probablemente la solubilidad del P en el medio de crecimiento, y disminuyó su absorción y su trasporte en las plantas. Por otra parte, el exceso de P en las dosis altas (117 y 277 kg/ha de P) pudo precipitar el Al y eliminar su toxicidad, y se observó entonces un aumento en la absorción de P y la desaparición de los síntomas de deficiencia de este nutrimento. En ausencia del Al tóxico, la extracción de P por las gramíneas estudiadas cambia de modo casi inverso al observado en presencia de Al.

## Tolerancia a la toxicidad por manganeso

Otro de los factores que limitan el desarrollo de los pastos en ciertos suelos ácidos es la toxicidad causada por el Mn. Aunque

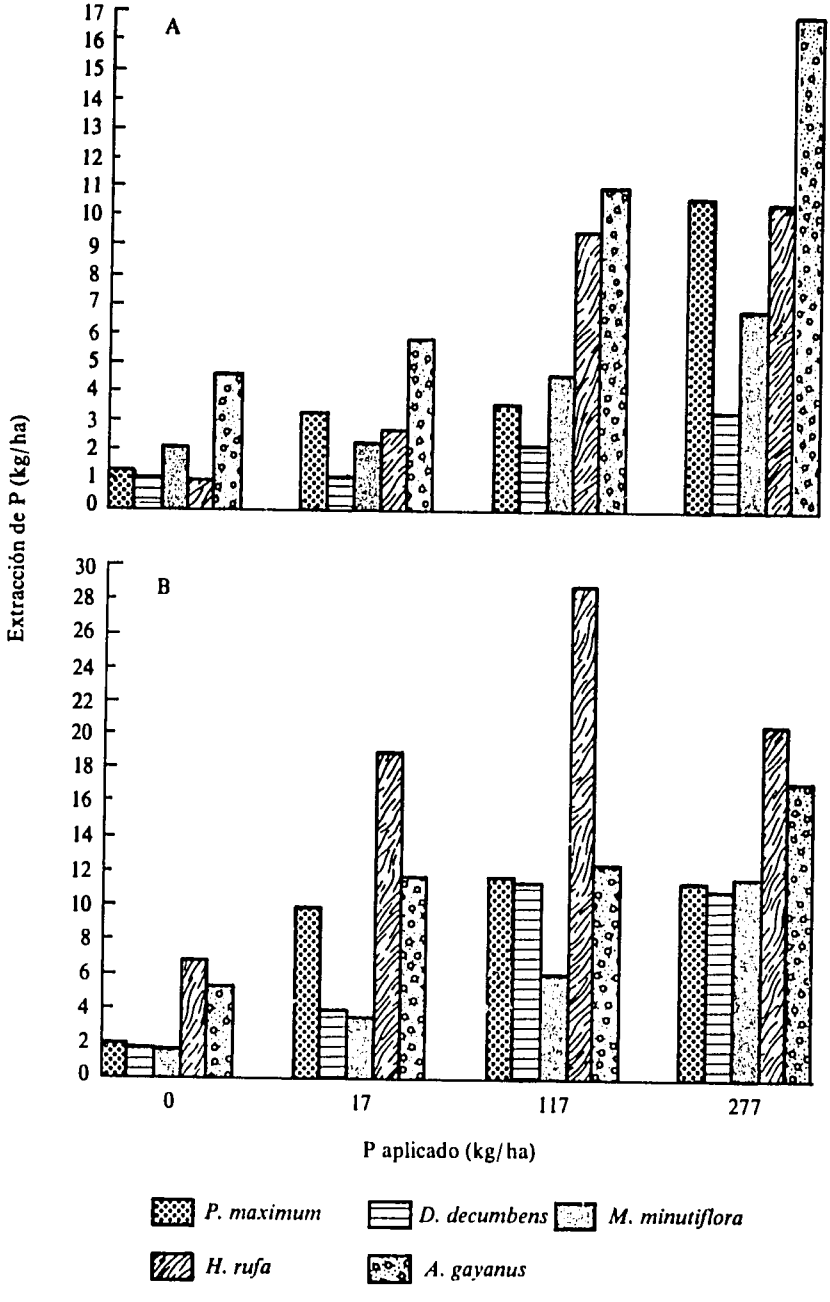



Figura 4. P extraído del suelo por cinco gramíneas forrajeras tropicales, después de aplicar varias dosis de P y bajo dos niveles de saturación de Al en el suelo: A) 86% y B) 22%.

FUENTE: Salinas y Delgadillo, 1980.

no se sabe cuán extensa es esta toxicidad en los suelos ácidos del trópico, se cree que es menos común que la del Al.

Se empleó la distribución natural del Mn en el suelo desde el nivel bajo (0 a 20 ppm) hasta el alto ( $\geq$ 50 ppm) en la subestación CIAT-Quilichao, en Colombia, para evaluar el comportamiento de varias gramíneas forrajeras. Se apreció una tolerancia diferencial no sólo entre especies sino también entre accesiones de una misma especie, al compararlas empleando un índice de tolerancia sugerido por Foy (1976). En el Cuadro 1 se observa que las accesiones más tolerantes produjeron más materia seca con el nivel alto que con el nivel bajo de Mn, resultado que indicaría un efecto benéfico, y no deletéreo, de ese elemento. Las accesiones de *A. gayanus* estudiadas muestran, en general, tolerancia al nivel alto de Mn. Nótese que, al aumentar el Mn en el suelo, el contenido foliar de Mn aumentó y el de Fe disminuyó en todas las gramíneas a consecuencia de un antagonismo que el Mn ejerce frente al Fe. Teniendo en cuenta esta observación, se comparó el índice de tolerancia con la relación Mn/Fe en el nivel alto de Mn (Figura 5). En general, los ecotipos de *A. gayanus* presentan un índice de tolerancia alrededor de 1.0 y una relación Mn/Fe en un rango de 2.5 a 3, cifras que parecen favorables si se las compara con las de otras gramíneas; éstas tienen un índice de tolerancia menor que la unidad, y tienden a una relación Mn/Fe inferior a 2 y a sufrir reducciones en la producción de forraje.

## Requerimientos Externos e Internos de los Nutrimentos

Durante los últimos cinco años se ha desarrollado la estrategia de insumos mínimos de fertilización como una consecuencia de la respuesta diferencial hallada entre especies forrajeras (CIAT, 1979; Spain, 1979; Sánchez y Salinas, 1981). Este enfoque no debe interpretarse como la eliminación total de la fertilización, sino como una alternativa que reduce los niveles de fertilizantes y de enmiendas según el requerimiento nutricional específico de una especie forrajera. Se determinan, por consiguiente, concentraciones críticas de elementos nutricionales tanto externas

Cuadro 1. Producción de materia seca (MS)[a], contenido foliar[a] de Mn y Fe, e índice de tolerancia al Mn de varias gramíneas forrajeras tropicales, en función de dos niveles de este elemento en el suelo.

| Gramínea | Número de accesión CIAT | Materia seca (kg/ha) si: | | Indice de tolerancia[c] | Contenido foliar (ppm) de: | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Bajo[b] Mn | Alto[b] Mn | | Mn, aplicando: | | Fe, aplicando: | |
| | | | | | Bajo Mn | Alto Mn | Bajo Mn | Alto Mn |
| *Andropogon gayanus* | 6054 | 3780 | 4513 | 1.19 | 232 | 350 | 223 | 148 |
| | 621 | 4113 | 4460 | 1.08 | 269 | 510 | 302 | 212 |
| | 6053 | 7574 | 7540 | 0.99 | 289 | 310 | 153 | 119 |
| | 6200 | 6740 | 4873 | 0.72 | 267 | 522 | 299 | 185 |
| *Panicum maximum* | 661 | 3487 | 4947 | 1.42 | 285 | 401 | 261 | 155 |
| | 673 | 4787 | 5053 | 1.05 | 171 | 399 | 243 | 208 |
| | 697 | 5307 | 5386 | 1.01 | 106 | 255 | 301 | 197 |
| | 684 | 2527 | 2168 | 0.86 | 142 | 337 | 399 | 213 |
| *Brachiaria decumbens* | 606 | 6134 | 7434 | 1.21 | 193 | 525 | 368 | 250 |
| | 6130 | 3747 | 3647 | 0.97 | 178 | 641 | 524 | 417 |
| | 6131 | 3140 | 2147 | 0.68 | 177 | 464 | 853 | 571 |
| | 6132 | 3487 | 1420 | 0.41 | 180 | 443 | 1015 | 629 |

a. Promedio de cinco cortes de la gramínea.
b. Bajo Mn = 10 ppm; alto Mn = 85 ppm.
c. Indice de tolerancia = $\frac{\text{MS (alto Mn)}}{\text{MS (bajo Mn)}}$.

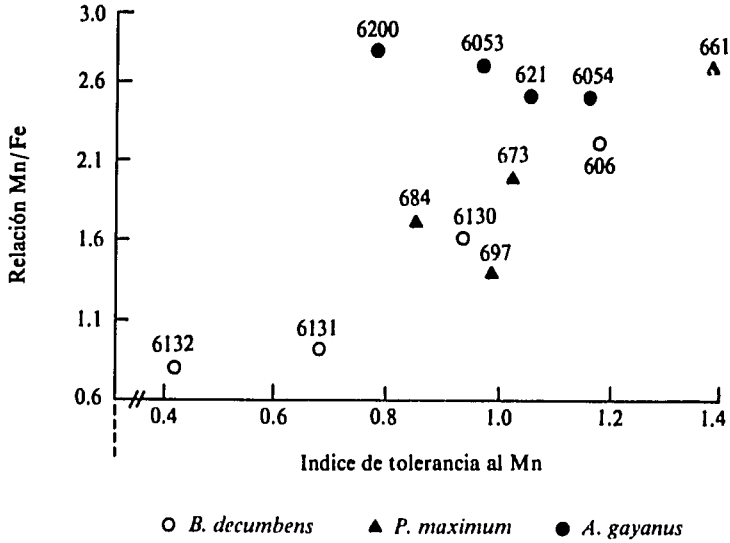



Figura 5. Relación entre el índice de tolerancia y la relación Mn/Fe aplicando un nivel alto de Mn al suelo, en tres gramíneas tropicales. Los números junto a los puntos identifican las accesiones.

(en el suelo) como internas (en la planta). La definición de estas concentraciones implica, en la mayoría de los esquemas de diagnóstico, el nivel del nutrimento por debajo del cual la producción declina (Ulrich, 1952; Ritchey, 1979). En esta revisión sobre *Andropgon gayanus* Kunth, el 'nivel crítico', la 'concentración crítica' o el 'requerimiento crítico', tanto externos como internos, son considerados en muchos casos como aquéllos requeridos para lograr un 80% de la producción máxima de materia seca. Este criterio ha sido ampliamente utilizado en diferentes regiones del trópico para definir los requerimientos internos y externos de los nutrimentos (Miranda y Lobato, 1978; Salinas, 1978; Muzilli et al., 1978).

## Requerimientos críticos de acidez (Al, Ca y Mg)

Según los procedimientos analíticos comunes empleados en los suelos tropicales (Salinas y García, 1985), se han determinado rangos críticos externos para el establecimiento de *A. gayanus,* los cuales se resumen en el Cuadro 2. Estos valores no son

Cuadro 2. Parámetros químicos del suelo para el establecimiento de *Andropogon gayanus* Kunth en suelos tropicales.

| Parámetro del suelo | Rango de niveles[a] | | Método de análisis[b] | Referencias |
|---|---|---|---|---|
| | Bajo | Alto | | |
| pH | 4.5 | 5.5 | Relación suelo-agua 1:1 | Salinas y García, 1985 |
| Saturación de Al[c] (%) | 80 | 95 | (Al/Al+Ca+Mg)x100 | CIAT, 1981 |
| Saturación de Ca (%) | 10 | 20 | (Ca/Al+Ca+Mg)x100 | CIAT, 1981 |
| Saturación de Mg (%) | 3 | 5 | (Mg/Al+Ca+Mg)x100 | CIAT, 1981 |
| P (ppm) | 4 | 6 | Extractante: Bray II | CIAT, 1982 |
| K (meq/100 g suelo) | 0.05 | 0.10 | Extractante: Bray II | Salinas y García, 1985 |
| S (ppm) | 10 | 2 | Fosfato cálcico 0.008 M | Gualdrón y Salinas, 1982 |
| Zn (ppm) | 0.5 | 1.0 | Extractante: Mehlich-2 | CIAT 1981, 1982 |
| Cu (ppm) | 0.1 | 0.4 | Mehlich-2 | Cox y Kamprath, 1972 |
| B (ppm) | 0.3 | 0.5 | Extractante: agua caliente | Salinas y García, 1985 |
| Toxicidad de Mn (ppm) | 80 | 100 | Extractante: 1 N KCl | CIAT, 1982 |

a. Rangos respecto a un 80% de la producción máxima obtenida durante el año de establecimiento de la gramínea.

b. Extractante: KCl 1 N para Al, Ca y Mg. Bray II = HCl 0.1 N + $NH_4F$ 0.03 N. Mehlich-2 = HCl 0.05 N + $H_2SO_4$ 0.025 N.

c. Equivale a toxicidad por Al.

absolutos pero pueden usarse como una guía general para interpretar los resultados del análisis de suelos en los campos en que se establezca esta gramínea. Los componentes minerales de la acidez generalmente consideran la saturación de Al, Ca y Mg, y por ello el rango de estos parámetros fue determinado utilizando el diagrama de dispersión (Cate y Nelson, 1971). Se evaluaron así varias gramíneas forrajeras en un Oxisol de Carimagua, y se determinó la concentración crítica de Ca en sus tejidos y un 80% de su producción máxima de materia seca (Figura 6). La respuesta de *A. gayanus* se relacionó principalmente con un requerimiento nutricional de Ca más que con la reducción de la saturación de Al en el suelo obtenida por la aplicación de cal.

Teniendo en cuenta el bajo contenido de Mg de muchos suelos ácidos del trópico, el requerimiento externo crítico de *A. gayanus* respecto a Mg es bastante bajo si se lo compara con el de otras gramíneas forrajeras (Figura 7) y, expresado como saturación de Mg en el suelo, fluctúa entre 3% y 5%.

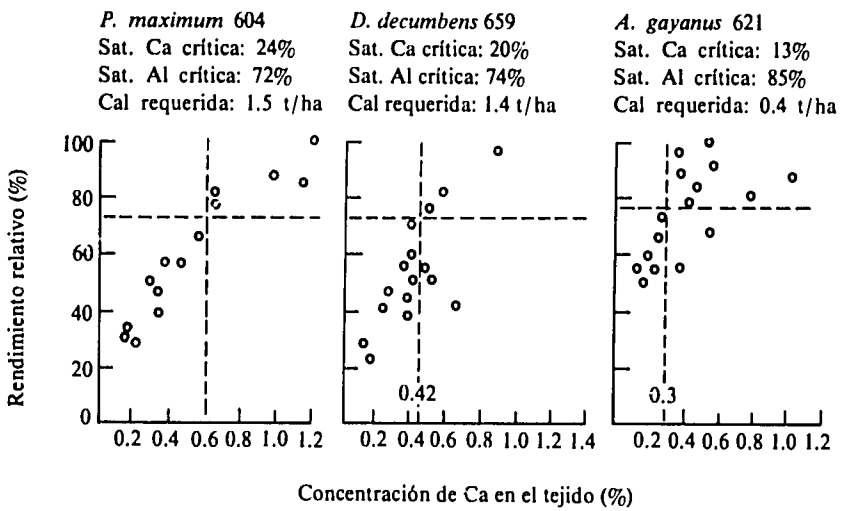



Figura 6. Concentraciones críticas de calcio en el tejido y de Al en el suelo obtenidas para tres gramíneas tropicales establecidas en un Oxisol de Carimagua. Los requerimientos de cal se obtuvieron con la fórmula de Cochrane et al. (1985).

FUENTE: Salinas y Delgadillo, 1980.

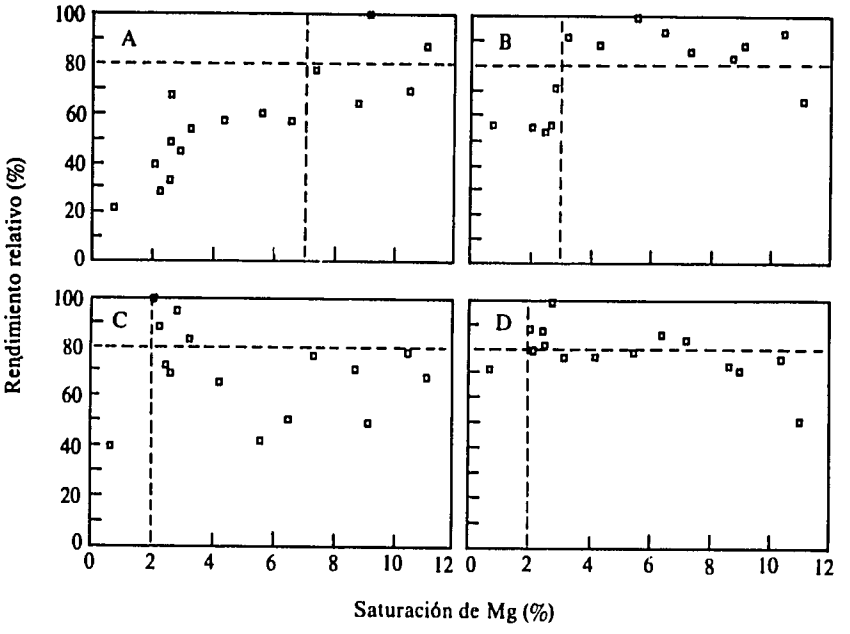



Figura 7. Nivel crítico de saturación del magnesio del suelo determinado para cuatro gramíneas forrajeras tropicales: A) *Panicum maximum* 604; B) *Andropogon gayanus* 621; C) *Melinis minutiflora* 608; D) *Brachiaria humidicola* 679.

Las concentraciones críticas de calcio y magnesio en el tejido foliar de *A. gayanus* han sido ya determinadas y se indican en el Cuadro 3. Estos valores no son absolutos pero representan una guía en la interpretación de los análisis foliares; además, se consideran como un rango y no como un valor único, puesto que fluctúan según ciertas condiciones que son, entre otras, la accesión de *A. gayanus,* la textura y la humedad del suelo, el tiempo de muestreo, la fertilidad del suelo, y la interacción de un nutrimento con otros.

## Requerimientos críticos de N, P y K

Una prueba del N del suelo es de poco valor para determinar un nivel crítico externo de N, a causa de la inestabilidad del N en el suelo a través del tiempo; por tanto, los requerimientos críticos de N se basan, en general, en el rendimiento de materia seca y en la absorción de N por la planta en respuesta a las aplicaciones de

Cuadro 3. Rango de concentraciones críticas de macro y micronutrimentos en el tejido del tallo y de la hoja verde de *Andropogon gayanus* Kunth.

| Nutrimento | Concentración crítica del nutrimento[a] | Referencias |
|---|---|---|
| N (%) | 1.30 ± 0.30 | CIAT, 1979; 1980; 1981; 1982; Jones, 1979; Haggar y Ahmed, 1971; Haggar, 1975 |
| P (%) | 0.10 ± 0.02 | CIAT, 1978; CIAT, 1982; Falade, 1975; Mendoza, 1979 |
| K (%) | 0.90 ± 0.15 | CIAT, 1982 |
| Ca (%) | 0.25 ± 0.05 | CIAT, 1980; 1981; Mendoza, 1979 |
| MG (%) | 0.20 ± 0.02 | CIAT, 1984; 1985a |
| S (%) | 0.14 ± 0.02 | CIAT, 1981; 1982 |
| Zn (ppm) | 18 ± 2.0 | CIAT, 1982 |
| Cu (ppm) | 6 ± 2.0 | CIAT, 1982 |
| B (ppm) | 5 ± 1.0 | CIAT, 1982 |
| Mn (ppm) | 90 ± 10 | CIAT, 1982 |

a. Valores asociados con la producción máxima y con el 80% de la producción máxima durante los primeros cinco meses de establecimiento en época lluviosa.

N (Sánchez, 1976). Un rango de concentraciones del N para *A. gayanus* se ofrece en el Cuadro 3; en esos valores el porcentaje de N y de proteína cruda varía según la parte de la planta, la edad fisiológica de ésta, y la fertilidad del suelo.

Los Cuadros 2 y 3 muestran también el rango de valores críticos de P en el suelo y en el tejido vegetal de *A. gayanus*. Las evaluaciones hechas para determinar el nivel crítico externo de *A. gayanus* han dado información sobre los bajos requerimientos de P que tiene esta gramínea, es decir, entre 4 y 6 ppm de P, Bray II (CIAT, 1978; Jones, 1979; Thomas et al., 1981). Además, se ha encontrado que *A. gayanus* tiene la característica inherente de que su contenido foliar de P es bajo (0.10% ± 0.02), que le permite desarrollarse en suelos donde la disponibilidad de P es baja (Spain et al., 1979; Salinas y Delgadillo, 1980; Couto et al., 1985).

Estos requerimientos críticos de P de *A. gayanus*, asociados generalmente con un 80% del rendimiento máximo de la planta, equivalen a 20-30 kg/ha de P en suelos deficientes en este nutrimento (CIAT 1978; CIAT, 1980). Este fósforo se aplica casi siempre como superfosfato triple, Calfos (Escorias Thomas) o

roca fosfórica. En suelos ácidos de baja fertilidad hay bastante interés en usar estas dos últimas fuentes, por su bajo costo y porque permiten usar fuentes locales de P (Fenster y León, 1979; CIAT, 1982).

Se acepta generalmente que el K intercambiable es un buen indicador del potasio que suministra un suelo. La literatura registra pocos casos en que se hayan observado deficiencias de K en *A. gayanus*. Andrew y Robins (1969) propusieron que 0.20 meq K/100 g de suelo sería un nivel promedio en el diagnóstico de las pasturas tropicales; sin embargo, se han observado, en Oxisoles de América tropical, valores de K entre 0.07 y 0.10 meq/100 g que no han causado deficiencias de ese elemento en *A. gayanus* sembrado en ellos (CIAT, 1981; CIAT, 1982). Aunque estas cantidades indican un bajo requerimiento inicial, tarde o temprano será necesaria la aplicación de K por una razón principal: la deficiencia de K, a semejanza de la de N, se acentúa con el tiempo porque las plantas lo consumen rápidamente. Estas observaciones sugieren que para aumentar la eficiencia de utilización del K en *A. gayanus* deberán considerarse dos aspectos: a) el uso de fuentes de K menos solubles, y b) el reciclaje del K en las pasturas (CIAT, 1985; Spain y Salinas, 1984).

Las concentraciones críticas de K en el tejido foliar de *A. gayanus* (Cuadro 3) tienen un valor promedio de 0.90% ± 0.15. Este valor puede considerarse bajo, puesto que no se observaron, dentro de ese rango, los síntomas de deficiencia del K (CIAT, 1982). Sin embargo, cuando *A. gayanus* se desarrolla en asociación con algunas leguminosas, parece que su requerimiento externo de K aumenta para poder mantener su contenido interno alrededor del valor crítico. Estos hechos se han atribuido a que *A. gayanus* absorbe el K más ventajosamente que la leguminosa (CIAT, 1984; CIAT, 1985); y a la menor capacidad de intercambio catiónico de las raíces de la gramínea, si se compara con la de la leguminosa asociante (CIAT, 1984).

## Requerimientos críticos de S y de micronutrimentos

Dada la capacidad actual de producción de pasturas tropicales en los suelos ácidos de baja fertilidad, el S aportado por las

lluvias y el S mineralizado de la materia orgánica del suelo son una contribución significativa de este nutrimento a las plantas, y en muchos casos bastan para su establecimiento (Gualdrón y Salinas, 1982). En general, las plantas necesitan, en promedio, 0.15% de S en sus tejidos, para que la relación N:S en las proteínas sea de 15:1. La deficiencia de S afecta, por tanto, no sólo el rendimiento de la planta sino también la calidad de sus proteínas (Blair, 1979).

En un suelo virgen de los Llanos Orientales de Colombia se determinaron los requerimientos críticos de S, externos e internos, de varias gramíneas, incluyendo a *A. gayanus* (Figura 8). Según estos resultados, los niveles críticos deberían considerarse como un rango de valores y no como valores fijos. Para un 80% de su producción máxima, *A. gayanus* manifiesta un nivel crítico interno de 0.15% y un nivel crítico externo alrededor de 12 ppm de S (extractante: fosfato de calcio); en términos de fertilizantes, estos niveles equivaldrían a 10 kg/ha de S (CIAT, 1981).

Las fuentes comunes de S son el azufre elemental (flor de azufre) y el yeso, aunque el superfosfato simple, el sulfato de amonio, Sulpomag y la roca fosfórica parcialmente acidulada con $H_2SO_4$ se consideran también en el trópico como fuentes de S cuando se adicionan al suelo N, P, K, Mg y Ca.

Los Cuadros 2 y 3 muestran rangos de niveles críticos, tanto externos como internos, de algunos micronutrimentos determinados para *A. gayanus*. Estos valores deben considerarse como tentativos puesto que varios de ellos fueron extractados de la información general obtenida para gramíneas forrajeras del trópico y no específicamente para *A. gayanus*, aunque pueden servir como guía de diagnóstico nutricional para esta gramínea. Mucha investigación se requiere aún, tanto para comparar rangos de suelos, particularmente suelos ácidos arenosos, como para determinar los ajustes de fertilización con micronutrimentos en *A. gayanus*.

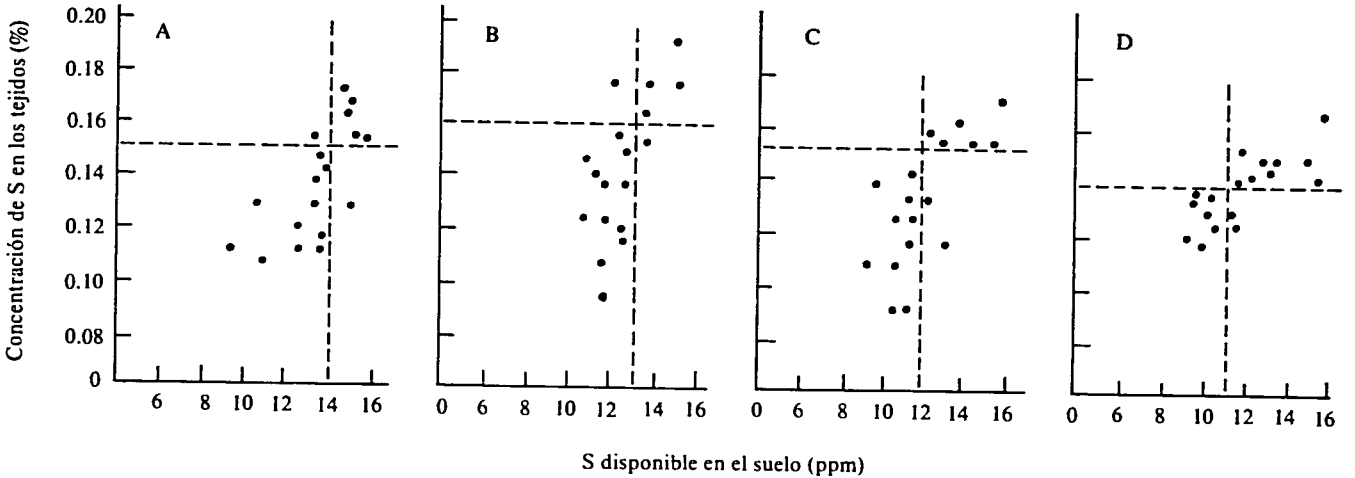



Figura 8. Niveles críticos del S disponible en el suelo y concentraciones críticas de S en los tejidos de cuatro gramíneas forrajeras tropicales cultivadas en un oxisol de Carimagua, en el invernadero. A) *Panicum maximum* 604; B) *Brachiaria decumbens* 606; C) *Andropogon gayanus* 621; D) *Brachiaria humidicola* 679.
FUENTE: CIAT, 1981.

## Respuesta al Encalado y a la Fertilización

Para lograr una buena producción de ganado de carne en regiones tropicales, es esencial el suministro adecuado de forraje, en cantidad y calidad, durante todo el año. Con tal fin se ha contemplado, en varias ocasiones, el uso de insumos de fertilización como un componente importante (Vicente-Chandler et al., 1964; Lotero et al., 1971; EMBRAPA, 1981). *Andropogon gayanus* forma parte de una nueva estrategia que multiplica las oportunidades de obtener pasturas productivas sin necesidad de cambiar sustancialmente las propiedades del suelo mediante enmiendas y fertilización que resultan costosas en áreas marginales.

### Encalado y requerimientos de Ca y Mg

*A. gayanus* es una gramínea forrajera considerada como tolerante del pH bajo y de la alta saturación de Al del suelo (CIAT, 1978; Spain et al., 1975; Salinas y Delgadillo, 1980; Thomas et al., 1981). Ha sido sometida a evaluaciones en que se ha aplicado cal en varios suelos ácidos tropicales y los resultados han indicado que, cuando no se aplicó esta enmienda, *A. gayanus* manifestó un buen potencial de producción en estos suelos (Kannegieter, 1966; Salinas y Delgadillo, 1980; Couto et al., 1985). No obstante, la cal en cantidades relativamente pequeñas (250 a 500 kg/ha) ha permitido obtener rendimientos más altos y una mejor respuesta a la aplicación de otros nutrimentos, en especial del P (Emrich, 1972; CIAT, 1978; CIAT, 1980; EMBRAPA, 1981). Estas observaciones indican que pequeñas cantidades de cal son necesarias para suministrar el Ca como nutrimento, propósito que se logra también con fertilizantes que contengan suficiente cantidad de este nutrimento esencial, tales como Escorias Thomas, las rocas fosfóricas, o la cal dolomítica. Sin embargo, se ha observado también una reducción en el rendimiento de *A. gayanus* al aplicar una dosis de cal mayor que 1 t/ha (CIAT, 1980); esta reducción es, probalemente, el efecto de un desequilibrio nutricional, porque el exceso de Ca excluye otros cationes básicos como el K y Mg (CIAT, 1981) y otros nutrimentos (Falade, 1975).

En el Cuadro 4 se presenta la producción de materia seca y la extracción de Ca de *A. gayanus* 621 y de tres gramíneas del género *Brachiaria,* en relación con las dosis de Ca aplicadas a un Oxisol de Carimagua, Colombia (CIAT, 1982). A pesar de que estas gramíneas extraen más calcio, y de manera significativa, a medida que aumenta la aplicación de este nutrimento, el requerimiento de Ca, en términos de producción de materia seca, difiere entre ellas. *A. gayanus* 621 requiere alrededor de 100 kg/ha de Ca, y *B. humidicola* 679 no respondió a las aplicaciones de Ca. Estos resultados confirman nuevamente la convicción de que *A. gayanus* es una gramínea adaptada a suelos ácidos, cuyo requirimiento de Ca (100 kg/ha) es bajo y, al parecer, suficiente para lograr un buen equilibrio nutricional entre Ca, Mg y K. De ahí que el comportamiento excelente de *A. gayanus* en suelos más fértiles con menor incidencia tóxica del Al estaría asociado con un mejor equilibrio de los cationes básicos, como lo indica la Figura 9. Una relación Ca/(Mg + K) de alrededor de 2 parece la adecuada para una buena producción de *A. gayanus* 621, posiblemente porque expresa una mejor relación entre los cationes básicos; relaciones menores o mayores que 2 indicarían un desequilibrio que afectaría el rendimiento del pasto.

Cuadro 4. Producción de materia seca[1] y extracción de Ca de algunas gramíneas forrajeras tropicales, aplicando diferentes dosis de Ca a un Oxisol de Carimagua, Colombia.

| Dosis de Ca (kg/ha) | Producción de MS y extracción de Ca (kg/ha)[2] de: | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *A. gayanus* 621 | | *B. decumbens* 606 | | *B.humidicola* 679 | |
| | MS | Ca | MS | Ca | MS | Ca |
| 0 | 8170 bc | 20 c | 6480 b | 17 d | 4740 a | 9 c |
| 50 | 8510 bc | 23 bc | 7360 a | 29 c | 4980 a | 15 b |
| 100 | 8710 ab | 26 b | 7710 a | 36 b | 4720 a | 13 b |
| 200 | 9560 a | 34 a | 6190 b | 37 b | 5370 a | 17 a |
| 400 | 7750 c | 34 a | 6680 b | 43 a | 5190 a | 18 a |

1. Suma de tres cortes durante la época lluviosa. MS = materia seca.

2. Valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente ($P < 0.05$).

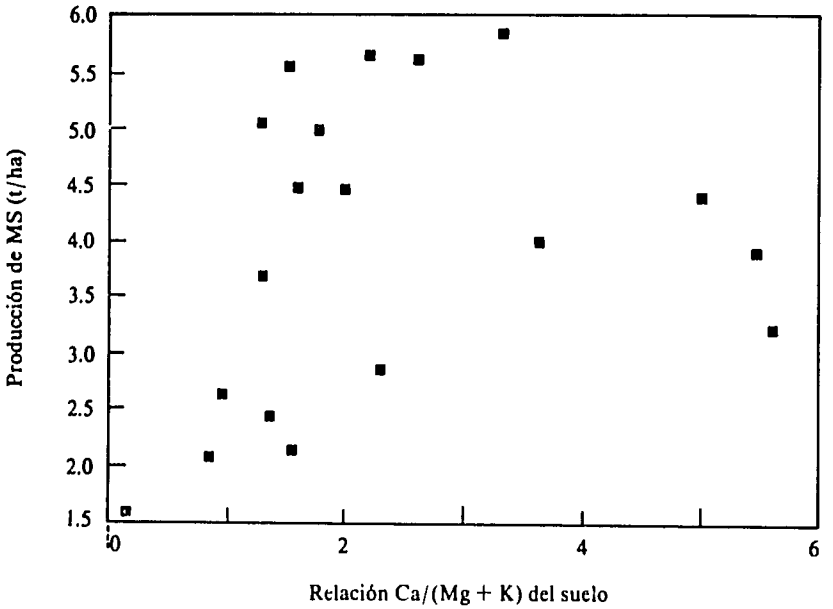



Figura 9. Relación entre la producción de materia seca (MS) de *Andropogon gayanus* y la relación Ca/(Mg + K) del suelo, en varios ensayos regionales hechos en diferentes ecosistemas de América tropical.
FUENTE: CIAT, 1986.

A pesar de que el contenido de Mg de muchos suelos ácidos del trópico es bajo, la respuesta de *A. gayanus* a las aplicaciones de Mg ha sido débil (CIAT, 1982; Couto y Sanzonowicz, 1983). Al satisfacer los requerimientos de Ca de la gramínea, los de Mg pueden cumplirse paralelamente si se aplican pequeñas cantidades de cal dolomítica que es portadora de Mg. Cuando no se dispone de cal dolomítica, y para el establecimiento de *A. gayanus* en suelos ácidos cuya saturación de Mg sea menor que 3%, se recomienda una dosis alrededor de 110 kg/ha de Mg, suministrados como MgO, $MgCO_3$ o $MgSO_4$ (CIAT, 1984).

## Respuesta al nitrógeno

El nitrógeno es uno de los nutrimentos más deficientes de los suelos ácidos y de baja fertilidad del trópico, así como uno de los más importantes en la producción del forraje de gramíneas tropicales. La fertilización nitrogenada no sería económica en las

regiones alejadas de los centros de suministro y, por lo tanto, se considera que el N debe proporcionarse por medio de las leguminosas asociadas a las gramíneas (CIAT, 1978; Spain, 1982). Sin embargo, con el fin de comparar la contribución de N de las leguminosas y conocer la eficiencia con que las gramíneas tropicales usan el N del suelo, es necesario investigar la demanda de N de éstas.

Debe señalarse que la respuesta de las siembras de *A. gayanus* a la fertilización con N es difícil de comparar con respecto a la localidad y al tiempo, tanto por las diferencias que existen entre un suelo y otro en su capacidad de suministro de N como por la diversa duración del estrés producido por la sequía; como se sabe, ambos factores causan variaciones en la eficiencia de utilización del N por la planta (Haggar, 1975; Jones, 1979). Sin embargo, cuando se compara a *A. gayanus* en un mismo sitio —o suelo— y en un mismo tiempo del año con otras gramíneas, es posible hacer inferencias sobre su eficiencia de utilización del N, ya sea del N del suelo o del N proveniente de una fuente externa.

En la Figura 10 se describe la respuesta de *A. gayanus* 621, *P. maximum* 604 y *B. decumbens* 606 a la fertilización con N aplicada durante tres años. *Panicum maximum 604* y *B. decumbens* 606 respondieron significativamente a esa fertilización; en cambio, *A. gayanus* 621 no respondió de manera significativa aunque mostró, durante los dos primeros años, un potencial de rendimiento superior al de las otras dos gramíneas. Los rendimientos de *P. maximum* y de *B. decumbens* disminuyeron significativamente durante el segundo año, y los de las tres gramíneas en el tercer año. Estas reducciones en rendimiento se atribuyeron a la extracción considerable de nutrimentos del suelo hecha por las gramíneas bajo el régimen de corte, que causó en la planta un desequilibrio nutricional, principalmente de K (CIAT, 1981).

El Cuadro 5 presenta el N contenido en la planta de las tres gramíneas forrajeras y la recuperación del N aplicado, durante los tres años del ensayo. Además de la falta de reacción al N aplicado manifestada por *A. gayanus,* la recuperación porcentual del N del fertilizante lograda por esa gramínea fue mucho menor

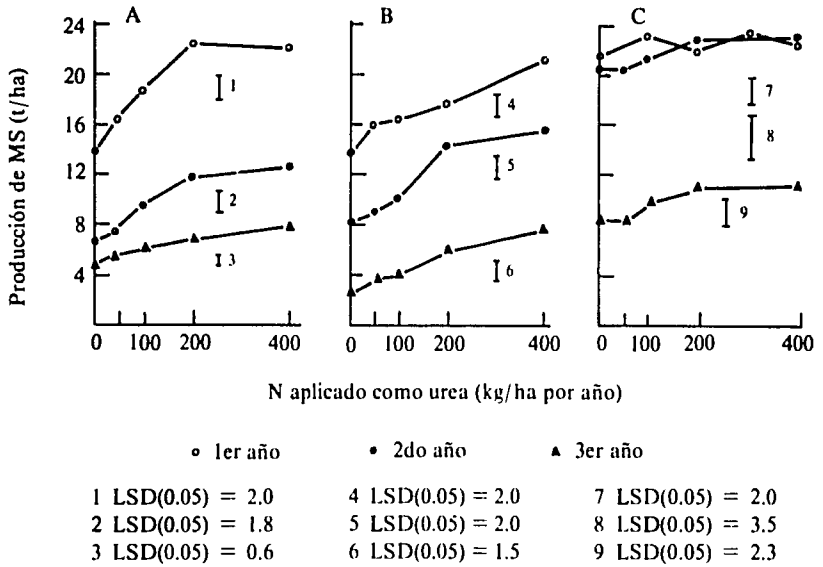



Figura 10. Producción de materia seca (MS) de tres gramíneas forrajeras tropicales, en función del N aplicado como urea durante tres años, en un Ultisol de Quilichao, Colombia.
A) *Panicum maximum;* B) *Brachiaria decumbens;* C) *Andropogon gayanus.*
FUENTE: CIAT, 1981.

que la obtenida por las otras dos; este resultado indica que la utilización del N nativo del suelo hecha por *A. gayanus* es eficiente.

Como en el Ultisol de CIAT-Quilichao, Colombia, *A. gayanus* ha demostrado también, en un Oxisol de CIAT-Carimagua, Colombia, su habilidad para mantener altas tasas de crecimiento sin la aplicación de N, si se lo compara con otras gramíneas (Figura 11). Este comportamiento de *A. gayanus* se atribuye también a una mayor eficiencia en la utilización del N nativo (CIAT, 1979). Estos resultados sugieren que las praderas de *A. gayanus* pueden ser menos susceptibles que las de otras gramíneas a una degradación a corto plazo causada por la deficiencia del N, ya que utiliza eficientemente el N mineralizado de la materia orgánica del suelo o de una leguminosa asociante que proporcione N a la pastura (Haggar, 1972; Tetteh, 1972; CIAT, 1978).

Cuadro 5. Contenido de N en el tejido vegetal de tres gramíneas forrajeras, y recuperación del N aplicado lograda por ellas, bajo un régimen de corte en CIAT-Quilichao, Colombia, durante tres años.

| Gramínea | N aplicado | Contenido de N en los tejidos (%) | | | Recuperación del N aplicado (%) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (kg/ha) | 1er. año | 2do. año | 3er. año | 1er. año | 2do. año. | 3er. año |
| *Andropogon gayanus* 621 | 0 | 1.5 | 1.3 | 1.1 | - | - | - |
| | 50 | 1.5 | 1.2 | 1.1 | 76 | 0 | 0 |
| | 100 | 1.5 | 1.3 | 1.3 | 25 | 21 | 34 |
| | 200 | 1.5 | 1.3 | 1.4 | 14 | 15 | 30 |
| | 400 | 1.5 | 1.5 | 1.7 | 8 | 13 | 23 |
| *Panicum maximum* 604 | 0 | 1.7 | 1.3 | 1.5 | - | - | - |
| | 50 | 1.6 | 1.3 | 1.6 | 55 | 20 | 36 |
| | 100 | 1.7 | 1.4 | 1.6 | 79 | 48 | 25 |
| | 200 | 1.9 | 1.5 | 1.8 | 74 | 47 | 25 |
| | 400 | 1.5 | 1.5 | 1.7 | 8 | 13 | 23 |
| *Brachiaria decumbens* 606 | 0 | 1.6 | 1.1 | 1.0 | - | - | - |
| | 50 | 1.7 | 1.1 | 1.1 | 82 | 20 | 27 |
| | 100 | 1.8 | 1.2 | 1.1 | 74 | 30 | 18 |
| | 200 | 1.8 | 1.4 | 1.4 | 55 | 55 | 30 |
| | 400 | 2.1 | 1.8 | 1.9 | 57 | 46 | 28 |

FUENTE: CIAT, 1981.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados a las pasturas requiere un cuidadoso manejo que, evitando pérdidas apreciables del N aplicado, incremente la eficiencia de aquéllos. A este respecto, Haggar (1975) encontró que *A. gayanus* presenta el mayor crecimiento activo después de las primeras lluvias, época ésta considerada la mejor para la aplicación de N. Aplicaciones previas, o posteriores, de ese elemento resultaron en una reducción progresiva de la eficiencia de la fertilización nitrogenada. Parece que deben caer 600 mm de precipitación anual, aproximadamente, antes de que se observe una respuesta significativa al N aplicado, y que por cada 100 mm de lluvia —hasta un tope de 1250 mm— se esperaría un incremento anual de 8 kg/ha en la producción de materia seca de *A. gayanus* por cada kilogramo de N aplicado (Jones, 1979).

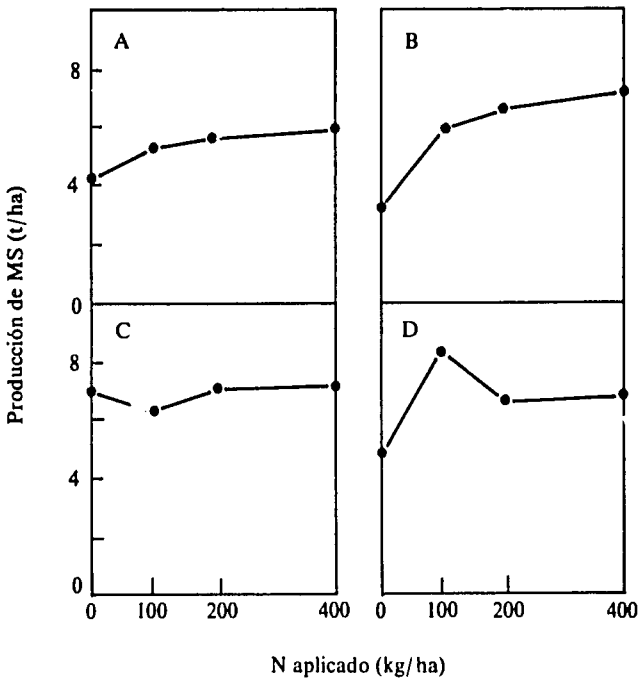



Figura 11. Respuesta de cuatro gramíneas al nitrógeno, en Carimagua, aplicando 87 kg/ha de P. Suma de tres cortes en época lluviosa. A) *B. decumbens* 606; B) *P. maximum* 622; C) *A. gayanus* 621; D) *H. rufa* 601.
FUENTE: CIAT, 1979.

No sólo el N nativo está relacionado con la alta eficiencia de utilización del N manifestada por *A. gayanus:* la fuente de N parece influir también en ese parámetro. Estudios preliminares han indicado que una fuente de N-amoniacal (sulfato de amonio) causó un incremento significativo en la producción de materia seca, no así en la de proteína cruda (Rains, 1963). El sulfato de amonio, si su uso es continuo, tiene una doble desventaja: acidifica el suelo y produce en *A. gayanus,* a corto plazo, un descenso en su eficiencia de utilización del N. Haggar (1975) encontró que el nitrato de calcio era la fuente más eficiente de N en comparación con la urea, el nitrato de sodio y el sulfato de amonio; la urea fue la menos eficiente y, en consecuencia, su futuro como fertilizante de pasturas de *A. gayanus* es muy incierto (Simpson, 1968; Haggar, 1975).

## Respuesta al fósforo

La respuesta de *A. gayanus* Kunth a la fertilización con P ha sido estudiada en varios suelos tropicales. Esta gramínea ha requerido, en general, dosis bajas de P que fluctúan entre 20 y 30 kg/ha que representan una producción de materia seca alrededor de un 80% del rendimiento máximo de la gramínea (Falade, 1975; CIAT, 1978; EMBRAPA, 1981; CEPEC, 1982). El uso de la cal en cantidades relativamente pequeñas (500 a 1000 kg/ha) ha permitido obtener rendimientos más altos y una mejor respuesta de *A. gayanus* al P (CIAT, 1980; CIAT, 1984; Couto et al., 1985). Se infiere de ahí que una menor disponibilidad inicial de Ca y de Mg en el suelo parece inhibir la respuesta de *A. gayanus* a la fertilización con P, especialmente cuando se emplean fuentes de P que contienen mínimas cantidades de Ca (CIAT, 1980). Hasta el presente no se ha precisado si el efecto favorable del Ca y del Mg en la respuesta al P consiste en una menor fijación del P en el suelo o en un incremento en la eficiencia con que *A. gayanus* utiliza el P aplicado. Se ha observado en un Oxisol de Carimagua, Colombia (Figura 12) que el requerimiento de P del suelo de cuatro gramíneas forrajeras disminuyó diferencialmente a medida que disminuía la saturación de Al, resultado que implica un aumento en la disponibilidad de Ca y de Mg en el suelo porque se aplicó cal dolomítica. *A. gayanus* y *B. humidicola* fueron las gramíneas más eficientes del ensayo porque produjeron 80% de su rendimiento máximo con un bajo nivel de P y con la mínima reducción del parámetro saturación de Al del suelo. A niveles de P disponibles superiores a 20 ppm (Bray II) se redujo la producción de *A. gayanus* y de otras gramíneas; estas reducciones están asociadas, posiblemente, con un desequilibrio nutricional (Falade, 1975; Salinas y Delgadillo, 1980).

En muchos suelos ácidos y de baja fertilidad, la respuesta de *A. gayanus* a la fertilización con P parece estar asociada, por una parte, con la capacidad de fijación de P del suelo y con la aplicación de una cantidad moderada de cal que suministre Ca como nutrimento, y por otra, con la característica de esta gramínea de exhibir un lento crecimiento inicial. Por ello, al comparar la respuesta de *A. gayanus* a las aplicaciones de P

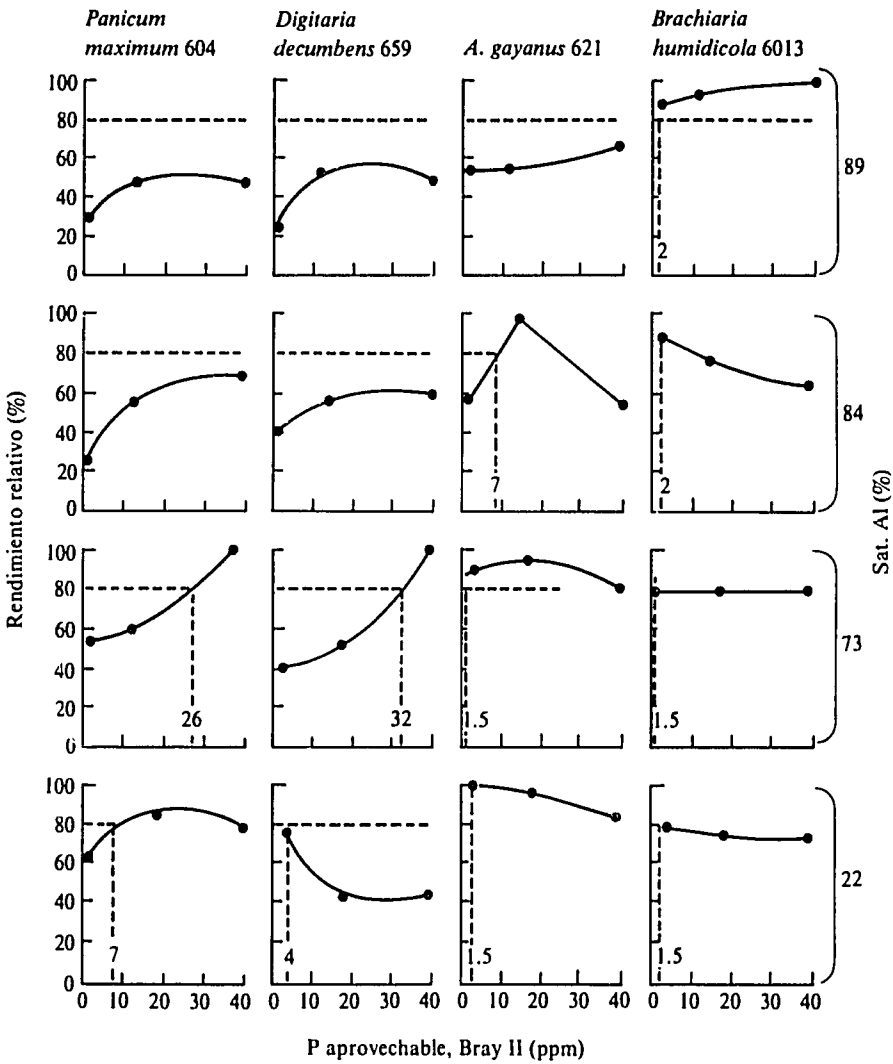



Figura 12. Efecto del P aprovechable y del porcentaje de saturación de Al en los rendimientos relativos de cuatro gramíneas forrajeras, en un Oxisol de Carimagua, Colombia.

FUENTE: Salinas y Delgadillo, 1980.

(Figura 13) en dos Oxisoles, uno de Planaltina y otro de Carimagua, se observa que, en ambos sitios, al primer corte del primer año la gramínea dio una respuesta débil que no sobrepasó el 30% del máximo rendimiento anual obtenido. Al primer corte del segundo año, en cambio, la respuesta de esta gramínea al P fue bastante marcada en el Oxisol de Planaltina, no así en el Oxisol de Carimagua. Cuando se agregó cal a ambos suelos, la respuesta de *A. gayanus* a las aplicaciones de P cambió sustancialmente: la mayor fijación de este elemento se observó en el suelo de Planaltina y, por ende, allí se registró una mayor respuesta de *A. gayanus* al P; en Carimagua, en cambio, donde el suelo tiene menor capacidad de fijación de P (CIAT, 1978), esa respuesta fue menor.

Se infiere de este tipo de respuestas que, cuando *A. gayanus* se establece en suelos donde la fijación del P es menor, y la fertilidad —o sea, la mayor disponibilidad de Ca y de Mg— es más alta, se espera que sus requerimientos de P sean menores. Para un suelo que manifieste una disponibilidad de P superior al nivel crítico externo, es decir, $\geq$ 8 ppm (Bray II), no se recomendarían aplicaciones de P.

## Respuesta al potasio y al azufre

La mayor parte de los suelos ácidos del trópico tienen pocas reservas de K porque en ellos son escasos los minerales primarios; además, las deficiencias de ese elemento aumentan con el tiempo (Ritchey, 1979). En tales condiciones, es a menudo necesario aplicar K en cantidades limitadas y sin correr riesgos de pérdidas por lixiviación cuando se establece una pastura (CIAT, 1983; CIAT, 1984). En los ecosistemas de bosque, la apertura de áreas mediante la tumba y la quema ahorraría la aplicación inicial de K cuando se establecen pasturas (Kerridge, 1978).

La respuesta específica de *A. gayanus* a las aplicaciones de K hechas en los suelos ácidos de baja fertilidad ha presentado variaciones según el tipo de suelo del ecosistema en cuestión y, generalmente, encierra una interacción con el P. La Figura 14 describe las interacciones significativas que ocurren entre el K y el P en *A. gayanus, B. decumbens* y *B. humidicola* establecidos en

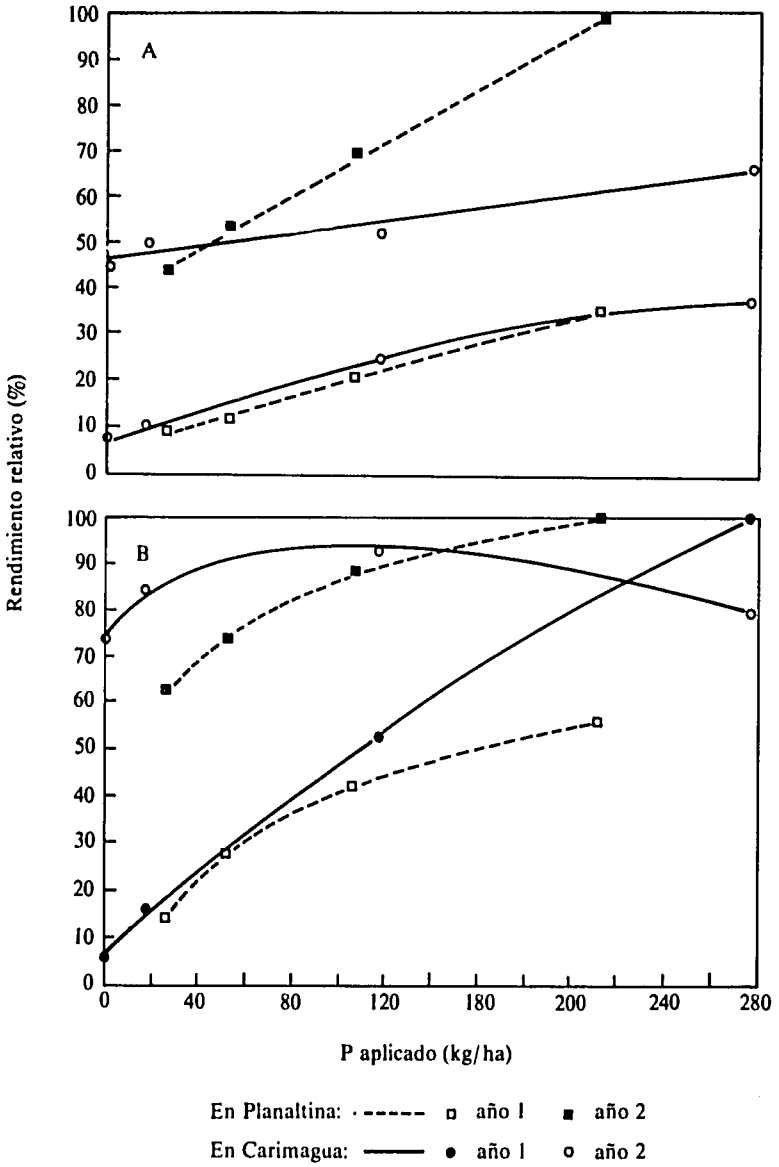



Figura 13. Respuesta diferencial de *A. gayanus* a la fertilización con P, sin aplicación de cal (A) y con ella (B), en dos Oxisoles de diferente capacidad de fijación de P, y en función del tiempo de corte. Se evaluó el primer corte, hecho en la época lluviosa, del primero y del segundo año de establecimiento del pasto cuyo rendimiento máximo (100%) fue 5700 kg/ha de MS en Planaltina y 7213 kg/ha de MS en Carimagua.

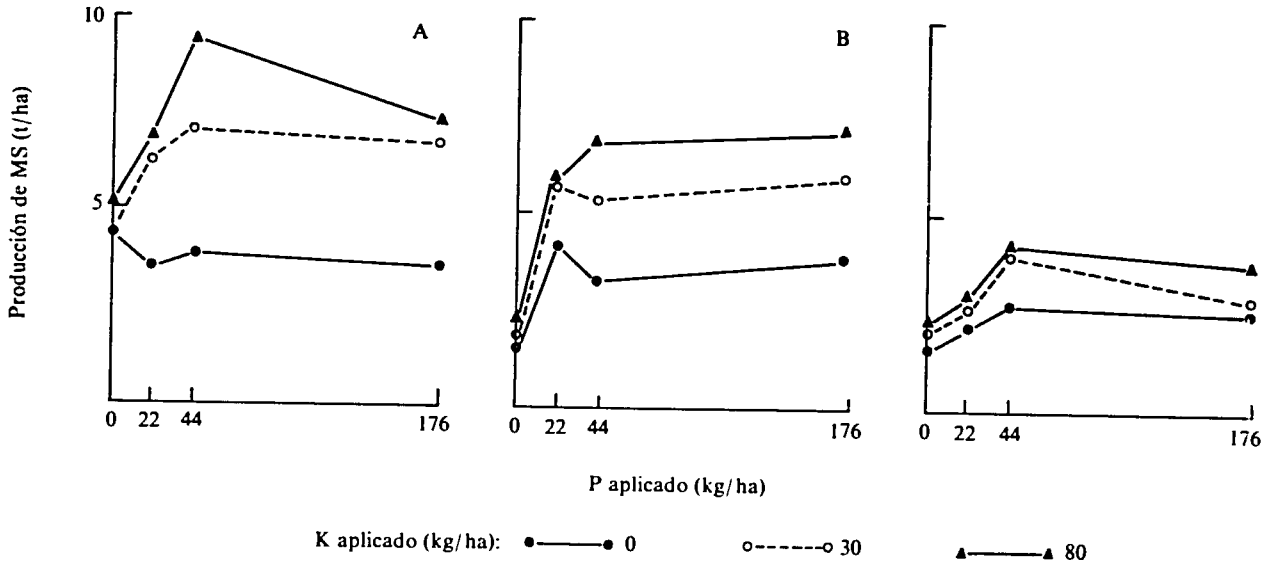



Figura 14. Efecto de las tasas de P y de K en la producción de MS de tres gramíneas forrajeras tropicales cultivadas en el campo, en Carimagua. A) *Andropogon gayanus* 621; B) *Brachiaria decumbens* 606; C) *Brachiaria humidicola* 679.

FUENTE: CIAT, 1981.

un Oxisol de Carimagua. En ausencia del K, la respuesta al P fue muy baja en las tres gramíneas, pero al primer incremento de K (30 kg/ha) se registró una respuesta significativa al P que, con 22 kg/ha de P, representó un rendimiento de materia seca de aproximadamente 80% del valor máximo. Al segundo incremento de K (80 kg/ha), *A. gayanus* y *B. decumbens* respondieron aún más pero mantuvieron, con la primera dosis de P, el 80% del rendimiento máximo de MS. Aunque la respuesta al K fue siempre positiva, la mayor eficiencia de producción de MS por kilogramo de K aplicado se obtuvo cuando se aplicaron 30 kg/ha de K (Figura 15); de las tres gramíneas ensayadas, *A. gayanus* fue la más eficiente en la utilización del K.

Por otra parte, en suelos representativos del Cerrado Brasileño se recomiendan para *A. gayanus*, 50 kg/ha de K (Leite y Couto, 1982). Esta dosis mayor está asociada, posiblemente, con un grado más alto de meteorización de estos suelos en comparación con los Oxisoles de los Llanos Orientales de Colombia (Sánchez y Cochrane, 1980). En cambio, en otro Oxisol de Brasil (Porto Seguro, Bahía), que es relativamente más joven, el K requerido para obtener la máxima producción de materia seca de *A. gayanus* durante su establecimiento fue de sólo 12 kg/ha (CEPEC, 1982). Esta variación en la respuesta a K de *A. gayanus* en función del tipo de suelo sugiere la necesidad de realizar, en ciertas regiones, ajustes de fertilización durante su establecimiento.

El azufre (S) es probablemente el cuarto nutrimento más limitativo en los suelos altamente meteorizados y, considerados solamente los de los trópicos, quizás lo sea en tercer lugar (Fox, 1980). El S no ha recibido la atención que se le ha prestado a los macronutrimentos N, P y K porque, en muchos casos, los fertilizantes portadores de esos elementos también contienen S (Blair, 1979). De ahí que la investigación sobre el S de las pasturas de América tropical deje mucho que desear. Los pocos estudios realizados sobre el S de las gramíneas forrajeras establecidas en suelos ácidos indican que la disponibilidad del S en el suelo es a menudo deficiente, y esta escasez se acentúa cuando disminuye la materia orgánica y cuando la textura del suelo se torna arenosa (Sánchez, 1976).

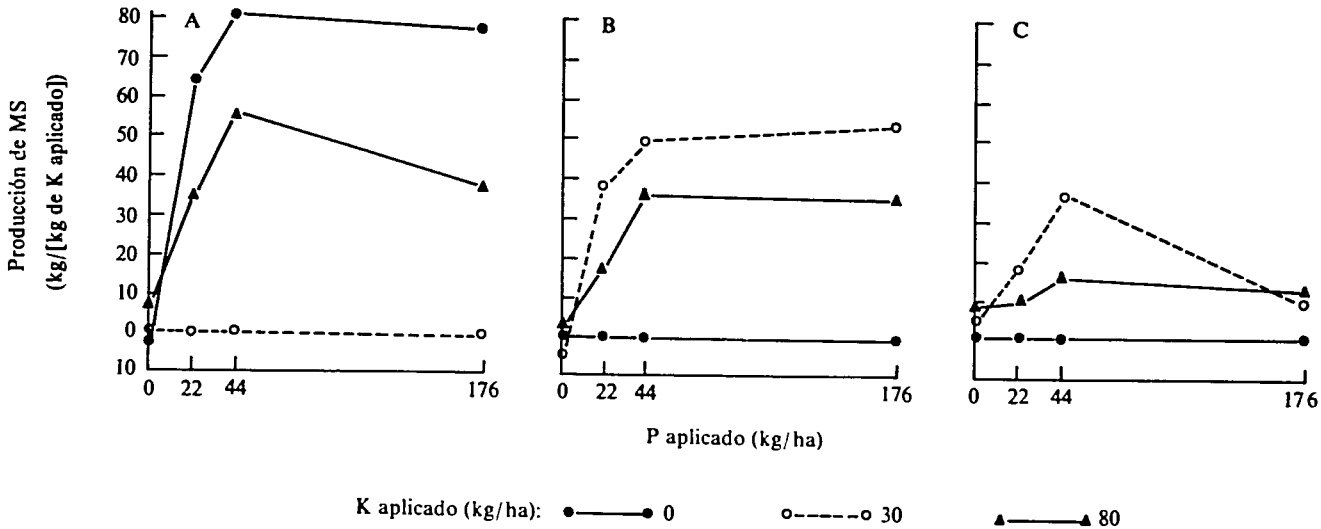



Figura 15. Eficiencia de producción de MS por kilogramo de K aplicado, y con distintas tasas de P aplicadas a voleo, determinada en tres gramíneas forrajeras tropicales, en un Oxisol de Carimagua, Colombia. A) *Andropogon gayanus* 621; B) *Brachiaria decumbens* 606; C) *Brachiaria humidicola* 679.
FUENTE: CIAT, 1981.

Bajo condiciones de sabana nativa, en Carimagua, Colombia, el azufre disponible, es decir, el extractado con fosfato de Ca, estuvo cerca de 4 ppm, un valor que se considera inadecuado para el establecimiento de los pastos (Gualdrón y Salinas, 1982). Sin embargo, los resultados obtenidos en un ensayo de campo, después de un año de manejo bajo corte de *A. gayanus* y otras gramíneas forrajeras (Cuadro 6), indican que el contenido de S disponible en el lote testigo fue superior al encontrado en la sabana nativa, y que no hubo respuesta significativa a las aplicaciones de S. Estos resultados sugieren que las prácticas de preparación del suelo, y la aplicación de fertilizantes, principalmente P y Ca, incrementan las tasas de mineralización de la materia orgánica favoreciendo la desmovilización del S en el suelo (Gualdrón y Salinas, 1982). Además, Fox (1974) señala que esos suelos presentan una apreciable capacidad de adsorción del S, propiedad que también podría explicar la falta de respuesta al S obtenida de *A. gayanus* y de otras gramíneas cuando se establecen con una preparación convencional del suelo; ésta, en efecto, liberaría el S adsorbido y lo haría disponible para la planta.

Experimentos de campo hechos en suelos más representativos de Brasil Central han confirmado la importancia del S en la producción de las pasturas. En *A. gayanus* se ha encontrado una interacción del Ca, el Mg y el S, porque la respuesta a 30 kg/ha de S se manifestó únicamente al aplicar Ca y Mg (Couto y Sanzonowicz, 1983). En suelos ácidos de baja fertilidad, *A. gayanus* manifestaría una deficiencia de S con menor rapidez que *P. maximum* en razón del extenso sistema radical que posee y que le permite utilizar el S disponible en el subsuelo (Hutton, 1980); como se sabe, gran parte del S se acumula en esta zona (Couto et al., 1979).

## Respuesta a los elementos menores

En general, la acidez favorece la disponibilidad de los micronutrimentos, con excepción del Mo que es más disponible cuando el pH aumenta. En consecuencia, aunque las cantidades totales de micronutrimentos son bajas en los suelos ácidos, su disponibilidad relativa es alta (León et al., 1985; Salinas et al., 1987).

Cuadro 6. Efecto de la fertilización con S en la disponibilidad de S en el suelo, y en la producción de materia seca así como en el contenido foliar de S de cuatro gramíneas forrajeras tropicales, establecidas en un Oxisol de Carimagua, Colombia.

| Tratamiento de S | | Efecto producido[a] en: | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *A. gayanus* 621 | | *B. decumbens* 606 | | *B. humidicola* 679 | |
| Aplicado (kg/ha) | Disponible[b] (ppm) | MS, anual (t/ha) | S tej. (%) | MS, anual (t/ha) | S tej. (%) | MS, anual (t/ha) | S tej. (%) |
| 0 | 25 | 8.9 | 0.12 | 8.5 | 0.12 | 7.2 | 0.11 |
| 5 | 24 | 9.0 | 0.13 | 9.3 | 0.14 | 7.1 | 0.12 |
| 10 | 24 | 10.0 | 0.12 | 9.1 | 0.15 | 7.7 | 0.14 |
| 15 | 24 | 8.6 | 0.13 | 7.8 | 0.15 | 7.5 | 0.14 |
| 20 | 24 | 7.6 | 0.14 | 9.2 | 0.16 | 6.7 | 0.16 |
| 30 | 27 | 8.3 | 0.13 | 8.7 | 0.18 | 7.4 | 0.14 |

a. S tej. = azufre en los tejidos.

b. Antes de la preparación convencional del terreno habia 4 ppm de S disponible (extractante: fosfato de calcio).

La deficiencia de elementos menores en los suelos tropicales es muy variable porque tanto las condiciones climáticas como los materiales que dan origen a los suelos, las propiedades físicas de éstos, su grado de meteorización, y otros factores formadores de suelos son diferentes (León et al., 1985). A pesar de estas variaciones, el Cuadro 7 presenta los rangos de valores encontrados para las deficiencias y toxicidades de micronutrimentos, tanto del suelo como de la planta, que afectan a las gramíneas forrajeras tropicales; ofrece también algunas recomendaciones sobre las dosis de esos nutrimentos que se aplicarían para lograr una producción de forraje sostenida durante 3 a 5 años. Estos valores pueden utilizarse como guías para satisfacer esos requerimientos de *A. gayanus* ya que, hasta el presente, muy pocos estudios se han hecho sobre los requerimientos de micronutrimentos de esta gramínea en diversos suelos tropicales.

Cuadro 7. Rangos de deficiencias y toxicidades causadas por micronutrimentos en las gramíneas forrajeras tropicales, en varios tipos de suelo.

| Micronutrimento | Deficiencia en: | | Toxicidad en: | | Recomendación (kg/ha) |
|---|---|---|---|---|---|
| | Tejido (ppm) | Suelo (ppm) | Tejido (ppm) | Suelo (ppm) | |
| Zn | 15-20 | 0.5-1.0 | 60-80 | 20-30 | 3.0 |
| Cu | 2-4 | 0.1-0.4 | 10 | 15-25 | 2.0 |
| B | 2-4 | 0.3-0.5 | 12 | 3-5 | 1.0 |
| Mn | 10-20 | 1.0-5.0 | 500 | 100-200 | — |

FUENTE: López, 1980; Jones, 1974; León et al., 1985; Cox y Kamprath, 1972.

En los Llanos Orientales de Colombia y en el Cerrado de Brasil, el Zn se considera el elemento más deficiente (CIAT, 1978). Esta deficiencia repercute, al parecer, en *A. gayanus* que responde significativamente al primer incremento de Zn (2 kg/ha) y a su efecto residual, durante cinco años, en una evaluación realizada en un Oxisol de Carimagua (Cuadro 8). En este mismo ensayo no se observó respuesta a otros micronutrimentos (B, Cu y Mn), pero con el tiempo los valores de B y Cu se acercaron al valor inferior del rango, que es deficiente (Cuadro 7).

Cuadro 8. Efecto inicial y residual de la aplicación de cuatro micronutrimentos en la producción de materia seca y en el contenido foliar de *Andropogon gayanus* 621, en un Oxisol de Carimagua, Colombia.

| Micronutrimento (kg/ha) | Materia seca (t/ha) | | | | | Tejido foliar (ppm)[c] | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1980[a] | 1981[b] | 1982[b] | 1983[b] | 1984[b] | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 |
| Zinc (Zn)[d] | | | | | | | | | | |
| 0 | 2.8 b | 11.5 b | 8.4 b | 6.8 b | 4.0 b | 17 | 14 | 15 | 17 | 11 |
| 2.0 | 4.0 a | 13.1 a | 11.6 a | 7.1 a | 5.1 a | 17 | 23 | 34 | 25 | 14 |
| 4.0 | 2.4 b | 10.7 b | 6.4 b | 5.3 b | 3.2 b | 37 | 26 | 33 | 28 | 13 |
| 8.0 | 2.2 b | 11.5 b | 9.2 b | 5.9 b | 3.8 b | 52 | 32 | 48 | 53 | 17 |
| Boro (B) | | | | | | | | | | |
| 0 | 1.7 | 12.2 | 7.6 | 6.2 | 3.2 | 6.4 | 4.0 | 5.0 | 5.0 | 3.5 |
| 0.5 | 1.2 | 11.4 | 8.4 | 6.6 | 4.1 | 6.8 | 4.0 | 5.0 | 5.6 | 2.0 |
| 1.0 | 2.2 | 11.0 | 7.6 | 5.9 | 4.3 | 6.8 | 5.6 | 6.0 | 5.3 | 4.0 |
| 2.0 | 2.1 | 10.8 | 7.6 | 5.3 | 3.3 | 6.6 | 6.0 | 7.0 | 5.3 | 5.0 |
| Cobre (Cu) | | | | | | | | | | |
| 0 | 2.0 | 12.2 | 9.2 | 6.4 | 4.4 | 9.0 | 6.1 | 3.5 | 4.1 | 3.4 |
| 1.0 | 2.3 | 11.1 | 8.0 | 5.6 | 4.0 | 8.0 | 6.1 | 3.8 | 4.5 | 2.7 |
| 2.0 | 2.3 | 12.4 | 10.4 | 6.6 | 4.5 | 7.5 | 6.1 | 3.4 | 2.5 | 2.1 |
| 4.0 | 2.8 | 12.1 | 9.0 | 6.3 | 4.7 | 8.0 | 6.1 | 3.1 | 3.1 | 2.6 |
| Manganeso (Mn) | | | | | | | | | | |
| 0 | 2.4 | 12.5 | 9.0 | 7.4 | 4.1 | 146 | 143 | 215 | 216 | 142 |
| 0.25 | 1.7 | 12.6 | 10.2 | 6.6 | 4.7 | 130 | 140 | 239 | 275 | 149 |
| 0.50 | 3.3 | 11.6 | 8.0 | 6.6 | 4.5 | 120 | 87 | 95 | 272 | 193 |
| 1.00 | 2.6 | 10.6 | 8.2 | 6.3 | 3.8 | 128 | 133 | 139 | 278 | 129 |

a. Suma de dos cortes hechos en la estación lluviosa, a causa del establecimiento lento de *A. gayanus*.
b. Suma de cuatro cortes hechos en la estación lluviosa.
c. Niveles críticos de deficiencia: Zn = 20 ppm; B = 4 ppm; Cu = 5 ppm; Mn = 20 ppm (Jones, 1974).
d. En el Zn, los valores seguidos por la misma letra no difieren significativamente ($P < 0.05$).

Aparentemente, la disponibilidad de Mn en el suelo es adecuada y se refleja en el contenido foliar de *A. gayanus.* En resumen, los resultados indican que *A. gayanus,* establecido en parcelas bajo corte, responde únicamente al Zn y tiene tendencia a requerir B y Cu al quinto año de sembrado. Es de suponer que, en condiciones de pastoreo, las exigencias sean menores a causa del reciclaje de micronutrimentos en el sistema suelo-planta-animal.

## Micorrizas VA para la Absorción de Nutrimentos y para el Crecimiento

Las micorrizas vesículo-arbusculares (VA) resultan de la colonización de las raíces absorbentes finas de las plantas por hongos del suelo pertenecientes a la familia Endogonaceae. Las micorrizas VA estimulan generalmente el crecimiento de las plantas porque intensifican la absorción de nutrimentos. Las hifas del hongo, que se extienden hacia el suelo, sirven como prolongaciones de los sistemas radicales y son, fisiológica y geométricamente, más efectivas para la absorción de nutrimentos que las mismas raíces. El síntoma típico de una ausencia de micorrizas es una deficiencia de nutrimentos, especialmente de P, en el hospedante.

Los experimentos de nutrición de plantas en que se emplean isótopos confirman que los elementos N, P, K, Ca, S, Zn y Cu, absorbidos del suelo por hongos de micorrizas, se traslocan a la planta hospedante (Cooper y Tinker, 1978; Gray y Gerdemann, 1973; La Rue et al., 1975; Rhodes y Gerdemann, 1978; Sanders et al., 1975; Jackson et al., 1973; Timmer y Leyden, 1978; Ames et al., 1983). Minerales situados a más de 4 cm de distancia de la raíz del hospedante pueden ser absorbidos por las hifas y traslocados a la raíz. Los hongos de las micorrizas no sólo son estructuralmente eficientes en la extracción de nutrimentos en los sitios de intercambio en el suelo: también producen enzimas exógenas, como las fosfatasas y las reductasas del nitrato, que son importantes en la absorción y el metabolismo de los nutrimentos (Gianinnazi-Pearson y Gianinnazi, 1978; Ho y Trappe, 1975).

## Ocurrencia de micorrizas en Oxisoles ácidos e infértiles

El ecotipo CIAT 621 de *A. gayanus* fue introducido en Colombia en 1973 y desde 1974 ha sido evaluado sistemáticamente respecto a su adaptación y su productividad, en diversas regiones de Colombia, especialmente en los Llanos Orientales (Mejía, 1984). Existía la sospecha de que *A. gayanus* no era capaz de establecer una simbiosis micorrizal con los hongos de micorriza nativos de su nuevo ambiente edáfico. Durante 1982 se estudiaron plantas de *A. gayanus* provenientes de diferentes experimentos de campo establecidos en CIAT-Carimagua, en los Llanos Orientales de Colombia, para detectar la ocurrencia de infecciones de micorriza en las raíces y la presencia de esporas de estos hongos en el suelo de la rizosfera; la infección de las raíces osciló entre 54% y 88% y la población de esporas entre 81 a 132 esporas por 25 g de suelo (Saif, 1986). En otros estudios se observó que *A. gayanus,* tanto en monocultivo como en asociación con leguminosas, estimuló notoriamente en el suelo el desarrollo de los hongos nativos de micorriza, en comparación con ese desarrollo en el suelo circundante de la sabana nativa. El potencial de infección con micorriza en un suelo sembrado con *A. gayanus* solo, con *A. gayanus* asociado con *Pueraria phaseoloides*, y en un suelo de sabana nativa fue de 71%, 95% y 29%, respectivamente.[1]

Las plantas de *A. gayanus* fueron infectadas adecuadamente por los hongos de micorriza nativos; casi nada se sabía, sin embargo, acerca del efecto que estos u otros hongos de micorriza seleccionados ejercerían en el crecimiento y en la nutrición mineral de esta planta, en las condiciones edáficas prevalecientes. Para averiguarlo, se adelantaron varios estudios de invernadero y de campo.

## Dependencia de las micorrizas en *A. gayanus*

La dependencia micorrizal se define como el "grado en que una planta depende de las micorrizas para producir su máximo crecimiento a un nivel dado de fertilidad del suelo" (Gerdemann,

1. Saif, S. R. Información sin publicar.

1975). Se cree, generalmente, que las gramíneas no son tan dependientes de las micorrizas como las leguminosas porque aquéllas tienen un sistema radical denso y pelos radicales largos.

La Figura 16 muestra que las plantas de *A. gayanus* no crecieron bien en ausencia de hongos de micorriza, pese a que fueron fertilizadas con 20 kg/ha de P. La inoculación con hongos de micorriza aumentó el peso seco de la parte aérea de las plantas de *A. gayanus* en más de 9 veces y la absorción de P en más de 11 veces (Cuadro 9). La absorción de N, K, Ca y Mg aumentó también significativamente por acción de los hongos de micorriza. El mayor crecimiento de las plantas con micorrizas causó una disminución en las concentraciones de los elementos N, K y Ca en la parte aérea de las plantas en comparación con las plantas sin micorrizas cuyo crecimiento fue escaso. Las plantas con micorrizas utilizaron cantidades significativamente mayores del P del suelo que las plantas sin micorrizas (Cuadro 10). Resultados similares se obtuvieron en experimentos con leguminosas forrajeras (Saif, 1987).

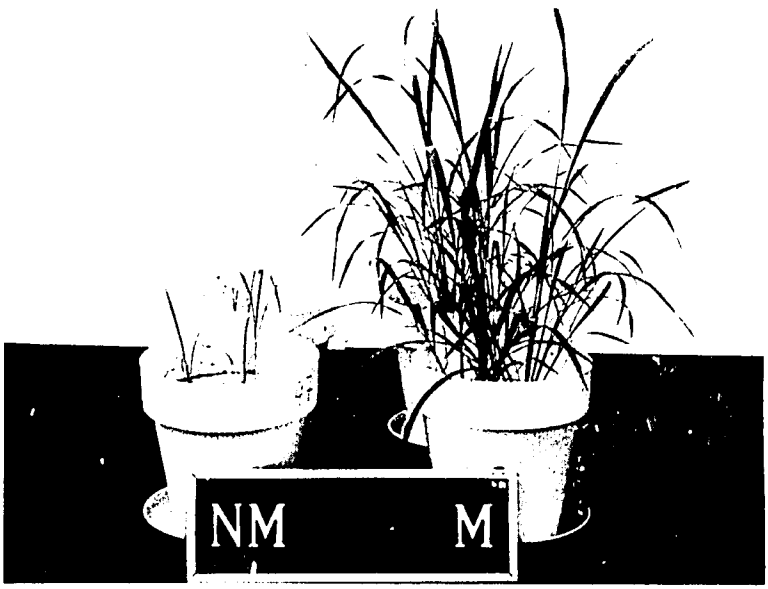



Figura 16. Efecto de la inoculación con hongos de micorriza en el crecimiento de *Andropogon gayanus* CIAT 621 cultivado en un Oxisol esterilizado. NM, no inoculado; M, inoculado con una mezcla de tres hongos de micorriza. El suelo de los potes se fertilizó con 20 kg/ha de P.

Cuadro 9. Efecto de la inoculación con hongos de micorriza en el crecimiento y en la absorción de nutrimentos de *Andropogon gayanus* CIAT 621, cultivado en potes con un Oxisol esterilizado de Carimagua, Colombia.[a]

| Efecto en: | *A. gayanus* inoculado | *A. gayanus* sin inocular | Incremento por inoculación (%) |
|---|---|---|---|
| MS del tallo (g/pote) | 3.84 | 0.39 | 885 |
| MS de raíces (g/pote) | 3.32 | 0.28 | 1050 |
| Absorción total de P (mg/pote) | 3.22 | 0.27 | 1093 |
| Absorción total de N (mg/pote) | 69.32 | 13.22 | 425 |
| Absorción total de K (mg/pote) | 37.06 | 6.51 | 469 |
| Absorción total de Ca (mg/pote) | 10.79 | 1.21 | 792 |
| Absorción total de Mg (mg/pote) | 8.12 | 0.78 | 941 |
| Fósforo en p.a. (%) | 0.084 | 0.070 | 20 |
| Nitrógeno en p.a. (%) | 1.81 | 3.39 | -47 |
| Potasio en p.a. (%) | 0.97 | 1.67 | -42 |
| Calcio en p.a. (%) | 0.28 | 0.31 | -10 |
| Magnesio en p.a. (%) | 0.21 | 0.20 | 5 |

a. Fuente de P: roca fosfórica; tasa de P: 20 kg/ha. Los valores promedio de las tres plantas evaluadas, inoculadas y, sin inocular, son diferentes significativamente ($P < 0.05$) excepto el porcentaje de Mg (en el follaje); p.a. = parte aérea de las plantas.

Cuadro 10. Efecto de la inoculación con hongos de micorriza en la utilización del P del suelo, en seis gramíneas forrajeras sembradas en un Oxisol esterilizado de Carimagua, Colombia.

| Especie | Utilización del P del suelo (%)[a] | | Indice |
|---|---|---|---|
| | M | NM | M/NM |
| *B. brizantha* | 17.33 | 1.59 | 10.95 |
| *B. decumbens* | 24.86 | 1.67 | 14.88 |
| *B. dictyoneura* | 25.31 | 4.70 | 5.39 |
| *A. gayanus* | 24.38 | 4.85 | 5.02 |
| *B. humidicola* | 27.89 | 7.14 | 3.91 |
| *P. maximum* | 34.55 | 19.95 | 1.73 |
| DMS 5% | 3.47 | | |
| Promedio | 27.39 | 6.65 | 4.12 |
| DMS 5% | 1.42 | | |

a. M = inoculado; NM = sin inocular. Utilización del P del suelo, UPS:

$$\text{UPS, \%} = \frac{\text{Absorción total de P (mg)}}{\text{P aplicado (mg)}} \times 100$$

## Inoculación de *A. gayanus* con micorrizas

La inoculación de un suelo sin esterilizar puede beneficiar el crecimiento de las plantas que se establezcan en él, por dos razones: primera, porque las endofitas nativas son muy escasas y, por ello, la infección sólo se desarrolla de modo muy lento; segunda, porque esas endofitas son relativamente ineficientes (Mosse, 1981). En general, es posible esperar que los beneficios de la inoculación sean menores en un suelo no esterilizado que en un suelo estéril ya que las plantas no inoculadas del primer suelo tarde o temprano quedarán infectadas también por las micorrizas nativas. Se adelantaron pues varios experimentos de invernadero y de campo para observar la respuesta de *A. gayanus* a la inoculación con hongos de micorriza en un suelo no esterilizado.

El Cuadro 11 muestra que, inoculada con hongos de micorriza en un suelo sin esterilizar, la gramínea duplica la materia seca de las partes áreas y aumenta también significativamente la

Cuadro 11. Efecto de la inoculación con hongos de micorriza en el crecimiento y en la absorción de nutrimentos de *A. gayanus* CIAT 621 sembrado en un Oxisol sin esterilizar, bajo condiciones de invernadero.[a]

| Efecto en: | *A. gayanus* inoculado | *A. gayanus* sin inocular | Incremento por inoculación (%) |
|---|---|---|---|
| MS del tallo (g/pote) | 2.01 | 0.98 | 105 |
| MS de raíces (g/pote) | 3.14 | 2.28 | 38 |
| Absorción total de P (mg/pote) | 1.65 | 0.64 | 157 |
| Absorción total de N (mg/pote) | 19.05 | 7.52 | 153 |
| Absorción total de K (mg/pote) | 18.22 | 11.97 | 52 |
| Absorción total de Ca (mg/pote) | 5.85 | 2.50 | 134 |
| Absorción total de Mg (mg/pote) | 4.01 | 1.24 | 223 |
| Fósforo en p.a. (%) | 0.083 | 0.067 | 24 |
| Nitrógeno en p.a. (%) | 0.98 | 0.78 | 26 |
| Potasio en p.a. (%) | 0.89 | 1.24 | -28 |
| Calcio en p.a. (%) | 0.29 | 0.25 | 16 |
| Magnesio en p.a. (%) | 0.20 | 0.13 | 54 |
| Porcentaje de utilización del P del suelo (UPS)[b] | 11.60 | 4.15 | 180 |

a. Fuente de P: P soluble; tasa de P: 20 kg/ha. Los promedios de los valores de las plantas inoculadas y sin inocular son diferentes significativamente ($P < 0.05$). p.a. = parte aérea de las plantas.

b. $\text{UPS}, \% = \frac{\text{Absorción total de P (mg)}}{\text{P aplicado (mg)}} \times 100$

absorción de los nutrimentos. Los contenidos de minerales de la parte aérea también aumentaron por la inoculación, excepto el K. Las plantas inoculadas utilizaron cantidades significativamente mayores del P del suelo que las plantas no inoculadas. No hubo diferencias significativas entre la infección de micorrizas VA de las raíces de las plantas inoculadas y la de las plantas no inoculadas, pero los efectos de la inoculación en la producción de materia seca y en la absorción de nutrimentos fueron muy diferentes. Estos resultados indican claramente que los hongos de micorriza nativos no fueron tan efectivos como los introducidos, o fueron muy lentos en infectar las raíces en las etapas tempranas del crecimiento de las plantas. En este experimento las plantas recibieron una forma de P soluble y fácilmente aprovechable; sin embargo, y aun con ayuda de los hongos de micorriza nativos, las plantas de *A. gayanus* utilizaron únicamente 4.15% del P del suelo, en comparación con 11.6% empleado por las plantas inoculadas con hongos de micorriza seleccionados.

Observada la respuesta significativa a la inoculación con hongos de micorriza en condiciones de invernadero, el paso lógico siguiente fue estudiar la respuesta a esa inoculación en condiciones de campo; un experimento semejante se estableció en Carimagua, en los Llanos Orientales de Colombia. Las parcelas se fertilizaron con bajos niveles de nutrimentos. Los análisis del suelo antes de la fertilización revelaron un nivel de P de 1.8 mg/kg de suelo (Bray II). Se aplicaron cuatro tratamientos con tres repeticiones: testigo (sin ninguna adición); sin añadir inóculo de micorriza ni P; con inoculación de hongo de micorriza (M); con roca fosfórica, (RF); y con roca fosfórica e inóculo de micorriza (RF + M). Como inóculo se usó una mezcla de suelo y residuos de raíces, y se aplicó en los surcos, bajo las semillas, a razón de 200 g/m, aproximadamente. Las especies ensayadas fueron *Stylosanthes capitata, Pueraria phaseoloides* y *Andropogon gayanus.*

La Figura 17 muestra que la producción de materia seca de *A. gayanus* aumentó cuando la gramínea fue inoculada con hongos de micorriza y recibió una aplicación de roca fosfórica; el aumento de MS fue significativo hasta en el tercer corte y desapareció después de él. La inoculación con hongos de

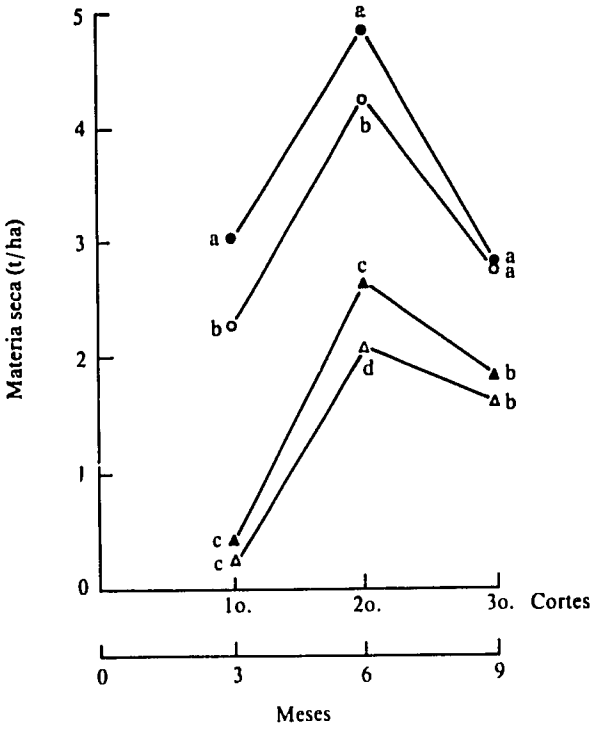



Figura 17. Materia seca de *A. gayanus* CIAT 621 sembrado en un Oxisol sin esterilizar, en el campo. Tratamientos: roca fosfórica más micorriza ( ● ); roca fosfórica ( o ); inoculado con hongos de micorriza ( ▲ ); y testigo ( △ ). Los promedios de cada corte acompañados por letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

micorriza sin la aplicación de P no tuvo efecto en la producción de materia seca en los cortes primero y tercero, pero aumentó significativamente en el segundo. Si las plantas crecieron más cuando se les proporcionó roca fosfórica e inóculo de micorriza, y menos en los tratamientos en que sólo recibieron roca fosfórica, se concluye que los hongos nativos no fueron efectivos en las condiciones experimentales y que los hongos de micorriza introducidos fueron capaces de competir con los nativos. El bajo rendimiento de las plantas que sólo recibieron inóculo de micorriza, en comparación con las que recibieron roca fosfórica más inóculo de micorriza, indica que la inoculación con hongos de micorriza, en suelos muy bajos en P, tiene que combinarse con la adición de algún fertilizante fosfórico, si se desea obtener altos

rendimientos. Se cree que la disminución global en la producción de materia seca y en la respuesta a la inoculación, observada en el tercer corte, es efecto de la estación seca y de la consiguiente disminución en el P aprovechable del suelo. Se observaron también disminuciones similares, tanto en la producción de materia seca como en la respuesta a la inoculación, en cosechas sucesivas de *S. capitata* y *P. phaseoloides*[1] y de *A. gayanus* y *P. phaseoloides* (Salinas et al., 1985).

La absorción total de P, N y K aumentó cuando la inoculación con hongos de micorriza se combinaba con roca fosfórica únicamente en el primer corte. En otros muestreos esa inoculación no tuvo efecto en la absorción de nutrimentos. La inoculación con hongos de micorriza tampoco tuvo efecto en la concentración de minerales en la parte aérea de las plantas; aquélla disminuyó, en los cortes sucesivos, hasta niveles muy inferiores a los niveles críticos internos de *A. gayanus*. Probablemente, la reducción del P aprovechable del suelo o de otros nutrimentos ocasiona esa disminución.

Estudiada la interacción entre los hongos de micorrizas VA y la roca fosfórica en los suelos ácidos, se investigaron luego las interacciones de la micorriza VA con otras rocas naturales utilizadas como fuentes de fertilizantes, como las rocas feldespáticas de K. Se comparó la efectividad agronómica de los feldespatos de K y de KCl como fertilizantes potásicos para saber si la inoculación con hongos de micorriza aumentaría la eficiencia de esos fertilizantes en un suelo no esterilizado. El Cuadro 12 muestra que la producción de materia seca de las plantas de *A. gayanus* aumentó significativamente a causa de la inoculación con micorriza —no así la de las plantas testigo— en tanto que la materia seca de las plantas de *P. maximum* sólo aumentó en los tratamientos 30 MIX y 30 KFS.

El crecimiento excepcionalmente bueno de especies de *Zornia* y *Centrosema* y de *P. maximum* sin inocular y fertilizado con feldespatos de K indica que éstos tendrían efectos secundarios positivos en el crecimiento de las plantas, o que habría efectos

1. Saif, S. R. Información sin publicar.

Cuadro 12. Efecto de la inoculación con hongos de micorriza en la materia seca del tallo y en la absorción de nutrimentos de dos gramíneas forrajeras, sembradas en monocultivo en un Oxisol sin esterilizar, y fertilizadas con dos fuentes de potasio.[a]

| Gramínea | K aplicado[b] kg/ha | MS del tallo (g/maceta) | | Absorción total de minerales (mg/maceta) | | | | | | Concentración de minerales (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | P | | N | | K | | P | | N | | K | |
| | | NM | M | NM | M | NM | M | NM | M | NM | M | NM | M | NM | M |
| *Andropogon gayanus* | 0 | 3.97 | 6.46 | 3.24 | 4.33 | 80.31 | 110.50 | 38.37 | 43.41 | 0.080 | 0.066 | 2.06 | 1.71 | 1.00 | 0.68 |
| | 30 KCl | 5.08 | 9.38 | 3.62 | 7.45 | 92.07 | 152.41 | 62.16 | 95.11 | 0.073 | 0.080 | 1.83 | 1.62 | 1.22 | 1.01 |
| | 30 MIX | 5.49 | 8.72 | 4.41 | 6.73 | 94.46 | 102.10 | 69.70 | 73.01 | 0.080 | 0.077 | 1.73 | 1.17 | 1.28 | 0.84 |
| | 30 KFS | 5.52 | 9.37 | 6.20 | 7.80 | 99.33 | 109.40 | 54.86 | 81.85 | 0.113 | 0.083 | 1.81 | 1.17 | 1.00 | 0.87 |
| *Panicum maximum* | 0 | 6.36 | 7.82 | 4.99 | 5.88 | 140.19 | 161.49 | 60.61 | 71.51 | 0.080 | 0.073 | 2.25 | 2.13 | 0.98 | 0.98 |
| | 30 KCL | 9.43 | 11.53 | 5.26 | 6.13 | 145.01 | 166.84 | 85.93 | 113.02 | 0.056 | 0.053 | 1.60 | 1.45 | 0.93 | 0.97 |
| | 30 MIX | 10.32 | 15.18 | 7.79 | 9.20 | 112.64 | 142.08 | 95.59 | 115.35 | 0.077 | 0.060 | 1.34 | 0.94 | 0.98 | 0.76 |
| | 30 KFS | 13.22 | 16.20 | 10.57 | 12.89 | 126.79 | 173.69 | 70.31 | 104.11 | 0.080 | 0.080 | 0.96 | 1.07 | 0.52 | 0.65 |
| DMS 5% | | 2.53 | | 2.75 | | 26.41 | | 24.49 | | 0.023 | | 0.44 | | 0.26 | |

a. NM = no inoculado; M = inoculado.

b. 0 = testigo; 30 KCl = 30 kg/ha de K como KCl; 30 MIX = 30 kg/ha de K como una mezcla de KCl y feldespato de K en partes iguales (1:1); 30 KFS = 30 kg/ha de K como feldespatos de potasio.

negativos del KCl, o que el feldespato de K puede estimular la actividad de los hongos de micorriza nativos (Saif y Salinas, 1985). El efecto principal de la aplicación de dos fuentes de K en la producción de materia seca de *A. gayanus* no fue significativo. La absorción de P y de N por las plantas de *A. gayanus* aumentó significativamente en el tratamiento 30 KCl; la absorción de K, en cambio, aumentó en los tratamientos 30 KCl y 30 KFS (Cuadro 12). El efecto principal de la inoculación en el índice de eficiencia de utilización del K fue significativo para *A. gayanus*, tanto en monocultivo como asociado con leguminosas de los géneros *Centrosema* y *Zornia* (Cuadro 13); la inoculación, en cambio, no tuvo efecto en ese índice de eficiencia en *P. maximum*, ya sea sembrado solo o en asociación con *C. macrocarpum*.

Los datos indican que la aplicación de K en forma de cloruro puede ser sustituida por las rocas feldespáticas potásicas. Los

Cuadro 13. Efecto principal de la inoculación con hongos de micorriza en el índice de eficiencia de uso del K de dos gramíneas forrajeras, sembradas solas o asociadas con leguminosas en un Oxisol sin esterilizar. Se aplicaron dos fuentes de K.[a]

| Especie | Indice de eficiencia de uso del K[b] | | Indice M/NM |
|---|---|---|---|
| | M | NM | |
| Monocultivo | | | |
| *A. gayanus* | 121 | 91 | 1.33 |
| *P. maximum* | 126 | 131 | 0.96 |
| Asociación | | | |
| • *A. gayanus* asociado con: | | | |
| *C. macrocarpum* | 135 | 113 | 1.19 |
| *Z. glabra* | 128 | 101 | 1.19 |
| *S. capitata* | 126 | 134 | 0.94 |
| • *P. maximum* asociado con: | | | |
| *C. macrocarpum* | 123 | 118 | 1.04 |
| DMS 5% | 19.55 | | |
| Promedio | 127 | 115 | 1.10 |
| DMS 5% | 7.98 | | |

a. NM = no inoculado; M = inoculado.

b. Indice de eficiencia de uso del K = $\frac{\text{Materia seca, parte aérea (mg)}}{\text{Absorción total de K (mg)}}$.

feldespatos, menos susceptibles a la lixiviación que los fertilizantes tradicionales de alta solubilidad, liberarían lentamente sus nutrimentos durante un período largo de tiempo, al igual que la roca fosfórica. Se requerirían así aplicaciones menos frecuentes y, por lo tanto, se reducirían los costos.

## Efecto de las especies endofitas de hongos de micorriza

Se ha demostrado que los hongos VA difieren considerablemente en el grado en que mejoran el crecimiento de las plantas y su absorción de nutrimentos. Se examinó por ello la variabilidad de la efectividad de diferentes hongos de micorriza, para determinar si algunos de ellos eran más efectivos que otros en ciertas leguminosas y gramíneas forrajeras sembradas en un Oxisol estéril y fertilizadas con roca fosfórica (30 kg/ha de P). El Cuadro 14 muestra que los diversos hongos de micorriza ensayados variaron en su capacidad de estimular el crecimiento y la absorción de nutrimentos de *A. gayanus*.

El hongo de micorriza que promovió el mayor rendimiento de *A. gayanus* fue *Entrophospora colombiana* ($M_4$), que incrementó el peso seco del pasto, en comparación con los testigos, en un 4950%, y en comparación con plantas infectadas por los hongos nativos de micorriza, en un 300% (Cuadro 15). El Cuadro 15 muestra también que los hongos de micorriza de mayor rendimiento pueden hallarse en distintos hospedantes. El Cuadro 16 aclara que, aun para un mismo hospedante, los hongos de micorriza difieren notoriamente en la utilización que hacen del P del suelo.

Conviene anotar que este experimento se realizó en un suelo esterilizado donde los hongos de micorriza introducidos no tuvieron que competir con los nativos, competencia que ocurriría normalmente en condiciones de campo. Por tanto, es necesario seleccionar los hongos de mejor rendimiento para cada especie de forrajera en condiciones de campo. El objetivo será además encontrar algunos hongos de micorriza que sean 'universales', es decir, que den una buena respuesta, en rendimiento, a una gran variedad de especies forrajeras en diferentes condiciones edáficas y ambientales.

Cuadro 14. Efecto de la inoculación con hongos de micorriza en el crecimiento, en la composición mineral, y en el porcentaje de infección de las raíces de *Andropogon gayanus*, sembrado en un Oxisol esterilizado.[a]

| Hongo de micorriza | Código | MS del tallo (g/pote) | Absorción total de minerales (mg/pote) | | | Concentración de minerales (%) | | | Infección (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | P | N | K | P | N | K | |
| Testigo | (NM) | 0.10 | 0.12 | 2.60 | 1.57 | 0.108 | 2.08 | 1.30 | 0 |
| Micorriza indígena | (IMF) | 1.65 | 1.74 | 30.46 | 23.04 | 0.105 | 1.85 | 1.42 | 59 |
| *Glomus fasciculatus* | ($M_1$) | 0.49 | 0.52 | 11.70 | 8.13 | 0.105 | 2.36 | 1.62 | 77 |
| *Gigaspora heterogama* | ($M_2$) | 0.39 | 0.52 | 15.87 | 5.37 | 0.103 | 2.26 | 1.16 | 40 |
| *Entrophospora colombiana* | ($M_3$) | 0.83 | 3.47 | 52.11 | 30.78 | 0.090 | 1.36 | 0.80 | 81 |
| *Entrophospora colombiana* | ($M_4$) | 4.95 | 4.07 | 69.25 | 44.50 | 0.083 | 1.39 | 0.87 | 74 |
| *Acaulospora longula* | ($M_5$) | 4.27 | 3.01 | 62.27 | 32.41 | 0.070 | 1.48 | 0.76 | 60 |
| *Acaulospora appendicula* | ($M_7$) | 0.06 | 0.04 | nd | 0.61 | 0.063 | nd | 1.01 | 12 |
| *Acaulospora morrowae* | ($M_8$) | 0.29 | 0.12 | nd | 2.62 | 0.053 | nd | 0.95 | 7 |
| *Glomus manihotis* | ($M_{10}$) | 4.46 | 3.53 | 63.07 | 39.05 | 0.080 | 1.48 | 0.90 | 82 |
| *Acaulospora scorbiculata* | ($M_{13}$) | 4.06 | 3.51 | 61.84 | 34.48 | 0.088 | 1.57 | 0.87 | 85 |
| DMS 5% | | 0.94 | 0.92 | 14.24 | 11.12 | 0.039 | 0.39 | 0.37 | 26 |

a. Fuente de P: roca fosfórica; tasa de P aplicada: 30 kg/ha. Dato no determinado = nd.

Cuadro 15. Comparación del incremento de materia seca de algunas leguminosas y gramíneas forrajeras inoculadas con mejores cepas de hongos de micorriza.

| Especie | Hongo de micorriza | Incremento (%) de MS sobre tratamiento:[a] | |
|---|---|---|---|
| | | NM | IMF |
| Leguminosa | | | |
| *C. macrocarpum* | *E. colombiana* ($M_4$) | 242 | 173 |
| *S. capitata* | *E. colombiana* ($M_4$) | 1005 | 238 |
| *D. ovalifolium* | *G. manihotis* ($M_{10}$) | 893 | 221 |
| *Z. glabra* | *A. longula* ($M_5$) | 1087 | 240 |
| Gramínea | | | |
| *A. gayanus* | *E. colombiana* ($M_4$) | 4950 | 300 |
| *B. decumbens* | *E. colombiana* ($M_4$) | 1281 | 212 |
| *B. brizantha* | *E. colombiana* ($M_4$) | 571 | 203 |
| *B. humidicola* | *A. scorbiculata* ($M_{13}$) | 499 | 178 |

a. NM = sin inocular; IMF = micorriza indígena.

Cuadro 16. Efecto de la inoculación con hongos de micorriza en la utilización del P del suelo (P aplicado + P native) que hace *A. gayanus* CIAT 621 cultivado en un Oxisol esterilizado.[a]

| Hongo de micorriza | Código | Utilización del P del suelo[b] | Incremento (%) sobre tratamiento: | |
|---|---|---|---|---|
| | | (%) | NM | IMF |
| Testigo | (NM) | 0.76 | — | — |
| Micorriza indígena | (IMF) | 10.82 | 1424 | — |
| *Glomus fasciculatus* | ($M_1$) | 3.25 | 428 | — |
| *Gigaspora heterogama* | ($M_2$) | 3.23 | 425 | — |
| *Entrophospora colombiana* | ($M_3$) | 21.57 | 2838 | 262 |
| *Entrophospora colombiana* | ($M_4$) | 25.34 | 3334 | 308 |
| *Acaulospora longula* | ($M_5$) | 18.73 | 2464 | 228 |
| *Acaulospora appendicola* | ($M_7$) | 0.23 | — | — |
| *Acaulospora marrowae* | ($M_8$) | 0.73 | — | — |
| *Glomus manihotis* | ($M_{10}$) | 21.97 | 2891 | 267 |
| *Acaulospora scorbiculata* | ($M_{13}$) | 21.83 | 2872 | 265 |
| DMS 5% | | 5.76 | | |

a. Fuente de P: roca fosfórica; tasa de P: 30 kg/ha. NM = sin inocular; IMF = micorriza indígena.

b. UPS, $\% = \frac{\text{Absorción total de P (mg)}}{\text{P aplicado (mg)}} \times 100$.

# Conclusiones

*Andropogon gayanus* Kunth es una gramínea forrajera que manifiesta una amplia adaptación a diferentes tipos de suelos. Sin embargo, en suelos ácidos y de baja fertilidad (Oxisoles y Ultisoles), su adaptación estará más restringida cuanto mayor sea la acidez y menor la disponibilidad de los nutrimentos. En presencia de niveles altos de Al, no presenta las anormalidades morfológicas observadas en gramíneas forrajeras no adaptadas a ellos, gracias a su sistema radical. Para tolerar el exceso de Al en el suelo, *A. gayanus* posee un mecanismo que, al parecer, excluye ese elemento en la raíz y mantiene un contenido foliar de Al relativamente bajo comparado con el de otras gramíneas forrajeras tropicales.

*A. gayanus* ha demostrado también una buena adaptación a los suelos en que el nivel de P es bajo; el mecanismo que explicaría esa adaptación se halla en su sistema radical extenso y profundo, que le permite disponer de una mayor superficie de absorción. Esta capacidad de explorar el suelo y de extraer P de él está relacionada, al parecer, con la presencia de micorriza en sus raíces. *A. gayanus* no parece sufrir toxicidad aun con niveles del Mn del suelo superiores a 80 ppm, y mantiene una relación Mn/Fe en el tejido foliar cercana a 2.5. Esta relación se considera favorable pues con ella la planta no manifiesta síntomas de deficiencia de Fe ni reduce su producción de forraje.

*A. gayanus* presenta, en general, concentraciones críticas bajas de los nutrimentos, tanto externas como internas, que son consecuencia lógica de su grado de adaptación a los suelos ácidos de baja fertilidad. Su tolerancia a los niveles altos de saturación de Al corresponde a los requerimientos críticos bajos de Ca y Mg en el suelo y en la planta. Parece que, inicialmente, el requerimiento crítico de K es bajo, pero con el tiempo exige aplicaciones de K que mantengan ese nivel crítico interno. De otro lado, mantener un nivel crítico externo de 12 ppm de S disponible y una concentración crítica interna de 0.15% de ese elemento garantizará la producción estable de *A. gayanus*. No existen en la literatura niveles críticos de micronutrimentos, en el

suelo o en la planta, para *A. gayanus;* aunque los valores hallados son generales para las gramíneas tropicales, los datos obtenidos en los ensayos con *A. gayanus* se ajustan a esos rangos y permiten su uso, como guía, en el diagnóstico del suelo y del tejido foliar de esta gramínea.

*A. gayanus* es además una gramínea tolerante al pH bajo y a la alta saturación de Al de los suelos ácidos y de baja fertilidad, en los que ha demostrado buen potencial de producción de forraje sin que sea necesario aplicar cal. Su bajo requerimiento de cal (100 kg/ha) ha sido asociado con su necesidad del Ca como nutrimento. La respuesta de *A. gayanus* al Mg es también débil, porque una dosis de 10 kg/ha es suficiente para su establecimiento. Es también *A. gayanus* una gramínea que requiere poco P: bastan de 20 a 30 kg/ha para obtener un 80% de su producción máxima. *A. gayanus* ha presentado variaciones en su requerimiento de K según el tipo de suelo, pero en general ha respondido a dosis bajas del elemento, que no sobrepasan los 30 kg/ha; en muchos casos, además, la respuesta al K ha mostrado una interacción con P. A medida que disminuya la materia orgánica del suelo y la textura de éste se torne más arenosa, se espera que *A. gayanus* responda a las aplicaciones de S; se ha observado una respuesta a dosis de este elemento que fluctúan entre 20 y 30 kg/ha. Finalmente, *A. gayanus* ha dado una respuesta significativa a las aplicaciones de 2 kg/ha de Zn, con un efecto residual de 5 años.

La investigación sobre la micorriza de *A. gayanus* indica con claridad que esta gramínea es fuertemente dependiente del hongo cuando se cultiva en suelos ácidos e infértiles. Aunque los hongos de micorriza nativos presentes en estos suelos son capaces de infectar las raíces de *A. gayanus,* no siempre son ellos los mejores. Por consiguiente, aun dada esa condición, la inoculación con hongos seleccionados asegura, en la especie forrajera, un establecimiento más rápido, una mayor producción, y una mejor utilización de los fertilizantes aplicados. Los experimentos realizados en suelo sin esterilizar demuestran que los hongos de micorriza seleccionados pueden competir con los nativos, y que aumentan el crecimiento de *A. gayanus* y su absorción de nutrimentos. Sin embargo, es necesario estudiar el efecto que

ejercen las condiciones del suelo, las fuentes de fertilizantes, y las dosis de éstos en el desarrollo y en la efectividad de diferentes simbiosis con hongos de micorriza, así como la duración de la respuesta a la micorriza.

Los datos indican también que los hongos de micorriza están bien adaptados a los fertilizantes de roca natural de liberación lenta, tales como las rocas fosfóricas y las rocas feldespáticas de K. Estos fertilizantes de roca son muy útiles en los Oxisoles ácidos e infértiles, donde normalmente se establecen las pasturas de *A. gayanus.* La aplicación de fertilizantes de roca, combinada con la inoculación de hongos de micorriza, reduciría el costo de establecimiento de las pasturas de *A. gayanus,* y aseguraría en éstas tanto la mejor utilización de los nutrimentos como su buena productividad.

## Resumen

*Andropogon gayanus* Kunth es una gramínea forrajera que presenta una amplia adaptación a diferentes tipos de suelos, en los cuales ha demostrado un buen potencial de producción de forraje. En los suelos ácidos y de escasa fertilidad (Oxisoles y Ultisoles) su rango de adaptación se halla restringido por la acidez muy alta y por la disponibilidad muy baja de nutrimentos. Sin embargo, en presencia de altos niveles de Al, *A. gayanus* no manifiesta las anormalidades observadas en los pastos que no se adaptan a ese medio, gracias a su sistema radical profundo. También muestra esta gramínea buena adaptación a los niveles bajos de fósforo del suelo porque se asocia con hongos de micorriza; además, no resulta afectada por niveles de Mn del suelo mayores de 80 ppm.

Aunque la literatura sobre niveles críticos de micronutrimentos, en el suelo y en la planta, es escasa tratándose de *A. gayanus,* se sabe que este pasto presenta bajas concentraciones críticas de nutrimentos, tanto externas como internas. Por ejemplo, su tolerancia a la alta saturación de Al está asociada con requerimientos bajos de Ca y de Mg en el suelo y en la planta; su requerimiento inicial de K es bajo; necesita un nivel

crítico externo de sólo 12 ppm de S; y no exige aplicaciones de cal agrícola.

La respuesta a *A. gayanus* a la composición química de los suelos infértiles y ácidos indica que es tolerante al pH bajo y a la alta saturación de Al; responde poco al Mg y sólo a dosis de K que no excedan 30 kg/ha; responde también a dosis de S que fluctúen entre 20 y 30 kg/ha, y a aplicaciones de Zn de 2 kg/ha; finalmente, alcanza una tasa de producción del 80% con dosis de P no mayores de 20 a 30 kg/ha.

*A. gayanus* depende estrechamente de los hongos de micorriza cuando crece en suelos ácidos e infértiles. Las inoculaciones con hongos seleccionados de este tipo garan un establecimiento más rápido del pasto, y le permiten usar mejor el fertilizante aplicado, sobre todo si éste se combina con aplicaciones de fertilizante en roca. Tal combinación produce menores costos de establecimiento, un uso más efectivo de los nutrimentos, y pasturas de *A. gayanus* más productivas.

# Referencias


Ali, M. E. 1973. Influence of cations on aluminum toxicity in wheat *(Triticum aestivam* (Vill.) Host). Tesis (Ph.D.). Oregon State University, Corvallis, OR, E.U.

Ames, R. N.; Reid, C. P. P.; Porter, L. K. y Cambardella, C. 1983. Hyphal uptake and transport of nitrogen from two $^{15}N$-labelled sources by *Glomus mosseae,* a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus. New Phytol. 95:381-396.

Andrew, C. S. y Robins, M. F. 1969. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition and critical phosphorus percentages of some tropical pasture grasses. Aust. J. Agric. Res. 22: 693-703.

Barrault, J. 1973. La recherche fourragère au Nord-Cameroun; production et valeur alimentaire de quelques fourrages locaux. Agron. Trop. 28(2):173-188.

Blair, G. 1979. Sulfur in the tropics. International Fertilizer Development Center (IFDC), Muscle Shoals, AL, E.U. 60 p.

Bogdan, A. V. 1977. Tropical pasture and fodder plants. Longman Group, Londres, Inglaterra. 475 p.

Bowden, B. N. 1963. The root distribution of *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus*. East Afr. Agric. For. J. 29:157-159.

———. 1964. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth; III: an outline of its biology. J. Ecol. 52:255-271.

Cate, R. B., Jr. y Nelson L. A. 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 35:658-659.

CEPEC (Centro de Pesquisas do Cacau). 1982. Desenvolvimento da pesquisa e experimentação agropecuária: principais resultados. Itabuna, Bahía, Brasil. p. 38-49.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1978. Programa de Ganado de Carne. En: CIAT Informe anual 1977. Cali, Colombia. p. A-1 a A-124.

———. 1979. Programa de Ganado de Carne. En: CIAT Informe anual, 1978. Cali, Colombia. p. B-1 a B-188.

—. 1980. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1979. Cali, Colombia. 159 p.

———. 1981. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1980. Cali, Colombia. 138 p.

———. 1982. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1981. Cali, Colombia. 302 p.

———. 1984. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1982. Cali, Colombia. 366 p.

———. [1984]. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1983. Cali, Colombia. 375 p.

———. 1985. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1984. Cali, Colombia. 280 p.

———. 1986. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales; resultados 1982-1985. (Documento de trabajo) Tercera reunión de la RIEPT, octubre, 1985, 2 vols. Cali, Colombia. Vol. I, 742 p.; vol. 2, p. 743-1228.

Clarkson, D. T. 1969. Metabolic aspects of aluminium toxicity and some possible mechanisms for resistance. En: Rorison, I. H. (ed.). Ecological aspects of the mineral nutrition of plants: a symposium of the British Ecological Society, Sheffield, abril 1968. Blackwell, Oxford, Inglaterra. p. 381-397.

Cochrane, T. T.; Sánchez, L. G.; de Azevedo, L. G; Porras, J. A.; y Garver, C. L. 1985. La tierra en América tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, y Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária en el Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, D.F., Brasil. Vol. I, 146 p.

Cooper, K. M. y Tinker, P. B. 1978. Translocation and transfer of nutrients in vesicular-arbuscular mycorrhizae; II: uptake and translocation of phosphorus, zinc and sulphur. New Phytol. 81:43-52.

Couto, W.; Lathwell, D. J. y Bouldin, D. R. 1979. Sulfate sorption by two Oxisols and an Alfisol of the tropics. Soil Sci. 127:108-116.

———; Leite, G. G. y Kornelius, E. 1985. The residual effect of phosphorus and lime on the performance of four tropical grasses in a high P fixing Oxisol. Agron. J. 77:539-542.

——— y Sanzonowicz, C. 1983. Soil nutrients constraints for legume-based pastures in the Brazilian Cerrados. En: Smith, J. A. y Hays, V. W. (eds.). Fourteenth International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, E.U., junio 1981. Memorias. Wes view Press, Boulder, CO, E.U. p. 320-323.

Cox, F. R. y Kamprath, E. J. 1972. Micronutrient soil tests. En: Mortvedt, J. J. (ed.). Micronutrients in agriculture: proceedings of a symposium held at Muscle Shoals, Alabama, April 20-22, 1971. Soil Science Society of America, Madison, WI, E.U. p. 289-317.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1981. Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1979-1980. Planaltina, D.F., Brasil.

Emrich, E. 1972. Competição entre cinco gramíneas forrageiras para a formação de pastagens con solo de Cerrado. En: segunda reunión de la Sociedade Brasileira dos Cerrados, Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil. p. 209-221.

Falade, J. A. 1975. The effect of phosphorus on growth and mineral composition of five tropical grasses. East Afr. Agric. For. J. 40(4):342-350.

Fenster, W. E. y León, L. A. 1979. Manejo de la fertilización con fósforo para el establecimiento y mantenimiento de pastos mejorados en suelos ácidos e infértiles de América tropical. En: Tergas, L. E. y Sánchez, P. A. (eds.). Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 119-133.

Foy, C. D. 1976. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. Cienc. Cult. 28(2):150-155.

——— y Brown, J. C. 1963. Toxic factors on acid soils; I: characterization of aluminum toxicity in cotton. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27:403-407.

Fox, R. L. 1974. Examples of anion and cation adsorption by soils of tropical America. Trop. Agric. (Trinidad) 51:200-210.

———. 1980. Responses to sulphur by crops growing in highly weathered soils. Sulphur Agric. 4:16-22.

Gerdemann, J. W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. En: Torrey, J. G. y Clarkson, D. T. (eds.). The development and functions of roots. Academic Press, Londres, Inglaterra. p. 575-591.

Gianinnazi-Pearson, V. y Gianinnazi, S. 1978. Enzimatic studies on the metabolism of vesicular-arbuscular mycorrhiza; II: soluble alkaline phosphatase specific to mycorrhizal infection in onion roots. Physiol. Plant Pathol. 12:43-53.

Gray, L. E. y Gerdemann, J. W. 1973. Uptake of sulphur-35 by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Plant Soil 39:687-689.

Gualdrón, R. y Salinas, J. G. 1982. El azufre en suelos de los Llanos Orientales de Colombia. Suelos Ecuat. 12(2):221-230.

Haggar, R. J. 1972. The intake and digestibility of low quality *Andropogon gayanus* hay, supplemented with various nitrogenous feeds, as recorded in sheep. Nigerian Agric. J. 7:70-75.

———. 1975. The effect of quality, source and time of application of nitrogen fertilizers on the yield and quality of *Andropogon gayanus* at Shika, Nigeria. J. Agric. Sci. 84:529-535.

——— y Ahmed, M. B. 1971. Seasonal production of *Andropogon gayanus;* III: changes in crude protein content and *in vitro* dry matter digestibility of leaf and stem portions. J. Agric. Sci. 77:47-52.

Ho, I. y Trappe, J. M. 1975. Nitrate reducing capacity of this vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. Mycologia 67:886-888.

Hutton, E. M. 1980. Sulphur deficiency in acid soils of tropical Latin America. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 8 p.

Jackson, N. E.; Miller, R. H. y Franklin, R. E. 1973. The influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on uptake of $^{90}Sr$ from soil by soybeans. Soil Biol. Biochem. 5:205-212.

Jones, C. A. 1979. The potential of *Andropogon gayanus* Kunth in the Oxisol and Ultisol savannas of tropical America. Herbage Abstr. 49(1):1-8.

Jones, R. K. 1974. Nutrient requirements for the establishment of improved pasture. En: Seminar on potential to increase beef production in tropical America. Memorias. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 17-33.

Kannegieter, A. 1966. The cultivation of grasses and iegumes in the forest zone of Ghana. Ghana J. Sci. 6(3-4):97-109.

Kerridge, P. C. 1978. Fertilization of acid tropical soils in relation to pasture legumes. En: Andrew C. S. y Kamprath, E. J. (eds.). Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Melbourne, Australia. p. 395-415.

La Rue, J. H.; McClellan, W. D. y Peacock, W. L. 1975. Mycorrhizal fungi and peach nursery nutrition. Calif. Agric. 29:7.

Leite, C. G. y Couto, W. 1982. Adubação para estabelecimento e manutenção de pastagens no Cerrado. En: Vilela, E. (ed.). Encontro sôbre formação e manejo de pastagens em áreas de Cerrado. Uberlandia, MG, Brasil.

León, L. A.; López, A. S. y Vlek, P. L. G. 1985. Micronutrient problems in tropical Latin America. Fert. Res. 7:95-129.

Lópes, A. S. 1980. Micronutrients in soils of the tropics as constrainst to food production. En: Priorities for alleviating soil related constraints to food production in the tropics. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas. p. 217-298.

Lotero, J.; Monsalve, S. A.; Ramírez, A. y Villamizar F. 1971. Respuesta de gramíneas y leguminosas forrajeras al encalamiento. Suelos Ecuat. 3:210-239.

Mejía M., M. 1984. *Andropogon gayanus* Kunth; bibliografía analítica. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 169 p.

Mendoza, P. E. 1979. Response of *Andropogon gayanus* to lime, P, and micronutrients in a highly weathered Amazon soil from Colombia. Tesis (Ph.D.). University of Florida, Gainesville, FL, E.U. 140 p.

Miranda, L. N. y Lobato, E. 1978. Tolerância de variedades de feijão e de trigo ao alumínio e a baixa disponibilidade de fósforo no solo. Rev. Bras. Cienc. Solo 2:44-50.

Moore, D. P. 1974. Physiological effects of pH on roots. En: Carson, E. W. (ed.). The plant root and its environment. Univ. University Press of Virginia, Charlottesville, VA, E.U. p. 135-151.

Mosse, B. 1981. Vesicular-arbuscular mycorrhiza research for tropical agriculture. Research bulletin 194. Hawaii Institute Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, HI, E.U. 82 p.

Muzilli, O.; Santos, D.; Palhano, J. B.; Manetti, J.; Lantmarr, A.F.; García, A. y Catanes, A. 1978. Tolerância de cultivares de soja e de trigo a acidez do solo. Rev. Bras. Cienc. Solo 2:34-40.

Nye, P. H. 1966. The effect on the nutrient intensity and buffering power of a soil and the absorbing power, size, and root hairs of a root on the nutrient absorption by diffusion. Plant Soil 25:81-105.

Rabideau, G. S.; Gordon, W. y Heimsch, C. 1950. The adsorption and distribution of radioactive phosphorus in two maize inbreds and their hybrid. Am. J. Bot. 37:93-99.

Rains, A. B. 1963. Grassland research in northern Nigeria, 1952-62. Samaru Miscellaneous Paper no. 1. Institute for Agricultural Research, Ahmadu Bello University, Samaru, Zaria, Nigeria.

Rhodes, L. H. y Gerdemann, J. W. 1978. Translocation of calcium and phosphate by external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizae. Soil Sci. 126:125-126.

Ritchey, K. D. 1979. Potassium fertility in Oxisols and Ultisols of the humid tropics. Cornell Int. Agric. Bull. no. 37. Cornell University, Ithaca, NY, E.U. 45 p.

Saif, S. ur R. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizer, host species and ecotypes. Angew. Bot. 60:125-139.

———. 1987. Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae; I: growth, mineral uptake and mycorrhizal dependency. Plant Soil. 97:25-35.

——— y Salinas, J. G. 1985. Response of tropical forage plants to two sources of potassium and VA mycorrhizal inoculation. En: Molina, R. (ed.). Sixth North American conference on mycorrhizae. Memorias. Forest Research Laboratory, Corvallis, OR, E.U. p. 229.

Salinas, J. G. 1978. Differential response of some cereal and bean cultivars to Al and P stress in an Oxisol of Central Brazil. Tesis (Ph.D.). North Carolina State University, Raleigh, NC. E.U.

———; Castilla, C. E. y Gualdrón, R. 1987. Requerimientos de micronutrimentos por algunas leguminosas forrajeras tropicales en los Llanos Orientales de Colombia. Suelos Ecuat. 17(1):170-178.

——— y Delgadillo, G. 1980. Respuesta diferencial de ocho gramíneas forrajeras a estrés de Al y P en un Oxisol de Carimagua, Colombia. Trabajo presentado en el Séptimo Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Heredia, Costa Rica. 28 p.

———y García, R. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 83 p.

———; Sanz, J. I. y Sieverding, E. 1985. Importance of VA mycorrhiza for phosphorus supply to pasture plants in tropical Oxisols. Plant Soil 84:347-360.

——— y Sánchez, P. A. 1976. Soil-plant relationships affecting varieties and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. Cienc. Cult. (Brasil) 28(2):156-168.

Sánchez, P. A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley-Interscience, Nueva York. 618 p.

——— y Cochrane, T. T. 1980. Soil constraints in relation to major farming systems of tropical America. En: Priorities for alleviating soil-related constraints to food production in the tropics. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Filipinas. p. 107-140.

——— y Salinas, J. G. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in tropical America. Adv. Agron. 34:279-406.

Sanders, F. E.; Mosse, B. y Tinker, P. B. 1975. Endomycorrhizae. Academic Press, Nueva York. 626 p.

Simpson, J. R. 1968. Comparison of the efficiencies of several nitrogen fertilizers applied to pasture in autumn and winter. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 8:301-308.

Singh, M.; Oza, A.; y Khanna, P. 1970. Effect of increasing plant densities of various high yielding wheat varieties having different rooting patterns on the yield and utilization of fertilizer phosphorus. Memorias. Symp. Radiat. Radioisotop. Soil Stud. Plant Nutr. p. 387-395.

Spain, J. M. 1979. Establecimiento y manejo de pastos en los Llanos Orientales de Colombia. En: Tergas, L. E. y Sánchez, P. A. (eds.). Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 181-189.

———. 1981. Agricultural potential of low activity clay soils of the humid tropics. Trabajo presentado en el Fourth International Soil Classification Workshop, Ruanda, junio 1981. 8 p.

———. 1982. The role of pastures in acid infertile soils of the humid tropics in Latin America. En: Wienk, J. F. y de Wit, H. A. (eds.). Workshop on management of low fertility acid soils of the American humid tropics. Paramaribo, Surinam. p. 191-203.

———; Castilla, C. y Franco, L. H. 1979. El uso eficiente de recursos e insumos en el establecimiento y mantenimiento de pastos tropicales. En: Segundo encuentro nacional de zootecnia. Memorias. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 65-84.

———; Francis, C. A.; Howeler, R. H. y Calvo, F. 1975. Diferential species and varietal tolerance to soil acidity in tropical crops and pastures. En: Bornemisza, E. y Alvarado, A. (eds.). Soil management in tropical America. North Carolina State Univesity, Raleigh, NC, E.U. p. 308-392.

——— y Salinas, J. G. 1984. El reciclaje de nutrimentos en pastos tropicales. Trabajo presentado en un simposio sobre retorno cíclico de nutrimentos y agricultura de bajos insumos en los trópicos. Comissão Executiva do Plano de Recuperação Econômica Rural da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), Itabuna, Brasil. 58 p.

Tetteh, A. 1972. Comparative dry matter yield patterns of grass/legume mixtures and their pure stands. Ghana J. Agric. Sci. 5:195-199.

Thomas, D.; de Andrade, R. P.; Couto, W.; da Rocha, C. M. y Moore, P. 1981. *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* cv. Planaltina: principais características forrageiras. Pesqui. Agropecu. Bras. 16(3):347-355.

Timmer, L. W. y Leyden, R. F. 1978. Stunting of citrus seedlings in fumigated soils in Texas and its correction by phosphorus fertilization and inoculation with mycorrhizal fungi. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 103:533-537.

Ulrich, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. Annu. Rev. Plant Physiol. 3:207-228.

Valencia, I. M.; Spain, J. M. y Mott, G. O. 1984. Nutrient competition in *Andropogon gayanus-Stylosanthes capitata* associations. En: Forage and Grassland Conference, enero 1984. Memorias. Houston, Texas, E.U. p. 324-326.

Vicente-Chandler, J.; Caro-Costas, R.; Pearson, R. W.; Abruña, F.; Figarella, J. y Silva, S. 1964. The intensive management of tropical forages in Puerto Rico. Bulletin 187. University of Puerto Rico, Agricultural Experimental Station, Río Piedras, Puerto Rico. 152 p.

Wild, H. 1974. Indigenous plants and chromium in Rhodesia. Kirkia 9:209-232.

# AGRONOMIA DE *ANDROPOGON GAYANUS*

Bela Grof y Derrick Thomas*

## Introducción

En este capítulo se revisarán los estudios adelantados sobre la agronomía de *Andropogon gayanus* Kunth, haciendo énfasis especialmente en la respuesta de la planta a la defoliación causada por el corte y por el pastoreo, tanto en siembras puras del pasto como en su mezcla con leguminosas forrajeras tropicales. Sólo se hace una breve referencia a la variación natural de la especie y a características agronómicas tales como la adaptación a factores edáficos o bióticos, la tolerancia a la sequía y la reacción a la quema, puesto que casi todos estos temas se describen más detalladamente en otros capítulos. Aunque en esta revisión se discute el comportamiento de la floración en el campo, en otro capítulo se describirá la producción de semilla de *A. gayanus*.

Se han hecho estudios agronómicos sobre esta especie principalmente en Africa Occidental, en el trópico de América del Sur, y en el norte de Australia. La mayor parte de los datos de América tropical se registraron en las sabanas de Colombia y Brasil, y casi exclusivamente en una accesión: *A. gayanus* var. *bisquamulatus* CIAT 621. Esta accesión, introducida en Colombia por B. Grof en 1973, provenía de la Estación de Investigación Shika en Nigeria. Las observaciones preliminares indicaron que la especie poseía un potencial considerable para los suelos ácidos e infértiles (principalmente los Oxisoles y Ultisoles)

* Bela Grof es agrónomo de forrajes, sección de Agronomía de Forrajes, CIAT/CPAC, Brasilia, Brasil; Derrick Thomas es agrónomo de forrajes, sección de Agronomía de Forrajes, CIAT, Cali, Colombia.

Brasilia, Brasil, en una latitud de 16º S, donde la precipitación anual promedio es de 1573 mm durante una estación lluviosa de seis meses, Thomas (1985) evaluó en un Oxisol 20 accesiones, semejantes en su porte pero menos 'hojosas' que CIAT 621. A excepción de la accesión CIAT 6243, recibida de Mali, todas las introducciones eran de origen nigeriano. El testigo, CIAT 621, y CIAT 6159 arrojaron rendimientos comparables y fueron más productivas que otras introducciones. Todas las accesiones dieron buen rendimiento de semilla y demostraron una tolerancia razonable a la estación seca. Ninguna de ellas fue atacada por plagas o enfermedades.

En el CNIA de Carimagua en los Llanos Orientales de Colombia, a una latitud de 3º N y donde la precipitación anual promedio es de 2092 mm durante una estación lluviosa de ocho meses, se evaluaron 46 accesiones en un Oxisol.[2] Las introducciones eran originarias de diversos países de Africa Occidental sin excluir a Costa de Marfil y sus regiones de mayor precipitación. Una vez más, ninguna de las accesiones superó en rendimiento a CIAT 621. Como esta accesión fue la mejor línea de las accesiones introducidas, tanto en este centro de investigación como en el primero se adelantaron estudios adicionales únicamente con CIAT 621. En Colombia se estudia actualmente el mejoramiento genético de la especie para producir tipos 'hojosos' y de porte bajo de *A. gayanus* var. *bisquamulatus*, trabajo que se describe con algunos detalles en el capítulo 'Genética y Fitomejoramiento...' escrito por Miles y Grof.

## Cultivares de *A. gayanus*

En 1980, Brasil y Colombia liberaron a *A. gayanus* var. *bisquamulatus* CIAT 621 con los nombres respectivos de cv. Planaltina y cv. Carimagua 1. Durante 1982 y 1983, las instituciones nacionales de Perú, Venezuela y Panamá liberaron la misma accesión con los nombres de San Martín, Sabanero y Veranero, respectivamente. La semilla de estos cultivares se distribuye ahora comercialmente en América tropical.

---

2. Grof, B. Información sin publicar.

Una accesión de esta gramínea ha sido registrada ante el Northern Territory Herbage Liaison Committee en Australia bajo el nombre de Kent (Anning, 1982). A este cultivar no se ha asignado ningún número de introducción de planta de la mancomunidad australiana, pero la accesión CPI 24575 (= CIAT 6756) había sido evaluada con anterioridad por Fisher (1971) en esa región. Lo sorprendente es que la especie no se ha desarrollado aún como cultivar comercial en Africa, a pesar de ser un componente altamente valorado de las pasturas nativas.

## Comportamiento de la Floración

*A. gayanus* es una planta de días cortos con un fotoperíodo crítico para la época de floración, que oscila entre 12 y 14 horas (Tompsett, 1976). La floración se intensifica acortando la duración del día de 12 a 8 horas o exponiendo las plantas más viejas a tratamientos de días cortos. La floración es óptima a una temperatura de aproximadamente 25 $^{0}$C, pero las temperaturas nocturnas frescas (15 $^{0}$C) inhiben fuertemente la floración. Atkin et al. (1973) indicaron que la citocinina o la giberelina producidas por las raíces pueden estimular la floración.

Ferguson et al. (1983) informaron acerca del comportamiento de la floración de *A. gayanus* CIAT 621 en el campo en varias localidades del trópico de América del Sur. En Colombia, a una latitud de 3$^{0}$ N, las plantas florecieron varias veces durante un período de dos años. En localidades ubicadas entre las latitudes de 16$^{0}$ y 19$^{0}$ S en Brasil y Bolivia, la floración estaba bien sincronizada y ocurría una vez al año a mediados de abril. La semilla comenzaba a madurar a finales de mayo. Hace poco tiempo se obtuvo algún éxito en la selección de clones tardíos y de floración más uniforme en latitudes bajas; estos estudios se describen más detalladamente en el capítulo 'Genética y Fitomejoramiento...' En el CPAC en Brasil (latitud 16$^{0}$ S) la investigación pormenorizada que hicieron de Andrade et al. (1983) reveló que la fecha inicial de floración (definida como la presencia de cuatro inflorescencias por m$^{2}$) varió poco entre un año y otro. Aparecieron inflorescencias durante un período corto

de tiempo y casi un 90% de ellas se formaron en la semana que siguió a la fecha inicial de floración. Los porcentajes más altos de macollas fértiles y de densidad de inflorescencias se observaron en el segundo año. El tiempo desde la primera floración hasta la cosecha fue relativamente constante de un año a otro (en promedio, 40 días) y la recolección de la semilla se hizo en los primeros días de la estación seca.

Thomas (1985) observó cierta variación en la época de floración entre 21 accesiones de *A. gayanus* var. *bisquamulatus* en una latitud de 16° S en Brasil. Las 20 introducciones de Nigeria, incluyendo la accesión CIAT 621, florecieron a finales de marzo o de abril. Por otra parte, la accesión CIAT 6243, proveniente de regiones situadas más al norte en Mali, floreció más temprano, es decir, a fines de enero. La fecha de floración y el momento del día en que las flores abren parecen correlacionarse con el origen de la accesión (Foster, 1962). En Shika, Nigeria, los ecotipos provenientes de las partes más secas del norte del país comenzaron a florecer hasta 48 días antes que aquellas recolectadas en áreas situadas más al sur. Esta variación podría ser el resultado de una respuesta fotoperiódica y de una adaptación a la estación lluviosa más corta del norte de Nigeria, puesto que cada accesión empieza a florecer en una fecha que coincide con el final de la estación lluviosa en su sitio de recolección. Alternativamente, la variación puede reflejar la hibridación interespecífica entre *A. gayanus* y *A. tectorum.*

Haggar (1966) observó en Shika, Nigeria, que las macollas formadas antes de la primera parte de la estación lluviosa, o durante ella, hicieron la mayor contribución al rendimiento final de semilla. Se formaron muy pocas macollas después de los dos primeros meses de la estación lluviosa, y en aquéllas que lo lograron se frustró la floración. Chatterjee y Singh (1968) informaron que, en la India, la desaparición de macollas era mayor después de la emergencia de las panículas y durante la estación seca. El menor número de macollas se registró durante la floración y aumentó hasta el máximo durante la primera parte de la estación lluviosa (Singh y Chatterjee, 1966).

## Características Agronómicas

Muchas características agronómicas de *A. gayanus* se describen más detalladamente en otros capítulos, por lo cual basta con resumir aquí brevemente esos atributos. Sin embargo, se hará énfasis en el comportamiento de *A. gayanus* en las pasturas sometidas al corte y al pastoreo.

*A. gayanus* var. *bisquamulatus* está bien adaptada a los ecosistemas de sabana de suelo ácido y de bosque desmontado de América tropical, al trópico monzónico del norte de Australia, y a las áreas de escasa precipitación de la India. La var. *squamulatus* y la var. *bisquamulatus* crecen muy bien en suelos arcilloarenosos bien drenados de fertilidad media a alta (Bowden, 1963). *A. gayanus* CIAT 621 demuestra excelente tolerancia al bajo pH del suelo y a la alta saturación de aluminio, condiciones que no existen en su habitat nativo en Africa Occidental. En un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia, Spain (1979) registro el máximo crecimiento de la accesión CIAT 621 en un suelo sin aplicación de cal y con un 90% de saturación de aluminio. En Brasil se han hecho observaciones similares (CIAT, 1981). Aunque se encuentra bien adaptada a los estreses nutricionales, *A. gayanus* responde a las aplicaciones de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio y calcio (Thomas et al., 1981).

La var. *bisquamulatus* es más vigorosa y agresiva que la var. *squamulatus* (Jones, 1979). Estas dos variedades botánicas se conocen en Africa Occidental porque toleran la sequía, retienen su follaje verde hasta bien avanzada la estación seca, y producen rápidamente forraje de alta calidad al comenzar la estación lluviosa (GCDAH, 1942; Bogdan, 1977). La tolerancia de esta especie a la sequía es suficiente para permitirle resistir hasta nueve meses sin lluvia, aunque prefiere regiones donde la estación seca dure de tres a cinco meses. La especie está bien adaptada a la quema y rebrota mucho mejor que *Brachiaria decumbens* o *Hyparrhenia rufa* (CIAT, 1979); esta cualidad no sorprende en una gramínea originaria de las sabanas africanas donde la

## Características Agronómicas

Muchas características agronómicas de *A. gayanus* se describen más detalladamente en otros capítulos, por lo cual basta con resumir aquí brevemente esos atributos. Sin embargo, se hará énfasis en el comportamiento de *A. gayanus* en las pasturas sometidas al corte y al pastoreo.

*A. gayanus* var. *bisquamulatus* está bien adaptada a los ecosistemas de sabana de suelo ácido y de bosque desmontado de América tropical, al trópico monzónico del norte de Australia, y a las áreas de escasa precipitación de la India. La var. *squamulatus* y la var. *bisquamulatus* crecen muy bien en suelos arcilloarenosos bien drenados de fertilidad media a alta (Bowden, 1963). *A. gayanus* CIAT 621 demuestra excelente tolerancia al bajo pH del suelo y a la alta saturación de aluminio, condiciones que no existen en su habitat nativo en Africa Occidental. En un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia, Spain (1979) registró el máximo crecimiento de la accesión CIAT 621 en un suelo sin aplicación de cal y con un 90% de saturación de aluminio. En Brasil se han hecho observaciones similares (CIAT, 1981). Aunque se encuentra bien adaptada a los estreses nutricionales, *A. gayanus* responde a las aplicaciones de nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio y calcio (Thomas et al., 1981).

La var. *bisquamulatus* es más vigorosa y agresiva que la var. *squamulatus* (Jones, 1979). Estas dos variedades botánicas se conocen en Africa Occidental porque toleran la sequía, retienen su follaje verde hasta bien avanzada la estación seca, y producen rápidamente forraje de alta calidad al comenzar la estación lluviosa (GCDAH, 1942; Bogdan, 1977). La tolerancia de esta especie a la sequía es suficiente para permitirle resistir hasta nueve meses sin lluvia, aunque prefiere regiones donde la estación seca dure de tres a cinco meses. La especie está bien adaptada a la quema y rebrota mucho mejor que *Brachiaria decumbens* o *Hyparrhenia rufa* (CIAT, 1979); esta cualidad no sorprende en una gramínea originaria de las sabanas africanas donde la

vegetación se considera como subclímax y se crea por la quema de la vegetación clímax de tipo arbóreo.

No se han registrado enfermedades fungosas serias o plagas severas en Brasil, Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú o Venezuela. *A. gayanus* CIAT 621 es altamente resistente a los tres géneros principales, *Aeneolamia, Deois* y *Zulia,* del insecto salivazo (salivita).

## Comportamiento del Pasto Sometido a Corte y a Pastoreo

Las cifras de rendimiento obtenidas de *A. gayanus* en muchos ensayos realizados en América tropical son mayores generalmente que las registradas en la mayor parte de los ensayos hechos en las sabanas africanas. Las principales diferencias entre esos dos ambientes son la precipitación, la distribución de ésta, y la duración de la estación seca. La especie se ha distribuido en Africa Occidental dentro de los límites de precipitación anual de 600 y 1500 mm (Figura 1). Grandes extensiones de las sabanas de América del Sur están situadas entre isohietas de 1500 a 2000 mm donde la época de crecimiento se prolonga de seis a nueve meses. En algunas áreas del trópico húmedo de América del Sur la precipitación es superior a los 2000 mm anuales.

Los ensayos revisados para este trabajo se realizaron bajo una amplia gama de condiciones experimentales y ambientales. Las comparaciones entre un sitio y otro se dificultan por las diferencias en los regímenes de corte o de pastoreo, por la aplicación de fertilizantes, por la duración del experimento y por las condiciones climáticas y edáficas. Los datos sobre comportamiento productivo se registran de diferente manera; pueden expresarse en términos de producción anual o como rendimientos presentados (materia seca disponible para los animales) en épocas determinadas. Esta última es muy común en ensayos de pastoreo.

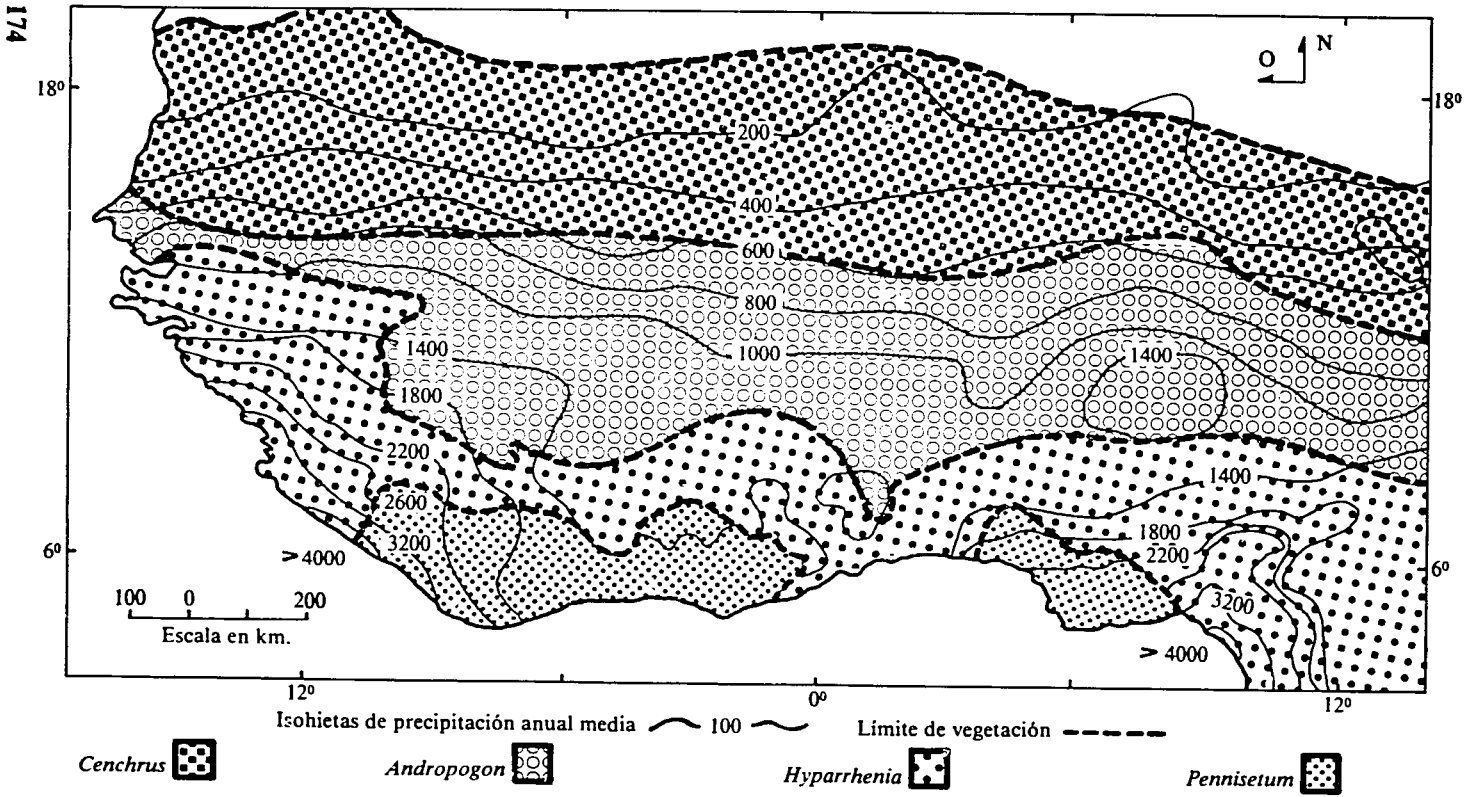



Figura 1. Relación entre los promedios de precipitación anual y el tipo de vegetación local en Africa Occidental.
FUENTE: Rattray, 1960.

## Pasturas monoespecíficas sometidas a corte

En el Cuadro 1 se presentan los rendimientos de materia seca de pasturas monoespecíficas de *A. gayanus* sometidas a corte. Los ensayos duraron entre uno y tres años; cuando se hicieron comparaciones con otras gramíneas, *A. gayanus* produjo generalmente los rendimientos más altos. Los resultados demuestran que, en condiciones favorables, esta gramínea es capaz de dar altos rendimientos de materia seca. Sin embargo, la producción varía ampliamente, en especial por las diferencias en la aplicación de técnicas experimentales, hecho que reclama algún comentario.

Gonçalvez y Oliveira (1981) obtuvieron los rendimientos más altos de materia seca. Estos datos, sin embargo, se refieren a la producción acumulada durante aproximadamente 21 meses. No fue posible distribuir los valores en incrementos anuales. Sin duda alguna, los rendimientos en este estudio fueron influenciados, en alguna medida, por un régimen de precipitación muy favorable, y se observaron respuestas (rendimientos 37% mayores) a la aplicación de fósforo (22 kg/ha de P). Dias Filho y Serrão (1980) también obtuvieron respuestas al aplicar el mismo nivel de fósforo, y los rendimientos citados por estos autores se refieren a la presencia y ausencia de este nutrimento. La alta producción de materia seca de que informan Pedreira y Mattos (1981) es una función de la fuerte aplicación de fertilizantes. Se suministró nitrógeno (40 kg/ha de N), fósforo (44 kg/ha de P) y potasio (50 kg/ha de K) al establecimiento del pasto, y estos nutrimentos se aplicaron también a voleo en los dos años que siguieron al ensayo. Conviene anotar también que, en este ambiente, la precipitación caída fuera de época puede llegar al 15% del total anual, es decir, contribuye al 23% del rendimiento de materia seca registrado en el período denominado 'de invierno'.

El corte del pasto a alturas que oscilaban entre 0.6 y 1.5 m explica las diferencias en el rendimiento de *A. gayanus* observadas por Bowden (1963) en Kano, Nigeria. Haggar (1966) encontró también una correlación positiva entre el rendimiento de la planta y su incremento en altura (1.7 a 2.3 m), atribuido éste

Cuadro 1. Algunos rendimientos de materia seca de *A. gayanus* sometido a corte en pasturas monoespecíficas.

| Localidad | Fuente | Producción de MS[a] (t/ha) | Observaciones |
|---|---|---|---|
| India | | | |
| Bihar (estado) | Prasad y Mukerji, 1980 | 8.4 | Durante 3 años, igual que *Brachiaria brizantha*. Su rendimiento es casi seis veces el de las pasturas nativas. Múltiples cortes por año. |
| Australia | | | |
| Northern Territory | Fisher, 1971 | 4.3 - 14.0 | Clima de sabana. Precipitación anual: 1125 mm. Latitud: 13º S. Otras especies como *Hyparrhenia rufa, Chloris gayana* y *Panicum coloratum* dieron rendimientos desde 3.9 hasta 13.2 t/ha. *A. gayanus* dio el mayor rendimiento en el tercer año. Un corte por año a 5 cm. |
| Nigeria | | | |
| Kano (estado) | Bowden, 1963 | 9.9 - 13.9 | Clima de sabana. Altura de la gramínea al corte: 0.6 a 1.5 m. Cortes por año: 7 a 12. |
| Katsina (distrito) | Bowden, 1963 | 1.3 - 6.4 | Aplicaciones de N: de 0 a 260 kg/ha; y 50 kg/ha de superfosfato. Probablemente un corte al año. |
| Shika (distrito) | Haggar, 1966 | 2.4 - 8.6 | Clima de sabana. Precipitación anual: 1100 mm. Latitud: 11º N. Aplicaciones de N: de 0 a 224 kg/ha; de 0 a 29 kg/ha de P. Un corte. |
| Ghana | | | |
| Achimota (distrito) | Tetteh, 1976 | 7.3 | Clima de sabana. Ensayo de 2.5 años. Precipitación anual: 1048 mm. *Digitaria decumbens* dio 4.0 t/ha. Cinco cortes por año, con intervalos de ocho semanas. |
| Brazil | | | |
| Pará (estado) | Dias Filho y Serrão, 1980 | 2.1 - 5.5 | Trópico húmedo. Ensayo de un año. Precipitación anual: 2591 mm. Latitud: 2º S. Suelo ácido e infértil con o sin 22 kg/ha de P. *Panicum maximum* dio 1.1 a 2.1 t/ha y *Brachiaria humidicola* de 2.4 a 2.9 t/ha. Un corte, probablemente. |
| Rondônia (territorio) | Gonçalvez y Oliveira, 1981 | 17.8 - 28.2 | Trópico húmedo. Precipitación anual: 2000-2500 mm. Latitud: 8º S. Suelo ácido e infértil, con 22 kg/ha de P o sin ellos. *Panicum maximum, Digitaria decumbens. Paspalum plicatulum,* e *Hyparrhenia rufa* rindieron de 9.7 a 17.9 t/ha. Seis cortes en 21 meses. |
| São Paulo (estado) | Pedreira y de Mattos, 1981 | 14.2 | Clima de sabana. Ensayos de tres años. Precipitación anual: 1260 mm. Latitud: 22º S. Superó en rendimiento a otras 20 gramíneas de varios géneros. Múltiples cortes por año. |

a. A excepción de los datos de Gonçalvez y Oliveira (1981), los valores se refieren a los rendimientos anuales de materia seca.

a la aplicación de nitrógeno. Fisher (1971) obtuvo su producción más alta de 14 t/ha en el tercer año, después de hacer un corte a 5 cm por encima del nivel del suelo al final de la época de desarrollo del pasto, es decir, cuando se había acumulado una cantidad considerable de material vegetal.

## Pasturas de gramíneas con leguminosas sometidas a corte

Anteriormente se sabía poco acerca de la productividad de *A. gayanus* cuando se asociaba con leguminosas tropicales. Estudios recientes, hechos principalmente en América tropical, han subsanado esta deficiencia. Los rendimientos de materia seca de *A. gayanus* en asociación, y en condiciones de corte, se comparan favorablemente con los de las pasturas monoespecíficas. En la mayoría de los ensayos se registraron datos durante dos épocas de corte, por lo menos, después del año de establecimiento del pasto. Se formaron asociaciones estables con varias leguminosas, y la proporción de leguminosas varió del 15% al 51% en la asociación.

En un clima de sabana (1048 mm de precipitación anual) en Ghana, Tetteh (1976) informó que *A. gayanus,* en asociaciones con *Centrosema pubescens* y con *Desmodium leiocarpum,* dio rendimientos de materia seca, en promedio, de 4.6 y 5.9 t/ha durante dos años; la proporción total (gramínea más leguminosa) fue de 6.1 y 6.9 t/ha, respectivamente. El rendimiento del testigo de gramínea pura fue de 7.3 t/ha. Sin embargo, el segundo año hubo una tendencia hacia un mayor rendimiento de las mezclas. Si el ensayo hubiera continuado más tiempo, es probable que estas diferencias se hubieran tornado estadísticamente significativas. Además, no se hizo registro alguno del mejoramiento del valor nutricional de la asociación gramínea-leguminosa. En el estado Bihar, India, Prasad y Mukerji (1980) registraron un rendimiento promedio anual de materia seca de 9.6 t/ha en pasturas nativas reforzadas con *A. gayanus* y *Stylosanthes guianensis.* No se ofrecieron datos sobre la composición botánica de las pasturas. La pastura nativa reforzada con *A. gayanus* dio rendimientos de 7.1 t/ha y la pastura nativa sin mejorar rindió solamente 1.3 t/ha de materia seca.

Grof (1981 y 1982) observó altos rendimientos de materia seca en asociaciones de *A. gayanus* que crecían en un ecosistema de bosque talado (1845 mm anuales de precipitación) en el Departamento del Cauca, en Colombia. El suelo era un Ultisol ácido e infértil fertilizado con 40 kg/ha de P. La producción anual de materia seca de la gramínea, mezclada con *Stylosanthes capitata* CIAT 1019, *S. guianensis* CIAT 136 y *C. pubescens* CIAT 438, fue de 9.4, 15.3 y 18.7 t/ha, respectivamente (Grof, 1981). Los rendimientos totales (gramínea + leguminosa) para estas mezclas fueron de 19.2, 21.5 y 22.5 t/ha, respectivamente. Las mismas leguminosas asociadas con *Hyparrhenia rufa* dieron rendimientos totales que oscilaron entre 17.3 y 22.1 t/ha (con 21% a 41% de leguminosa). En las mismas condiciones, *A. gayanus* produjo 7.6 t/ha cuando se cultivó en asociación con la leguminosa más agresiva, *Desmodium ovalifolium* CIAT 350; la producción total en esta asociación fue de 12.8 t/ha. Los rendimientos de las asociaciones de estas leguminosas con *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* oscilaron entre 9.0 y 12.3 t/ha (con 13% a 56% de leguminosa).

Se ha observado una reducción en el vigor de las plántulas de *Stylosanthes capitata* cuando esta leguminosa se asocia con *A. gayanus*. La causa principal de la reducción es la competencia de las raíces por los nutrimentos, especialmente por el potasio y el fósforo (Valencia et al., 1984; CIAT, 1986). Esta asociación es más exitosa en suelos arenosos donde el crecimiento potencialmente vigoroso de la gramínea se reduce mucho ya que, generalmente, la provisión de nutrimentos es más baja en ellos. *A. gayanus* parece ser más competitivo en asociaciones que los pastos de la sabana nativa o que *Melinis minutiflora* (Figura 2). Entre las especies que han fracasado en persistir con *A. gayanus* en asociaciones bajo corte están *Macroptilium* sp. y *Phaseolus* sp. (Grof, 1981).

## Pasturas monoespecíficas sometidas a pastoreo

Se encontraron relativamente pocas referencias sobre el comportamiento de la especie en condiciones de pastoreo en pasturas monoespecíficas. Anning (1982) evaluó 86 líneas de

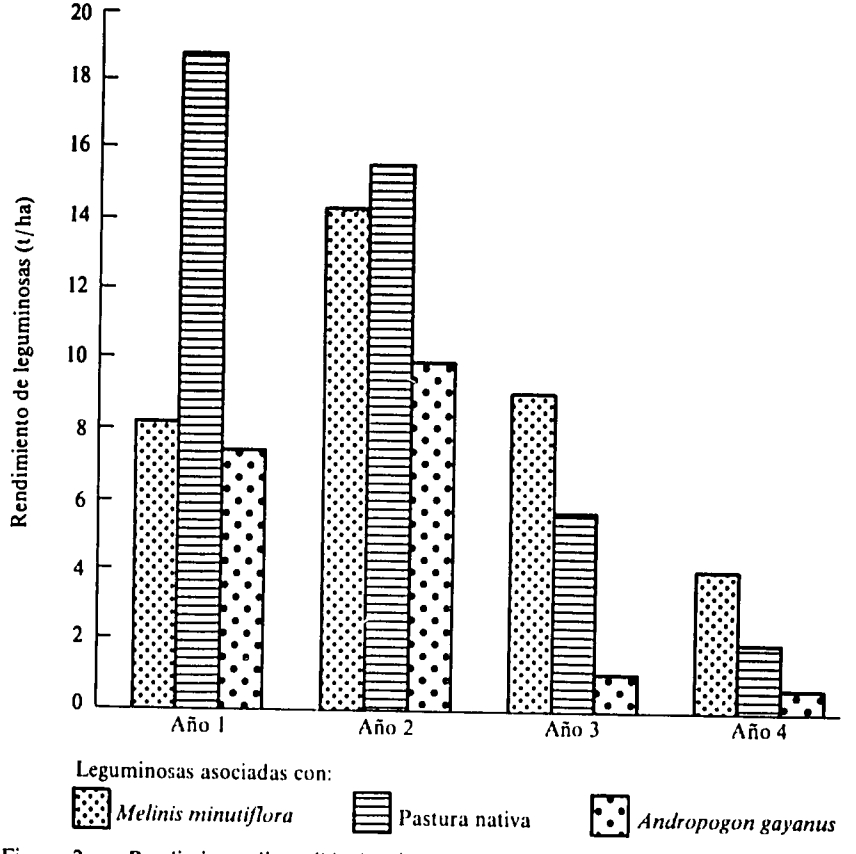



Figura 2. Rendimiento disponible de seis leguminosas sembradas en asociación con tres gramíneas en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia.

FUENTE: Grof, B. Información sin publicar.

gramíneas en pastoreo no controlado, en cinco localidades situadas entre las latitudes 13° y 18° S, al norte de Queensland, Australia. La precipitación anual en esas localidades osciló entre 800 y 1380 mm, y el pH de sus suelos entre 5.3 y 6.2. No se informó sobre el rendimiento de materia seca, pero *A. gayanus* se calificó como altamente productiva y sobresaliente entre las gramíneas en lo que respecta a su verdor durante la estación seca. En el norte de Australia, McIvor et al. (1982) investigaron 52 gramíneas de 40 especies sometidas a pastoreo normal en 14 localidades ubicadas entre las latitudes 18° y 20° S. En estas

localidades la precipitación anual osciló entre 600 y 1250 mm, y el pH del suelo varió considerablemente (de 5.6 a 8.1). *A. gayanus* fue una de las 17 especies que mostró mejor adaptación a varias localidades. Tampoco se registraron aquí rendimientos de materia seca.

Thomas y de Andrade (1984b) investigaron en el CPAC de Brasil el comportamiento de la gramínea sometida a pastoreo intermitente poco espaciado en parcelas pequeñas, en un Oxisol ácido e infértil. *A. gayanus* demostró una notable constancia en la producción de materia seca después del año de establecimiento (Figura 3) pues su rendimiento varió dentro del rango estrecho de 4.3 a 4.8 t/ha. Por otra parte, los rendimientos de *B. decumbens,*

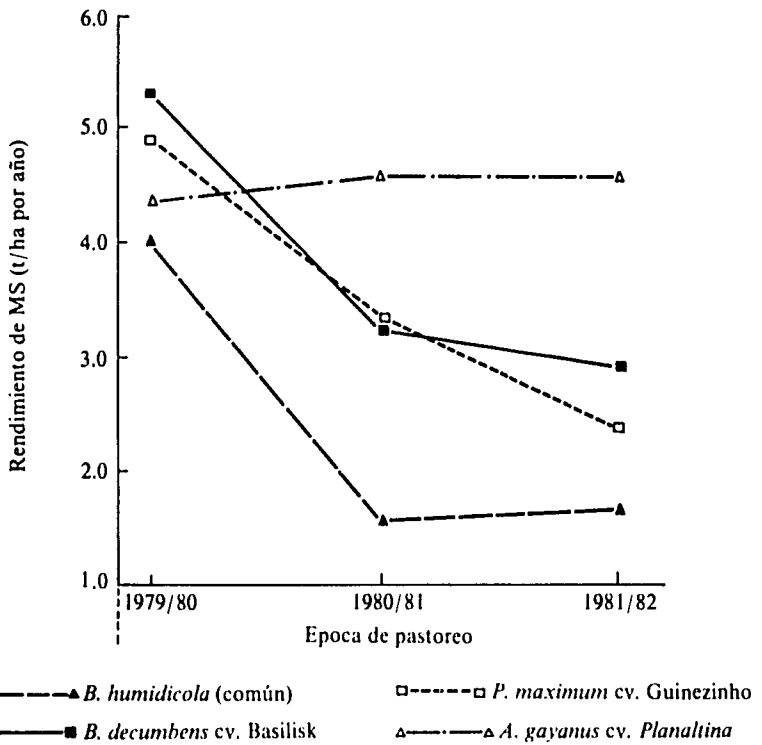



Figura 3. Rendimiento de *A. gayanus* sometido a pastoreo intermitente poco espaciado, en potreros pequeños, en un medio de sabana tropical en el CPAC, cerca de Brasilia, Brasil, en comparación con otras tres gramíneas.

FUENTE: Thomas y de Andrade, 1984b.

*B. humidicola* y *P. maximum* disminuyeron significativamente en el mismo período.

Si la fertilidad del suelo no es una limitación, es posible obtener mayor productividad de *A. gayanus* cuando está sometida a condiciones de pastoreo en el trópico húmedo. En Rondônia, Brasil, donde la precipitación excede los 2000 mm anuales, Gonçalvez (1985) obtuvo rendimientos de 3.0 a 7.2 t/ha durante un período de pastoreo de 10 meses en que la carga animal era variable. Da Veiga y Serrao (1985) informaron de rendimientos iniciales de 10.3 t/ha en sistemas de pastoreo tanto continuo como en rotación. Sin embargo, los resultados se registraron en un período de sólo cinco meses en un ensayo en que el contenido de malezas osciló entre 20% y 37%. El experimento se realizó en un Oxisol del estado de Pará, Brasil, cuya latitud es de 2º S, con un régimen de precipitación de 1774 mm anuales.

## Pasturas de gramíneas con leguminosas sometidas a pastoreo

En el Cuadro 2 se presentan algunos ejemplos de productividad de *A. gayanus* asociado con leguminosas tropicales en condiciones de pastoreo, en Brasil y Colombia. Al igual que en los ensayos de corte, se han formado mezclas estables con varias especies, y la proporción de las leguminosas ha variado entre 12% y 71%. Los rendimientos registrados en Carimagua, en los Llanos Orientales de Colombia, son considerablemente mayores que aquellos obtenidos en las sabanas de Brasil. Esta diferencia es una función de la cantidad y la distribución diferentes de la precipitación en [illegible]bas regiones, de la aplicación de fertilizantes, y de los métodos [illegible]tilización del forraje.

La productividad de la gramínea está fuertemente influida por la carga animal, la presión del pastoreo, y el sistema de pastoreo. Como era de esperarse, los aumentos en la carga animal reducen la cantidad de gramínea disponible. En asociación con *A. gayanus,* la baja presión de pastoreo continuo tiende a favorecer la productividad de la leguminosa, en tanto que las presiones de pastoreo altas y los períodos de descanso

Cuadro 2. Algunos rendimientos de materia seca (MS) de *A. gayanus* sometido a pastoreo en mezclas con leguminosas tropicales.

| Localidad[a] | Fuente | Leguminosa asociada | MS de *A. gayanus* (t/ha) | Leguminosa en mezcla (%) | Observaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| Colombia | | | | | |
| Carimagua (CNIA) | Grof, 1982 | *Desmodium ovalifolium* CIAT 350 | 12.8 - 28.5 | 65 - 56 | Clima de sabana. Latitud 3º N. precipitación anual: 2092 mm. Ensayo de pastoreo. Oxisol. Toda la MS 'en oferta'. Rendimiento similar en tres años de *B. decumbens* + leguminosa. |
| Carimagua (CNIA) | Wege, 1984 | *Centrosema acutifolium* CIAT 5278 | 29.6 | 38 | Clima de sabana. Ensayo de pastoreo. Carga animal variable. |
| | | *Centrosema brasilianum* CIAT 5234 | 27.8 | 50 | MS total en oferta. Tipos erectos de *C. macrocarpum* menos exitosos. |
| Brasil | | | | | |
| Brasilia (distrito) | Thomas y de Andrade, 1984a | *Stylosanthes guianensis* CIAT 2243 | 4.1 - 4.8 | 51 - 12 | Clima de sabana. Latitud 16º S. precipitación anual: 1573 mm. |
| | | *Stylosanthes macrocephala* CIAT 1281 | 3.2 - 4.4 | 27 - 25 | Ensayo de pastoreo. Oxisol. 18 kg/ha de P. Rendimientos anuales de MS medidos después |
| | | *Stylosanthes capitata* CIAT 1097 | 2.6 - 5.0 | 38 - 24 | del año de establecimiento. |
| | | *capitata* CIAT 1019 | 4.1 - 5.0 | 31 - 27 | Gramínea pura: 3.3 a 4.6 t/ha. |
| Brasilia (distrito) | Thomas y de Andrade, 1986 | *Stylosanthes macrocephala* CIAT 2039 | 1.5 - 5.3 | 71 - 22 | Clima de sabana. 18 kg/ha de P. Dos tratamientos de |
| | | *Stylosanthes macrocephala* CIAT 2053 | 1.2 - 5.1 | 68 - 21 | cargas animales. MS en oferta. Contenido de leguminosas |
| | | *Zornia brasiliensis* CIAT 8025 | 1.4 - 3.5 | 27 - 44 | mayor con carga animal más alta (3.0 animales/ha) que con más baja (2.0 animales/ha). |

a. CNIA = Centro Nacional de Investigación Agropecuaria del ICA.

prolongados conducen a más alto rendimiento y a mayor proporción de hojas de la gramínea. En asociaciones de *A. gayanus* con *D. ovalifolium* CIAT 350, los rendimientos de materia seca de la leguminosa sometida a una presión de pastoreo baja (13.0 kg de MS/animal por día) fueron el doble de aquellos obtenidos bajo una presión de pastoreo alta (6.5 kg de MS/animal por día); el ensayo se hizo en el Departamento del Cauca, en Colombia (CIAT, 1980). Estudios realizados en Carimagua indican que *A. gayanus* parece ser más productivo en un sistema de pastoreo rotacional (7 días de pastoreo y 21 días de descanso) que en uno de pastoreo continuo (CIAT, 1985). La producción de hojas de la gramínea en condiciones de pastoreo rotacional fue el doble de la obtenida bajo pastoreo continuo (CIAT, 1986).

Varias especies de leguminosas han fracasado en persistir con *A. gayanus* en condiciones de pastoreo; entre ellas están *Galactia striata, Zornia latifolia* (Thomas y de Andrade, 1984a) y *Centrosema macrocarpum.*[3] Las enfermedades, la susceptibilidad a la defoliación, y la incapacidad de producir semilla se correlacionaron de diferente manera con la falta de persistencia de estas especies. Hay accesiones de *Z. brasiliensis* que, bajo pastoreo, han persistido adecuadamente con *A. gayanus,* pero hay una tendencia hacia la dominancia de los tipos arbustivos de esta leguminosa, puesto que son muy poco aceptados por los animales (Thomas y de Andrade, 1986); también se ha demostrado la presencia de alcaloides en esta especie (CIAT, 1984). *A. gayanus* puede ser dominada además por *D. ovalifolium,* que es agresiva y tiene relativamente baja aceptabilidad entre los animales (CIAT, 1980).

## Conclusiones

En su revisión de la información publicada sobre esta gramínea, Bowden (1963) concluyó que "*A. gayanus* se presenta como una gramínea promisoria, útil en todas las áreas tropicales bajas del

3. Thomas, D. y de Andrade, R.P. Información sin publicar

mundo donde la precipitación sea de moderada a baja y la estación seca prolongada". Esta predicción, hecha hace casi 25 años, se está convirtiendo finalmente en una realidad. *A. gayanus* tiene muchos atributos agronómicos deseables y está bien adaptada a las condiciones climáticas y edáficas prevalecientes en las sabanas tropicales de América del Sur. La especie tolera la quema y la sequía y se encuentra libre de plagas y enfermedades serias. Puede producir grandes cantidades de materia seca y cantidades considerables de semilla. La especie es compatible con muchas leguminosas pero, en ciertas condiciones, su porte alto y su crecimiento vigoroso pueden ocasionar una competencia severa con la leguminosa y una reducción del contenido de ésta en la pastura. Los nuevos tipos enanos son menos vigorosos; actualmente se están evaluando en Colombia y podrían demostrar que son menos competitivos que CIAT 621 y, por lo tanto, más compatibles con una gama amplia de leguminosas.

## Resumen

En este capítulo se hace una revisión de los estudios hechos sobre la agronomía de *Andropogon gayanus* Kunth., principalmente en Africa Occidental, en América del Sur tropical, y en el norte de Australia. La mayor parte de los datos sobre América tropical fueron obtenidos en las sabanas de Colombia y de Brasil, y casi exclusivamente de una accesión: *A. gayanus* var. *bisquamulatus* CIAT 621. Esta accesión ya ha sido liberada en Brasil, Colombia, México, Panamá, Perú y Venezuela. También en Australia existe un cultivar del pasto llamado Kent.

*A. gayanus* es una planta de día corto con un fotoperíodo crítico para su floración, que está entre 12 y 14 horas. El punto óptimo de la floración ocurre cuando la temperatura es aproximadamente de 25 $^{0}$C. En Colombia, cuya latitud es 3$^{0}$ N, las plantas florecen varias veces en un período de dos años. En Bolivia y Brasil, situados entre los 16$^{0}$ S y los 19$^{0}$ S, la floración está bien sincronizada y ocurre una vez al año. Hay variación en la época de floración entre accesiones diferentes. Pueden obtenerse cantidades considerables de semilla.

*A. gayanus* está bien adaptado a las sabanas de suelos ácidos y a los ecosistemas formados por la tala de bosques en América tropical, a los trópicos monzónicos del norte de Australia, y a las áreas de escasa precipitación de la India. La especie se desarrolla mejor en suelos arcilloarenosos bien drenados de fertilidad media a alta. *A. gayanus* muestra una excelente tolerancia al pH bajo del suelo, a la alta saturación de aluminio, y al estrés causado por nutrición deficiente. No obstante, se han registrado respuestas a la aplicación de nutrimentos como el nitrógeno, el fósforo y el potasio. La especie posee también una buena tolerancia a la sequía y está bien adaptada para resistir las quemas. No se han hallado enfermedades fungosas o insectos plaga que la ataquen seriamente en América tropical.

Este pasto puede producir grandes cantidades de materia seca. Los rendimientos obtenidos de *A. gayanus* en muchos ensayos en América tropical superaron, en general, aquéllos conocidos por informes de la mayor parte de los ensayos hechos en las sabanas africanas. Las variaciones del rendimiento están relacionadas con diferencias tanto en los regímenes de corte o de pastoreo, como en la aplicación de fertilizantes, en la duración del experimento, y en las condiciones climáticas y edáficas. Se han establecido asociaciones duraderas con varias leguminosas, pero en ciertas condiciones, su gran altura y su crecimiento vigoroso pueden crear una situación de competencia con la leguminosa y reducir la proporción de ésta en la pastura.

## Referencias


Anning, P. 1982. Evaluation of introduced grass species for pastures in the dry tropics of North Queensland. Trop. Grassl. 16(3):136-145.

Atkin, R. K.; Barton, G. E. y Robinson, D. E. 1973. Effect of root-growing temperatures on growth substances in xylem exudate of *Zea mays*. J. Exp. Bot. 24:475-487.

Bogdan, A. V. 1977. Tropical pasture and fodder plants. Longman Group, Londres, Inglaterra. 475 p.

Bowden, B. N. 1963. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth; I: the use of *Andropogon gayanus* in agriculture. Emp. J. Exp. Agric. 31:267-273.

Chatterjee, B. N. y Singh, R. D. 1968. Growth analysis of perennial grasses in the tropics of India; 4: changes in tiller population in grass swards. Allahabad Farmer 42:65-73.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Programa de Ganado de Carne. En: Informe anual CIAT, 1977. Cali, Colombia. p. A-1 a A-124.

———. 1979. Programa de Ganado de Carne. En: Informe anual CIAT, 1978. Cali, Colombia. p. B-1 a B-178.

———. 1980. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1979. Cali, Colombia. 159 p.

———. 1981. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1980. Cali, Colombia. 138 p.

———. 1984. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1983. Cali, Colombia. 375 p.

———. 1985. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1984. Cali, Colombia. 274 p.

———. 1986. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1985. Cali, Colombia. 408 p.

da Veiga, J. B. y Serrão, E. A. de S. 1985. Resposta animal de *Andropogon gayanus* e *Brachiaria humidicola* em Paragominas, Pará, Brasil. En: E. A. Pizarro (ed.). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales: Resultados 1982-1985: Tercera reunión de la RIEPT, octubre 1985. 2 vols. Centro Internacional de Agricualtura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. Vol. 2, p. 1107-1111.

de Andrade, R. P.; Thomas, D. y Ferguson, J. E. 1983. Seed production of pasture species in a tropical savanna region of Brasil; II: grasses. Trop. Grassl. 17:59-64.

Dias Filho, M. B. y Serrão, E. A. S. 1980. Observacoes preliminares sobre a gramínea forrageira *Andropogon gayanus* Kunth em Paragominas, Pará. Pesquisa em andamento no. 23. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Umido, Belén de Pará, Brasil. 2 p.

Ferguson, J. E.; Thomas, D.; de Andrade, R. P.; Souza Costa, N.; y Jutzi, S. 1983. Seed production potentials of eight tropical pasture species in regions of Latin America. En: Smith, J. A. y Hays, V. W. (eds.). Fourteenth International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, E.U., junio 1981. Memorias, Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 275-278.

Fisher, M. J. 1971. Pasture species for the Tipperary area, Northern Territory. Technical paper no. 31. Division of Land Research, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), Brisbane, Australia. 48 p.

Foster, W. H. 1962. Investigations preliminary to the production of cultivars of *Andropogon gayanus*. Euphytica 11:46-52.

——— y Mundy, E. J. 1961. Forage species in northern Nigeria. Trop. Agric. (Trinidad) 38:311-317.

GCDAH (Gold Coast Department of Animal Health). 1942. Report for the year 1941-42. Accra, Ghana.

Gonçalvez, C. A. 1985. Efeito de diferentes cargas animais sobre o ganho de peso em pastagens de *Andropogon gayanus* CIAT 621 em Porto Velho RO, Brasil. En: Pizarro, E.A. (ed.). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales: Resultados 1982-1985: Tercera reunión de la RIEPT, octubre 1985. 2 vols. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. Vol. 2, p. 1113-1117.

——— y Oliveira, J. R da C. 1981. Adaptação de gramíneas forrageiras em Porto Velho, Rondônia, Brasil. Pesquisa em andamento no. 8. Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Territorial de Porto Velho, Brasil. 3 p.

Grof, B. 1981. The performance of *Andropogon gayanus*-legume associations in Colombia. J. Agric. Sci. 96:233-237.

———. 1982. Performance of *Desmodium ovalifolium* Wall. in legume-grass associations. Trop. Agric. (Trinidad) 59:33-37.

Haggar, R. J. 1966. The production of seed from *Andropogon gayanus*. Proc. Int. Seed Test. Assoc. 31:251-259.

Jones, C. A. 1979. The potential of *Andropogon gayanus* Kunth in the Oxisol and Ultisol savannas of tropical America. Herbage Abstr. 49:1-8.

McIvor, J. G.; Williams, W. T.; Anning, P.; Clem, R. L.; y Finlay, M. C. 1982. The performance of introduced grasses in seasonally dry tropical environments in Northern Australia. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 22:373-381.

Okoli, B. E. y Olorode, O. 1981. Hybridization in *Andropogon gayanus-A. tectorum* (Gramineae) complex: potential for pasture improvement. En: Smith, J. A. y Hays, V. W. (eds.). Fourteenth International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, E.U., junio 1981. Memorias. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 54.

Pedreira, J. V. S. y de Mattos, H. B. 1981. Crescimento estacional de vinte e cinco especies ou variedades de capins. Bol. Ind. Anim. 38:117-143.

Prasad, L. K. and Mukerji, S. K. 1980. Pasture improvement by grass and legume introduction. Forage Res. 6:225-226.

Ramos de Otero, J. 1961. Informacões sôbre algumas plantas forrageiras. Serie didáctica 11. Serviço de Informação Agrícola, Ministério da Agricultura, Río de Janeiro, Brasil. p. 100-104.

Rattray, J. M. 1960. La cubierta herbácea de Africa. FAO: Estudios Agropecuarios. no. 49. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma. 173 p.

Singh, R. D. y Chatterjee, B. N. 1966. Tillering of perennial grasses in the tropics of India. En: Ninth International Grassland Congress. Memorias. São Paulo, Brasil. p. 1075-1079.

Spain, J. M. 1979. Pasture establishment and management in the Llanos Orientales of Colombia. En: Sánchez, P. A. y Tergas, L. E. (eds.). Pasture production in acid soils of the tropics. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 165-175.

Tetteh, A. 1976. Evaluation of productivity of mixed grass/legume stands and their pure stands cut as herbage for two years. Ghana J. Agric. Sci. 9:9-14.

Thomas, D. 1985. Pasture evaluation and seed production studies in the isothermic savannas of Brazil. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 163 p.

——— y de Andrade, R. P. 1984a. The persistence of tropical grass-legume associations under grazing in Brasil. J. Agric. Sci. 102:257-263.

——— y ———. 1984b. Desempenho agronômico de cinco gramíneas tropicais sob pastejo na região dos Cerrados. Pesqui. Agropecu. Bras. 19:1047-1051.

——— y — —. 1986. The evaluation under grazing of legumes associated with *Andropogon gayanus* in a tropical savannah environment on the central plateau of Brazil. J. Agric. Sci. 107:37-42.

———; ———; Couto, W.; da Rocha, C. M. C. y Moore, P. 1981. *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* cv. Planaltina: principais características forrageiras. Pesqui. Agropecu. Bras. 16:347-355.

Tompsett, P. B. 1976. Factors affecting the flowering of *Andropogon gayanus* Kunth. Responses to photoperiod, temperature, and growth regulators. Ann. Bot. (Lond.) 40:695-705.

Valencia, I. M.; Spain, J. M. y Mott, G. O. 1984. Nutrient competition in *Andropogon gayanus-Stylosanthes capitata* associations. En: Forage Grassland Conference, 1984. Memorias. Houston, Texas, E.U. p. 324-326.

Wege, L. 1984. Untersuchungen über die Eignung von Arten und Ökotype vershiedenen Leguminosengattungen zur Verbesserung tropischer Savannen Sudamerikas am Beispiel der kolumbianischen Llanos Orientales. Tesis. Technische Universität-Berlin, Berlín. 214 p.

# PROBLEMAS CAUSADOS POR PLAGAS Y ENFERMEDADES EN *ANDROPOGON GAYANUS*

Jillian M. Lenné y Mario Calderón*

## Introducción

*Andropogon gayanus* es una especie polimórfica de polinización cruzada, distribuida ampliamente en la mayor parte de las sabanas tropicales y subtropicales de Africa, especialmente de Africa Occidental, entre las isohietas anuales de 400 a 1500 mm (Bowden, 1964). Poco después de su introducción en América Latina, a principios de la década del 70, se reconoció tanto su potencial de gramínea forrajera vigorosa y productiva en regiones de sabana del continente, como su adaptación a los suelos ácidos y pobres. Desde 1980 ha sido liberada por programas nacionales de investigación en Colombia, Brasil, Venezuela, Panamá y Perú (Ferguson et al., 1985) y se estima que hasta el presente se han sembrado más de 200,000 ha con esta gramínea en América tropical.

Pocas enfermedades de importancia potencial para *A. gayanus* se han detectado hasta ahora en América tropical. Su rápida adopción en las tierras bajas de esta región es, en parte, una consecuencia de su resistencia a la principal plaga de las gramíneas, el salivita (Calderón, 1983a), ventaja que lo favorece cuando se compara con otras gramíneas comerciales como *Brachiaria decumbens*. No obstante, se han detectado y descrito ya varias plagas y enfermedades de *A. gayanus*, tanto en su centro de origen y de diversidad en Africa, como en los

* Jillian M. Lenné es fitopatóloga, sección de Patología del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia; Mario Calderón es entomólogo, actualmente profesor de entomología en la Universidad Nacional, Palmira, Colombia.

principales ecosistemas de las tierras bajas tropicales de América. Aunque el potencial de daño de las plagas y de los patógenos identificados no se ha evaluado, por lo regular, en detalle, se considera útil discutirlo en esta oportunidad, especialmente por el carácter promisorio que, desde su aparición, ha demostrado esta valiosa gramínea. Esta revisión resume la información disponible sobre plagas y enfermedades de *A. gayanus* en Africa y América tropical; discute su importancia y los perjuicios potenciales que causarían; y evalúa, en lo posible, la resistencia de *A. gayanus* a algunos de esos problemas.

## Enfermedades que Atacan a *A. gayanus*

Todas las partes de la planta son susceptibles a varias enfermedades capaces de reducir la calidad del forraje. Se han descrito 42 hongos patógenos diferentes y 26 especies de nematodos en *A. gayanus* y en su pariente cercano *A. tectorum*, en Africa y América tropical (Cuadros 1 a 3). Aunque se hizo una búsqueda extensiva en la literatura, no se detectaron patógenos bacterianos, virus o micoplasmas en esas gramíneas. A causa de la asociación íntima de *A. tectorum* con *A. gayanus* en las poblaciones de gramíneas nativas de Africa Occidental, y puesto que ambos comparten patógenos comunes, se consideró útil incluir en el Cuadro 1 tanto los hospedantes como sus patógenos.

### Enfermedades de *A. gayanus* y *A. tectorum* en Africa

El Cuadro 1 resume las enfermedades causadas por hongos en ambas gramíneas, y el Cuadro 2 los nematodos para los cuales *A. gayanus* se considera un hospedante de deficiente a excelente en Nigeria. En *A. gayanus* y *A. tectorum* se han registrado 34 hongos patógenos de 23 géneros diferentes en los siguientes países: Congo, Gambia, Ghana, Guinea, Malawi, Nigeria, Sierra Leona, Sudán, Tanzania, Zambia y Zimbabwe (Cuadro 1). Las enfermedades causadas por estos patógenos son, principalmente, manchas foliares, carbones y royas.

Las manchas de las hojas son efecto de un amplio rango de géneros de hongos que incluye *Ascochyta, Cercospora,*

Cuadro 1. Hongos patogénicos observados en *Andropogon gayanus* y en *A. tectorum* en Africa.

| Agente | Enfermedad y síntomas | Distribución geográfica | Referencias[a] |
|---|---|---|---|
| Registrados en *A. gayanus* | | | |
| *Ascochyta graminicola* Sacc. | Mancha foliar | Zimbabwe | Bowden (1964) |
| *A. hordeicola* Punith. | Mancha foliar | Zambia | CMI |
| *Nigrospora sphaerica* (Sacc.) Mason | Mancha foliar | Sierra Leona | CMI |
| *Periconia* sp. | Mancha foliar | Nigeria | Lenné |
| *Phoma* sp. | Mancha foliar | Nigeria | Lenné |
| *Phomopsis* sp. | Mancha foliar | Nigeria | Lenné |
| *Phyllachora assimilis* Theiss. y Syd. | Mancha de alquitrán; estromas negros en las hojas | Sudán | Tarr (1955) |
| *Pirostoma* sp. | Mancha angular | Tanzania | CMI |
| *Sclerotium* sp. | Pudrición radical y del cuello de la raíz | Sudán | CMI |
| *Sphacelia* sp. | Carbón | Ghana | Bowden (1964) |
| *Sphacelotheca ischaemicola* Ling. | Carbón | Ghana, Sudán | Bowden (1964), CMI |
| Registrados en *A. tectorum* | | | |
| *Balansia henningsrana* (Moell.) Diehl | Carbón | Nigeria | CMI |
| *B. pallida* Wint. | Carbón | Sierra Leona | CMI |
| *B. sclerotica* (Pat.) Höhn | Carbón | Sierra Leona | CMI |
| *Cercospora* sp. | Mancha foliar | Nigeria | Lenné |



(Continúa)

Cuadro 1. Continuación.

| Agente | Enfermedad y síntomas | Distribución geográfica | Referencias[a] |
|---|---|---|---|
| *Curvularia deightonii* M. B. Ellis | Manchas marrones de ovales a elípticas con centros grises, o áreas marrones más extensas | Sierra Leona | Ellis (1966) |
| *Phyllachora* fallax Sacc. | Mancha de alquitrán en las hojas | Guinea | CMI |
| *Puccinia levis* var. *panici-sanguinalis* (Rangel) Ram. y Cumm. | Roya | Nigeria | Eboh (1985) |
| *Ramularia* sp. | Roya | Nigeria | CMI |
| *Sphacelotheca andropogonis* (Opiz) Bubak. | Carbón | Sierra Leona, Gambia | CMI |
| *Uredo* sp. | Roya | Nigeria | CMI |
| *Ustilago amadelpha* Syd. y Butl. | Carbón | Nigeria | CMI |
| *U. andropogonis-tectorum* Ling. | Roya | Sierra Leona, Nigeria | West (1938) |
| Registrados en *A. gayanus* y en *A. tectorum* | | | |
| *Beniowskia sphaeroidea* (Kalchor. y Cooke) Mason | Falso mildeo | Sierra Leona | CMI |
| *Cerebella andropogonis* (Ces.) Rabenh. | Falso carbón | Ghana, Sierra Leona, Zambia | Bowden (1964), CMI |
| *Mycosphaerella spilota* Syd. | Mancha foliar | Ghana, Nigeria, Sierra Leona | Bowden (1964) |

(Continúa)

Cuadro 1. Continuación.

| Agente | Enfermedad y síntomas | Distribución geográfica | Referencias[a] |
|---|---|---|---|
| *Myriogenospora* sp. | Punta retorcida; hojas y vainas foliares retorcidas que impiden la emergencia de la inflorescencia | Nigeria, Ghana | Lenné |
| *Phyllachora ischaemi* Syd. | Mancha de alquitrán en las hojas | Sierra Leona, Sudán | CMI |
| *Puccinia agrophila* Syd. | Roya | Guinea, Sierra Leona, Gambia, Nigeria | Eboh (1978) |
| *P. erythraeensis* Pazschke | Roya | Malawi, Sudán, Sierra Leona, Nigeria | Peregrine y Siddiqi (1972) |
| *P. versicolor* Diet. y Holw. | Roya | Malawi, Zimbabwe, Ghana, Nigeria,[b] Guinea, Sierra Leona | Bisby y Wiehe (1953), Bowden (1964), Wiehe (1953), Lenné, CMI |
| *Scolecosporiella kranzii* | Mancha de roya en las hojas | Guinea | CMI |
| *Sorosporium wildemanianum P.* | Soros de carbón y cubierta blanquecina formada en los ovarios y estambres | Congo | Bowden (1964) |
| *Uredo andropogonis-gayani* Eboh | Roya | Nigeria | Eboh (1978) |

a. Las referencias del Commonwealth Mycology Institute (CMI) corresponden a datos sin publicar; las que suministra Lenné son evaluaciones personales.
b. En Nigeria hay un parásito de este hongo: *Endarluca caricis* (Fr.) O. Erikiss (Lenné, CMI).

Cuadro 2. Especies nigerianas de nematodos parásitos de plantas que toman a *Andropogon gayanus* como hospedante.

| Nematodo | Hábito alimenticio | Eficacia de *A. gayanus* como hospedante |
|---|---|---|
| *Criconemoides* sp. | Ectoparásito de la raíz | Excelente |
| *Helicotylenchus cavenessi* Sher, 1966 | Ectoparásito de la raíz | Buena |
| *H. pseudorobustus* (Steiner, 1914) Golden, 1956 | Ectoparásito de la raíz | Buena |
| *Hemicriconemoides cocophilus* (Loos, 1949) Chitwood y Birchfield, 1957 | Ectoparásito de la raíz | Pobre |
| *Hemicycliophora oostenbrinki* Luc, 1958 | Ectoparásito de la raíz | Pobre |
| *Scutellonema clathricaudatum* Whitehead, 1959 | Endoparásito de la raíz | Buena |
| *Tylenchorhynchus martini* Fielding, 1956 | Ectoparásito y endoparásito de la raíz | Excelente |
| *Xiphinema ebriense* Luc, 1958 | Nematodo de daga, ectoparásito de la raíz y trasmisor de virus | Moderada |
| *X. nigeriense* Luc, 1961 | Nematodo de daga, ectoparásito de la raíz y trasmisor de virus | Moderada |

FUENTE: Caveness, 1967.

*Curvularia, Mycosphaerella, Nigrospora, Periconia, Phoma, Phomopsis, Phyllachora* y *Pirostoma* (Cuadro 1). Varias especies de *Ascochyta* y *Phyllachora* se han registrado en una amplia distribución geográfica en el occidente y oriente de Africa. Con excepción de ensayos personales realizados en Nigeria en 1984, en los cuales se encontró que *Cercospora* sp. era un agente causal de manchas foliares menores, no se pudo hallar más información sobre la incidencia o severidad de estos patógenos.

Las royas son patógenos comunes de las gramíneas y *A. gayanus* no es la excepción. Siete royas diferentes pertenecientes a los géneros *Puccinia* (4 especies), *Ramularia* (1 especie) y Uredo (2 especies) se han observado en *A. gayanus* y en *A. tectorum.* En estudios hechos con estos hospedantes en el norte de Nigeria en 1984, *P. versicolor* estaba presente, por lo regular, como un patógeno moderado a severo de ambos (Figura 1, Lámina A).*

Observada además en seis países diferentes de Africa Occidental y Oriental, *P. versicolor* es obviamente la roya más ampliamente distribuida (Cuadro 1) y, posiblemente, la más perjudicial (Wiehe, 1953; Bowden, 1964). Se halló a *Endarluca caricis* actuando como un parásito de *P. versicolor* en Nigeria y Ghana (Cuadro 1). Otras royas están también ampliamente distribuidas. *Puccinia agrophila,* registrada primero por Bailey (1966) y considerada por Eboh (1978; 1985) como la más común de *A. gayanus* y *A. tectorum,* se encontró en Gambia, Guinea y Sierra Leona, mientras que *P. erythraeensis* se ha observado en Malawi, Nigeria, Sierra Leona y Sudán. Otras royas se limitan a Nigeria; entre ellas, la recientemente descrita *Uredo andropogonis gayani* (Eboh, 1978), comúnmente asociada con *P. agrophila* (Figura 2, Lámina A).

Nueve carbones diferentes, pertenecientes a los géneros *Balansia, Sorosporium, Sphacelia, Sphacelotheca* y *Ustilago* se han descrito en *A. gayanus* y *A. tectorum* en seis países diferentes; los más ampliamente distribuidos son *Sphacelotheca andropogonis* de Gambia y Sierra Leona, *S. ischaemicola* de

---

* Ver Láminas A, B, C y D al final de este capítulo.

Ghana y Sudán, y *Ustilago andropogonis-tectorum* de Nigeria y Sierra Leona (Cuadro 1). Los carbones reducen, obviamente, la producción de semillas, afectan con frecuencia el vigor de las plantas, y son trasmitidos mediante la semilla, características que son un riesgo para el movimiento de germoplasma a otros países. Sin embargo, no se halló información sobre la importancia de los nueve carbones descritos para *A. gayanus.*

Otras enfermedades observadas en *A. gayanus* y en *A. tectorum* son los falsos mildeos *(Beniowskia sphaeroidea)* en Sierra Leona; la falsa roya *(Cerebella andropogonis)* en Ghana, Sierra Leona y Zambia; la pudrición de raíz y cuello *(Sclerotium* sp.) en Sudán; y la punta retorcida, en que las hojas y las vainas foliares se enrollan una sobre otra cuando hay crecimiento del hongo *Myriogenospora,* un patógeno que restringe la emergencia de la inflorescencia (Cuadro 1). Esta última enfermedad se encontró ocasionalmente en ambos hospedantes en ensayos de poblaciones nativas en el norte de Nigeria en 1984, y se ha observado también en Ghana en *A. gayanus;*[1] tiene la capacidad de causar considerable disminución en la producción de semilla pero parece afectar sólo plantas aisladas en diversas poblaciones nativas.

Algunas de estas enfermedades fungosas pueden hallarse en la superficie de la semilla, lo cual aumenta los riesgos en el movimiento de germoplasma entre países y especialmente de Africa a América tropical. Entre los patógenos de más alto riesgo están los carbones y el falso carbón porque se hallan directamente asociados con la semilla. Las royas también ofrecen algún riesgo ya que sus esporas son generalmente resistentes a la desecación y se movilizan fácilmente en material vegetal. Todas las semillas recolectadas en Africa deben tratarse con los fungicidas apropiados, como benomil (Benlate) y triadimefon (Bayleton), y es preferible que pasen una generación en el invernadero de cuarentena.

Siete géneros y nueve especies de nematodos parásitos de plantas (Cuadro 2) se han encontrado en *A. gayanus* en Nigeria

1. Asare, E. O. Comunicación personal.

(Caveness 1967). *Criconemoides* sp. y *Tylenchorhynchus martini* hallaron en *A. gayanus* un excelente hospedante, mientras que para *Helicotylenchus pseudorobustus, H. cavenessi* y *Scutellonema* este pasto es apenas un buen hospedante. Sin embargo, aparte una comunicación recibida de Ghana[2] de que *A. gayanus* es comúnmente atacada por nematodos, no se obtuvo más información sobre la importancia de los problemas causados por nematodos en condiciones de campo.

## Enfermedades de *A. gayanus* en los ecosistemas mayores de América tropical

Hongos pertenecientes a ocho géneros y diecisiete nematodos se han observado en asociación con *A. gayanus* en los ecosistemas mayores de América tropical (Cuadro 3). Con excepción del escaldado causado por *Rhynchosporium oryzae,* ninguno de estos hongos o nematodos se han evaluado en detalle ni se han completado en ellos los postulados de Koch. Además, todos los síntomas observados hasta la fecha se han clasificado como menores. Hasta abril de 1986 se habían observado en *A. gayanus* enfermedades sin importancia en los ecosistemas mayores de América tropical.

Aparte las manchas menores en las hojas, causadas aparentemente por hongos de los géneros *Alternaria, Curvularia, Fusarium, Helminthosporium, Nigrospora* y *Pyricularia,* sólo dos enfermedades merecen comentarse: el escaldado o mancha en franjas de la hoja, causado por *R. oryzae,* y la punta retorcida, causada por *Myriogenospora* sp. (Cuadro 3).

El escaldado de *R. oryzae* [(*Monographella albescens* (Thüm) Parkinson, Sivanesan y Both)] es una enfermedad del arroz que puede causar considerables daños en América tropical y en otros lugares. Durante 1979, una mancha foliar que se manifiesta como zonas, causada por el hongo *Rhynchosporium* sp., se detectó en *A. gayanus* en las localidades de Villavicencio, Carimagua y Santander de Quilichao, en Colombia (Figura 3, Lámina B). En

2. Asare E. O. Comunicación personal.

Cuadro 3. Patógenos fungosos y nematodos registrados en *Andropogon gayanus* en los ecosistemas mayores de América tropical.

| Agente | Enfermedad, síntomas y hábito alimentario | Distribución | | Referencia[b] |
|---|---|---|---|---|
| | | País | Ecosistema[a] | |
| Hongos | | | | |
| *Alternaria tenuissima* (Nees ex Fr.) Wiltsh. | Mancha foliar | Colombia | SBDH | Lenné |
| *Curvularia* sp. | Mancha foliar | Colombia | SBDH, PM | Lenné |
| *Fusarium* sp. | Mancha foliar | Colombia | SBDH | Lenné |
| *Helminthosporium* spp. | Mancha foliar | Colombia | SBDH | Lenné |
| | | Brasil | SBDI, TH | Lenné |
| | | Perú | TH | Lenné |
| | | Venezuela | SBDH, TH | Lenné |
| | | Ecuador | TH | Lenné |
| | | Panamá | TH | Lenné |
| | | Cuba | TH | Funes y Yepes (1978) |
| *Myriogenospora* sp. | Punta retorcida; hojas enrolladas y torcidas una sobre otra y con frecuencia apretadas; la inflorescencia no logra emerger. | Colombia | SBDH, PM | Lenné |
| | | Brasil | SBDI, TH | Lenné |
| | | Venezuela | SBDH, TH | Lenné; Malagutti (comunicación personal) |
| | | Perú | TH | Lenné |
| *Nigrospora* sp. | Mancha foliar | Colombia | SBDH | Lenné |
| *Pyricularia grisea* (Cke.) Sacc. | Mancha foliar | Colombia | SBDH | Lenné |

(Continúa)

Cuadro 3. Continuación.

| Agente | Enfermedad, síntomas y hábito alimentario | Distribución | | Referencia[b] |
|---|---|---|---|---|
| | | País | Ecosistema[a] | |
| *Rhynchosporium oryzae* Hash. y Yokogi | Escaldado, mancha foliar en franjas | Colombia | SBDH, TH | Lenné; Cardwell y Owen (1979) |
| | | Brasil | SBDI, TH | Lenné |
| | | Venezuela | SBDH, TH | Lenné |
| | | Perú | TH | Lenné |
| Nematodos | | | | |
| *Aphelenchus avenae* Bastian, 1865 | Saprófito | Brasil | SBDI | Sharma y Swarup (1982) |
| *Aphelenchoides* sp. | Parásito de plantas o saprófito | Brasil | SBDI | Sharma y Swarup (1982) |
| *Ditylenchus* sp. | Nematodo del tallo | Brasil | SBDI | Sharma y Swarup (1982) |
| *Helicotylenchus digonicus* | Ectoparásito de la raíz | Brasil | SBDI | Sharma y Swarup (1982) |
| *H. dihystera* | Parásito de plantas | Colombia | TH | Siqqiqi (1986) |
| *H. exallus* | Parásito de plantas | Colombia | SBDH | Siddiqi (1986) |
| *H. pseudopaxilli* | Parásito de plantas | Colombia | SBDH | Siddiqi (1986) |
| *Helycotilenchus* sp. | Parásito de plantas | Colombia | SBDH | Siddiqi (1986) |
| *Macroposthonia ornata* | | Brasil | SBDI | Sharma y Swarup (1982) |
| *Monotrichodorus* sp. | Parásito de plantas | Colombia | SBDH | Siddiqi (1986) |



(Continúa)

Cuadro 3. Continuación.

| Agente | Enfermedad, síntomas y hábito alimentario | Distribución | | Referencia[b] |
|---|---|---|---|---|
| | | País | Ecosistema[a] | |
| *Pratylenchus brachyurus* | Nematodo de lesiones | Brasil | SBDI | Siddiqi (1986) |
| | | Colombia | SBDH | Siddiqi (1986) |
| *P. zeae* | Parásito de plantas | Colombia | SBDH | Sharma y Swarup (1982) |
| *Tylenchus* sp. | Ectoparásito de la raíz | Brasil | SBDI | Sharma y Swarup (1982) |
| *Tylenchulus* sp. | Parásito de plantas | Colombia | SBDH | Siddiqi (1986) |
| *Trophurus* sp. | Parásito de plantas | Colombia | SBDH | Siddiqi (1986) |
| *Tylenchorhynchus* sp. | Parásito de plantas | Colombia | SBDH | Siddiqi (1986) |
| *Xiphinema brasiliense* | Parásito de plantas | Colombia | SBDH | Siddiqi (1986) |

a. SBDH = Sabana isohipertérmica bien drenada (Llanos Orientales, Colombia); SBDI = Sabana isotérmica bien drenada (Cerrados, Brasil); TH = Trópico húmedo; PM = Piedemonte; eval. = evaluación.

b. Las referencias en que aparece solamente Lenné son evaluaciones personales; las que citan a Siddiqi (1986) corresponden a información no publicada.

los últimos dos sitios, la enfermedad no causó daño a *A. gayanus* mientras en Villavicencio se observó un daño leve. Las lesiones se restringían generalmente a las hojas maduras, y la mayoría se hallaban en la punta y en los márgenes. Además, la enfermedad se desarrollaba en varios lotes al azar, las plantas adyacentes a un lote rara vez aparecían afectadas, y la incidencia fue sólo del 20% en la población de plantas. Aunque originalmente se pensó que *R. secali* (Cardwell y Owen, 1979), era el agente causante, el Commonwealth Mycological Institute confirmó en 1980 que su identidad era *R. oryzae.*

Registros permanentes que se llevaron sobre la mancha foliar por *Rhynchosporium* en *A. gayanus* en Villavicencio y en otros sitios, de 1979 a 1981, señalaron una incidencia más alta de la enfermedad en esta última localidad. Las posibles razones de este resultado son:

- Alta precipitación (3000 mm anuales, en promedio) y períodos prolongados de alta humedad. El rango natural de presencia *A. gayanus* en Africa es la franja de precipitación de 400 a 1500 mm. Bowden (1964) comentó que las especies del pasto necesitaban de una estación seca como período de descanso. La precipitación y la humedad más altas no sólo favorecerían al patógeno sino que afectaban también a *A. gayanus* al aumentar su susceptibilidad a los patógenos.

- Mal manejo de esta gramínea vigorosa y altamente productiva, que resulta en una gran acumulación de materia seca y en un microclima ideal para el desarrollo de enfermedades.

- El escaldado o mancha foliar por *Rhynchosporium,* enfermedad importante del arroz en una región de intensa producción de ese grano, como es Villavicencio; gran cantidad de inóculo, por lo tanto, está fácilmente disponible para *A. gayanus.*

Dada la importancia de *A. gayanus* como pastura para los suelos ácidos de baja fertilidad de los Llanos Orientales de Colombia, el efecto de la mancha foliar por *Rhynchosporium* en la producción de *A. gayanus* CIAT 621 se evaluó en La Libertad, la Estación Experimental del ICA cerca a Villavicencio, Colombia, de 1980 a 1982. Cuatro tratamientos: con pastoreo y

sin él, y cada uno con fungicida [fenarimol (Rimidin) y benomil (Benlate)] aplicados alternadamente en las dosis recomendadas cada 2 semanas] o sin él, se establecieron en potreros sometidos a cargas tanto de 3 como de 4 A/ha.

Las evaluaciones de la mancha foliar por *Rhynchosporium* y las determinaciones de materia seca se hicieron en junio de 1982. Durante los 18 meses del período experimental, la incidencia y la severidad de la mancha foliar permanecieron extremadamente bajas (promedio de 0.8 a 5.7 lesiones por 150 hojas muestreadas) aunque se observó una tendencia hacia la incidencia más alta en la carga más baja (Cuadro 4). En todos los tratamientos, excepto aquél sin pastoreo, sin fungicida y con carga alta, el régimen de fungicida utilizado redujo significativamente la mancha foliar por *Rhynchosporium* (Cuadro 4).

Asimismo, aparte el tratamiento anteriormente mencionado (sin pastoreo y con carga alta), no se observó ningún efecto de la mancha foliar por *Rhynchosporium* en el rendimiento de CIAT

Cuadro 4. Efecto de la mancha foliar causada por *Rhynchosporium* en la producción de *A. gayanus* CIAT 621, en La Libertad, Villavicencio, de junio 1980 a enero 1982.

| Tratamiento[1] | Rendimiento[2] (t/ha) | Incidencia[3] de MFR |
|---|---|---|
| Carga media | | |
| -P - F | 4.48 b | 5.7 a |
| -P + F | 5.03 b | 2.6 c |
| +P - F | 4.83 b | 4.0 b |
| +P + F | 4.57 b | 2.4 c |
| Carga alta | | |
| -P - F | 3.20 c | 3.0 bc |
| -P + F | 6.71 a | 2.6 c |
| +P - F | 3.30 c | 2.5 c |
| +P + F | 2.51 c | 0.8 d |

1. Carga media = 3 A/ha; carga alta = 4 A/ha; P = pastoreo; F = fungicida (fenarimol + benomil).

2. Promedio de cuatro cosechas.

3. Promedio de cuatro evaluaciones del número de lesiones en 150 hojas muestreadas al azar. MFR = mancha foliar causada por *Rhynchosporium*. Los promedios en las columnas segunda y tercera seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes para $P < 0.05$.

621. El rendimiento significativamente mayor en el tratamiento sin pastoreo y con fungicida (con carga animal alta) sorprende un poco, ya que hubo una gran acumulación de materia seca en este lote antes del pastoreo.

Las muestras foliares que se tomaron en junio de 1980 para determinar la calidad del pasto indicaron que la mancha foliar por *Rhynchosporium* disminuía significativamente la digestibilidad y los contenidos de nitrógeno, potasio y hierro de las hojas afectadas (Cuadro 5). Sin embargo, como la incidencia de la enfermedad era baja, no se esperaba que la calidad global del forraje resultara muy afectada.

La confirmación de que *A. gayanus* CIAT 621 hospeda a *R. oryzae* causó cierta preocupación porque esta gramínea podría actuar como una fuente de inóculo perenne e importante de *R. oryzae* en la región de Villavicencio. Los estudios sobre inoculación cruzada con aislamientos de *R. oryzae,* obtenidos éstos tanto en arroz como en *A. gayanus,* mostraron la capacidad de cada grupo de aislamientos para afectar al otro (Cuadro 6). Aunque *A. gayanus* puede actuar como un hospedante perenne de *R. oryzae,* muchas otras gramíneas comúnmente presentes en los campos de arroz son también hospedantes conocidos. Como *A. gayanus* se siembra generalmente en suelos más pobres y no cerca de los cultivos de arroz, se concluyó que *A. gayanus* no era mejor hospedante que otras gramíneas comunes.

Estudios periódicos de las siembras de *A. gayanus* CIAT 621 en la región de Villavicencio entre 1982 y 1985 no han detectado un incremento significativo de la mancha foliar por *Rhynchosporium.* La enfermedad continúa como un problema menor y *A. gayanus* CIAT 621 como una especie de bajo potencial de inóculo para el arroz. Es probable que la gran diversidad presente en la población de *A. gayanus* CIAT 621 le confiera resistencia poblacional. A su vez, las pasturas de esta gramínea en áreas productoras de arroz deben revisarse periódicamente para detectar la enfermedad.

Hay una sola referencia más sobre la relación entre la mancha foliar por *Rhynchosporium* y *A. gayanus:* es un estudio, realizado en Brasil, en que se inoculó, en condiciones

Cuadro 5. Efecto de la mancha foliar causada por *Rhynchosporium* en la calidad del forraje de *Andropogon gayanus* CIAT 621.[a]

| Muestra foliar[b] | Digestibilidad (%) | Macronutrimentos (%) | | | | | | Micronutrimentos (ppm) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | N | P | K | Mg | Ca | S | Zn | Cu | Fe | B | Mn |
| Hojas sanas | 53.9 a | 1.42 a | 0.10 | 0.50 a | 0.15 | 0.15 | 0.06 | 13.8 | 6.3 | 10.0 a | 4.6 | 67.5 |
| Hojas enfermas | 44.7 b | 1.00 b | 0.09 | 0.29 b | 0.12 | 0.12 | 0.06 | 11.3 | 5.0 | 73.8 b | 6.0 | 55.0 |

a. Los promedios en las columnas seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes para $P < 0.05$.

b. En cada caso se evaluaron tres muestras de 200 hojas cada una, aproximadamente de la misma edad. Se seleccionaron hojas enfermas en las cuales de 20% a 40% del área estaba afectada.

Cuadro 6. Reacción de los aislamientos de *Rhynchosporium oryzae* hechos en arroz y en *A. gayanus*, sobre cada uno de estos hospedantes.

| Especie hospedante | Reacción[a] | |
|---|---|---|
| | *R. oryzae* de arroz | *R. oryzae* de *A. gayanus* |
| Arroz IR 4505-4-1-2 | 3.5 | 2.0 |
| *A. gayanus* CIAT 621 | 3.5 | 1.5 |

a. Promedio de seis plantas; escala: 0 = hoja sana; 5 = hoja muerta.

controladas, una amplia gama de gramíneas forrajeras tropicales con *R. oryzae* obtenido de arroz. Aunque las gramíneas *Brachiaria brizantha, B. decumbens, Panicum maximum* y *Melinis minutiflora* fueron afectadas en forma moderada a severa, *A. gayanus, B. humidicola* e *Hyparrhenia rufa* fueron inmunes a los aislamientos utilizados en este estudio (Prabhu y Bedendo, 1982); este resultado indica que existen diferentes razas de *R. oryzae* en distintas regiones de América tropical.

La punta retorcida causada por el hongo *Myriogenospora* sp. en *A. gayanus* se observó por primera vez en Colombia en 1980. Desde entonces se ha encontrado en diversas localidades en los ecosistemas mayores de Brasil y Venezuela (Cuadro 3) y en poblaciones nativas de *A. gayanus* y *A. tectorum* en Nigeria en 1984 (Cuadro 1). En 1981 se había informado[3] de su baja incidencia en siembras puras de *A. gayanus* en Venezuela.

Las hojas de las plantas afectadas se enrollan y enmarañan en haces (fasciación) contenidos parcialmente dentro de las vainas foliares que los subtienden (Figura 4, Lámina B). Parece que el vigor de las plantas no resulta afectado pero la producción de semilla se reduce considerablemente. Las inflorescencias fallan en emerger o emergen dañadas o estériles (Figura 5, Lámina B). En todos los estudios realizados hasta la fecha, esta enfermedad afectó plantas aisladas en poblaciones densas y vigorosas, sin señales de que hubiera movimiento del patógeno hacia plantas adyacentes (Figura 6, Lámina C). La asociación del hongo con la

3. Malagutti, G. Comunicación personal.

planta es casi de tipo simbiótico (Diehl, 1934). Aparte la fasciación y la deformación, los tallos afectados son verdes y vigorosos.

Puesto que aún no se han encontrado fructificaciones, se desconoce la identidad específica del agente que causa la enfermedad. Se ha observado que *Myriogenospora* causa varias enfermedades de las gramíneas en las Américas. Diehl (1934) informó que *M. paspali, M. bresadoleana* y *M. aciculispora* son hongos ampliamente difundidos en especies de *Andropogon, Axonopus, Panicum* y *Paspalum* en América tropical y subtropical al este de los Andes. Desafortunadamente, no se hicieron observaciones sobre la severidad de la enfermedad. Las primeras dos especies fungosas se detectaron más específicamente en *Panicum* sp. y *Paspalum conjugatum* en Colombia, Trinidad y Venezuela (Chardon y Toro, 1930, 1934; Dennis, 1970). Se ha informado que *Myriogenospora aciculispora* causa la punta retorcida y el enanismo de la caña de azúcar en Brasil y otros países (Freise, 1930; Vizioli, 1926; y Weber, 1973); sin embargo, el patógeno se considera de severidad local pero de importancia económica menor. Actualmente, tanto el escaldado como la punta retorcida se consideran enfermedades menores de *A. gayanus* en América tropical.

En estudios hechos en Planaltina, en los Cerrados de Brasil, sobre las raíces de *A. gayanus* y el suelo asociado con ellas, se halló que los nematodos parásitos *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929; Filipjev y Schuurmans-Stekhoven, 1941), *Helicotylenchus digonicus* (Perry, 1959) y *Macroposthonia ornata* (Raski, 1958; De Grisse y Loof, 1965) eran especies dominantes (Sharma y Swarup, 1982). También estaban presentes las especies *Tylenchus* sp., *Aphelenchoides* sp., *Ditylenchus* sp. y *Aphelenchus avenae* (Cuadro 3). Aunque varios de estos nematodos son parásitos conocidos, hasta ahora no se han hecho estudios de seguimiento para evaluar su importancia en *A. gayanus.*

En estudios recientes realizados en Colombia,[4] se registraron varios nematodos fitopatógenos asociados con raíces de

4. Siddiqi, M. R. Información sin publicar.

*A. gayanus. Tylenchus* sp., especie similar a *T. semipenetrans,* causante de la 'decadencia lenta' (slow decline) de los cítricos, se asociaba en abundancia con varias especies de pastos en Carimagua. También se encontraron varias especies de *Helicotylenchus* asociadas con *A. gayanus* en Carimagua: de *H. pseudopaxilli* Fernández, Razjivin, Ortega y Quincosa (1980) se encontraron grandes poblaciones en diversas pasturas; *H. exallus* y una posible especie nueva de *Helicotylenchus* estaban asociados en abundancia con pasturas cloróticas enfermas, en tanto que *H. dihystera* abundaba en Santander de Quilichao.

En una pastura de *A. gayanus* en Carimagua se observó una población numerosa de una especie de *Trophurus,* en tanto que *Tylenchorhynchus* sp. abundaba en diversos lotes en que *A. gayanus* estaba clorótico y enfermo. Tanto *Pratylenchus zeae* Graham (1951) como *P. brachyurus* se hallaban presentes, por lo común, en suficiente cantidad como para ser parcialmente responsables, al menos, del crecimiento retardado de estas pasturas de *A. gayanus* en Carimagua. Además, grandes poblaciones de *Xiphinema brasiliense* y una nueva especie de *Monotrichodorus* se encontraron comúnmente asociadas con raíces de *A. gayanus,* especialmente en lotes de plantas cloróticas en Carimagua.

Aunque todavía no se pueden sacar conclusiones en relación con la importancia de estos nematodos, su abundancia y su asociación corriente con esta gramínea, especialmente con lotes de ella aparentemente enfermos, es una clara indicación de que se deben adelantar más investigaciones para determinar su potencial como parásitos. En Nigeria se encontraron también especies de *Helicotylenchus, Tylenchorhynchus* y *Xiphinema* en *A. gayanus* (Cuadro 2).

Se puede concluir que, hasta la fecha, no se ha detectado ninguna enfermedad severa en *A. gayanus* en los ecosistemas principales de América tropical; sin embargo, el hallazgo de varios nematodos parásitos asociados con raíces de esta gramínea en diversas localidades de Colombia amerita continuar esta investigación.

## Hongos trasmitidos por la semilla de *A. gayanus* en Colombia

Se observaron diversos lotes de semilla de *A. gayanus* cultivado y cosechado en Palmira, en Santander de Quilichao y en Carimagua de 1980 a 1981, para detectar la presencia de hongos y bacterias trasportadas por la semilla (Cuadro 7). Los hongos más comúnmente asociados con la semilla fueron las especies de *Rhizopus, Fusarium, Penicillium y Aspergillus;* se hallaron también diversas bacterias. Se detectaron otros hongos como *Curvularia* spp., *Helminthosporium* spp. y *Chaetomium* spp. Este último género se encontró asociado solamente con la semilla cosechada en Palmira (Cuadro 7). La semilla cosechada en Quilichao tenía menos bacterias.

*Fusarium* spp. se encontró más comúnmente asociado con la semilla cosechada en Quilichao y Carimagua que con aquella cosechada en Palmira. Dado que hasta el momento no se ha informado de enfermedades causadas en *A. gayanus* por especies de *Fusarium,* es muy posible que las detectadas fueran saprófitas. Otros componentes comunes de la microflora (especies de *Aspergillus* y de *Penicillium)* son bien conocidas como hongos que deterioran la calidad de la semilla almacenada a temperaturas y con humedades de moderadas a altas. Se han hallado especies de *Rhizopus* que reducen la germinación de la semilla cuando las condiciones son ideales para el crecimiento de los hongos, y es posible que se relacionen con el vigor reducido que se observa comúnmente en esta gramínea. Todas las bacterias asociadas con la semilla fueron saprófitas. Se hallaron también manchas foliares causadas por *Curvularia* spp. y *Helminthosporium* spp. (Cuadros 1, 2 y 3) en algunas localidades (Funes y Yepes, 1978). Era más común hallar estos hongos asociados con la semilla cosechada en Carimagua que con la semilla de las otras dos localidades; su importancia como fitopatógenos trasmitidos por la semilla amerita mayor atención.

Cuadro 7. Examen de la microflora de la semilla de *Andropogon gayanus* cosechada en Palmira, Santander de Quilichao y Carimagua, de 1980 a 1981.

| Sitio de cosecha | Porcentaje de semillas[a] afectadas por especies de: | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Rhizopus* | *Fusarium* | *Panicillium* | *Aspergillus* | *Curvularia* | *Helminthosporium* | *Chaetomium* | Bacterias |
| Palmira | 38 | 32 | 21 | 46 | 4 | 2 | 11 | 41 |
| Quilichao | 33 | 58 | 16 | 10 | 5 | 3 | — | 22 |
| Carimagua | 27 | 58 | 16 | 19 | 26 | 20 | — | 50 |

a. Promedio de 3 lotes de semilla; se examinaron 400 semillas de cada lote.

# Insectos Plaga de *Andropogon gayanus* en América Tropical

Se han encontrado 6 órdenes, 24 familias y 45 géneros (50 especies) de insectos asociados con *A. gayanus* (Cuadro 8) en los ecosistemas mayores de América tropical (Calderón, 1981; Calderón y Arango, 1985).

Asociados con *A. gayanus* se han encontrado insectos chupadores de follaje de 5 familias y 18 géneros y especies pertenecientes al orden Homoptera (Cuadro 8). Entre ellos, plagas de los pastos como el áfido amarillo *Sipha flava* (Aphididae), y varios miembros de la familia Cercopidae pertenecientes a los géneros *Aeneolamia, Deois* y *Zulia,* mejor conocidos como miones o salivitas, la principal plaga de las gramíneas forrajeras tropicales (Calderón, 1983a).

El áfido amarillo *(S. flava)* se ha observado (Calderón, 1983b) en las hojas de *A. gayanus* en las sabanas isohipertérmicas bien drenadas (SBDH) y en el trópico húmedo (TH). Los estudios sobre la dinámica de la población del áfido en los Llanos de Colombia (ecosistema SBDH) señalaron tres fases diferentes en su comportamiento (Varela y Calderón, 1982). Los áfidos sobrevivían durante la estación seca en un pequeño porcentaje de plantas de *A. gayanus.* Al comienzo de la estación lluviosa, los áfidos se multiplicaban rápidamente, en tanto que durante la época de máxima precipitación, se dispersaban para colonizar un alto porcentaje de plantas. Aunque los análisis han indicado que las hojas afectadas por áfidos continen niveles de nitrógeno y de azufre significativamente menores que los de las hojas sanas, y que los áfidos tienen potencial para causar reducciones significativas en rendimiento (Calderón, 1983a,b), hasta la fecha no se han observado pérdidas importantes y el áfido se considera como una plaga esporádica (Figura 7, Lámina C). Se han detectado y descrito dos insectos depredadores de *S. flava: Cycloneda sanguinea* y *Chunpopa* sp. (Calderón, 1981).

Aunque los salivitas de la familia Cercopidae son las plagas más importantes de las gramíneas forrajeras de América tropical, la selección que se ha hecho de *A. gayanus* CIAT 621 desde 1978

Cuadro 8. Registro de insectos asociados con *Andropogon gayanus* en los ecosistemas mayores de América tropical.

| Orden | Familia | Género y especie | Hábito alimenticio | Distribución[a] |
|---|---|---|---|---|
| Homoptera | Aphididae | *Sipha flava* Forbes | Chupador de follaje | SBDH, TH |
| | Cicadellidae | *Graminella* sp. | Chupador de follaje | TH |
| | | *Apagonalia germana* Fowler | Chupador de follaje | SBDH |
| | | *Ferrariana trivittata* Signoret | Chupador de follaje | SBDH |
| | | *Tretogonia cribrata* Melichar | Chupador de follaje | SBDH |
| | | *Empoasca* sp. | Chupador de follaje | SBDH, TH |
| | | *Agallia lingula* Van Duzee | Chupador de follaje | SBDH, SBDI, TH |
| | | *Plesiommata mollicella* Fowler | Chupador de follaje | SBDH, SBDI, TH |
| | | *Tylozigus fasciatus* (Walker) | Chupador de follaje | SBDH, SBDI, TH |
| | | *Cuerna striata* (Walker) | Chupador de follaje | SBDI, TH |
| | Membracidae | *Ceresa vitulus Fabricius* | Chupador de follaje | SBDH, SBDI, TH |
| | | *Ceresa concinna* Fowler | Chupador de follaje | SBDH, SBDI, TH |
| | | *Ceresa* sp. | Chupador de follaje | TH |
| | Nogodinidae | *Bladina fuscovenosa* Stal | Chupador de follaje | SBDH, TH |
| | Cercopidae | *Aeneolamia varia* | Chupador de follaje | SBDH |
| | | *Aeneolamia reducta* Lall. | Chupador de follaje | SBDH |
| | | *Zulia pubescens* F. | Chupador de follaje | SBDH |
| | | *Zulia colombiana* Lall. | Chupador de follaje | TH |
| Hemiptera | Lygaeidae | *Blissus* spp. | Chupador de follaje | SBDH |
| | Reduviidae | *Zelus* sp. | Depredador de *M. latipes* | SBDH, TH |
| | | *Daldina bicarinata* Stal | Chupador de follaje | TH |



(Continúa)

Cuadro 8. Continuación.

| Orden | Familia | Género y especie | Hábito alimenticio | Distribución[a] |
|---|---|---|---|---|
| Coleoptera | Chrysomelidae | *Asphaera* sp. | Comedor de follaje | SBDH |
| | | *Chaectonema* sp. | Comedor de follaje | SBDH, TH |
| | | *Diphaulaca* sp. | Comedor de follaje | SBDH, TH |
| | | *Glyptoscelis* sp. | Comedor de follaje | TH |
| | | *Disonycha* sp. | Comedor de follaje | SBDH |
| | | *Diabrotica oglobini* Christensen | Comedor de follaje | TH |
| | Scarabaeidae | *Cyclocephala* sp. | Comedor de raíces | TH |
| | Coccinellidae | *Cycloneda sanguinea* | Depredador de áfidos | |
| | Melyridae | *Astylus variegatus* Germar | Comedor de flores | SBDI |
| | Meloidae | *Epicauta* sp. | Comedor de flores | SBDH |
| | Cantharidae | *Silis* spp. | Depredador de coleópteros | TH |
| | Carabidae | *Celleida* sp. | Depredador de coleópteros | TH |
| | Helodidae | *Scirtes* sp. | Depredador de coleópteros | TH |
| | | *Ora* sp. | Depredador de coleópteros | SBDH |
| Lepidoptera | Noctuidae | *Mocis latipes* (Guenée) | Comedor de follaje | SBDH |
| | | *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) | Comedor de follaje | SBDH |

(Continúa)

Cuadro 8. Continuación.

| Orden | Familia | Género y especie | Hábito alimenticio | Distribución[a] |
|---|---|---|---|---|
| | Pyralidae | *Elasmopalpus lignosellus* (Zeller) | Barrenador del tallo | TH, SBDH |
| | | *Elasmopalpus* sp. | Barrenador del tallo | SBDH, TH |
| | | *Diatraea saccharalis* F. | Barrenador del tallo | TH, SBDH |
| | Hesperiidae | *Urbanus proteus* L. | Comedor de follaje | TH |
| Diptera | Syrphidae | *Salpingogaster* sp. | Depredador de ninfas de cercópidos | SBDH, TH |
| | Sarcophagidae | *Sarcophaga* sp. | Depredador de coleópteros y ortópteros | SBDH, TH |
| Hymenoptera | Braconidae | *Chelonus* sp. | Parásitos de muchos insectos | SBDH, TH |
| | | *Bracon* sp. | | SBDH, TH |
| | | *Rogas* sp. | | SBDH, TH |
| | Chalcididae | *Brachymeria* sp. | Parásito de muchos insectos | SBDH, SBDI |
| | Tiphiidae | *Tiphia* sp. | Depredador de coleópteros | SBDH, TH |
| | Formicidae | *Acromyrmex* sp. | Trozador de follaje | SBDH |
| | | *Atta* sp. | Trozador de follaje | SBDH, TH |

a. SBDH = Sabana bien drenada isohipertérmica; SBDI = Sabana bien drenada isotérmica; TH = Trópico húmedo.

FUENTE: Calderón, 1981; y Calderón y Arango, 1985.

en más de 170 localidades de los ecosistemas mayores ha señalado que esa gramínea es altamente resistente a estas plagas (Calderón, 1983a; 1983b); de modo similar, *A. gayanus* CIAT 6053 y CIAT 6054 han manifestado alta resistencia a ellas en el ecosistema TH. Estudios recientes han demostrado que no hay preferencia de ambas líneas por las ninfas de *Deois incompleta* en comparación con la gramínea preferida de éstas, *Brachiaria* spp.[5] La resistencia de *A. gayanus* al salivita se discutirá más adelante.

Del orden Hemiptera se han descrito dos familias y tres géneros y especies, incluyendo el chupador de hojas *Daldina bicarinata* (Cuadro 8), asociadas con *A gayanus*. En los ecosistemas mayores se ha registrado una amplia gama de coleópteros, incluyendo 8 familias y 14 géneros y especies de comedores de follaje, de raíces y de flores, así como depredadores benéficos, asociados también con *A. gayanus* (Cuadro 8). Como ninguna de estas plagas ha justificado la realización de estudios detallados, no están causando aparentemente problemas mayores.

Entre las tres familias y los seis géneros y especies de Lepidoptera asociados con *A. gayanus*, se ha encontrado que los causantes de algún daño son los comedores de follaje *Mocis latipes* y *Spodoptera frugiperda*, así como los barrenadores del tallo *Elasmopalpus* y *Diatraea* spp. (Cuadro 8).

En el pasado, *M. latipes* (Figura 8, Lámina D) se había considerado como una 'plaga esporádica' de gramíneas en las Américas (Calderón et al., 1981; Calderón, 1983a). En 1980 se registró un daño severo en *A. gayanus* en Carimagua (ecosistema SBDH), Colombia. Se halló que este daño estaba relacionado con factores climáticos, incluyendo el inicio de la estación lluviosa que trae lluvias ligeras después de una estación seca severa (Calderón et al., 1981).

Se han identificado varios enemigos naturales de *M. latipes*. Ellos son los hongos *Beauveria* sp., *Metarrhizium* sp. y *Nomuraea* sp. como también el hemíptero *Zelus* sp. En forma

5. Calderón, M. A. Información sin publicar.

similar al áfido amarillo, el falso gusano ejército se considera una plaga esporádica pero con el potencial de causar defoliación considerable en condiciones climáticas apropiadas. Al mismo tiempo, Funes y Yepes (1978) informaron en Cuba que, aunque casi todas las gramíneas fueron atacadas por *Mocis* sp., *Andropogon* se encontraba entre las más resistentes.

Entre las plagas del orden Diptera, se han identificado dos familias y dos géneros de depredadores (Cuadro 8).

Aunque al orden Hymenoptera pertenecen, en su mayor parte, depredadores y parásitos de insectos, hay cuatro familias y siete géneros asociados con *A. gayanus* (Cuadro 8); de ellos, dos géneros de hormigas cortadoras de hojas (*Atta* spp. y *Acromyrmex* spp., Formicidae) han causado daños considerables a *A. gayanus* durante las fases de establecimiento y producción en los Llanos Orientales de Colombia.[6] Estudios sobre la dinámica de poblaciones en Carimagua (ecosistema SBDH) han detectado una incidencia extremadamente alta, especialmente de *Acromyrmex* sp., en las pasturas de *A. gayanus*. Las hormigas de la especie *Acromyrmex* sp. establecen hormigueros típicos en los bordes exteriores de matojos de la gramínea madura que posiblemente ofrecen alguna protección.

Si las hormigas cortan plantas jóvenes recién emergidas, éstas mueren con frecuencia lo cual afecta severamente el establecimiento de la pastura. La importancia del ataque de la hormiga cortadora de hojas en las pasturas establecidas se relaciona con la manera como se ha manejado la pastura. Las pasturas continuamente pastoreadas con altas cargas animales (2.5 A/ha) resultan severamente dañadas ya que la competencia de las hormigas y de los animales es tan grande que conduce a la deterioración de la pastura. A su vez, debido a que al inicio de la estación lluviosa las formas sexuales del insecto prefieren establecer nuevas colonias en áreas abiertas sin vegetación densa, con frecuencia eligen las áreas sobrepastoreadas.[6] El efecto combinado del daño que causan las hormigas y de su mayor colonización de las áreas sobrepastoreadas puede conducir al deterioro total de la pastura (Figura 9, Lámina D).

6. García C. Comunicación personal.

Las observaciones hechas hasta la fecha en los Llanos Orientales de Colombia han indicado claramente que las hormigas cortadoras de hojas no afectan a otras gramíncas como *Brachiaria decumbens* y *B. humidicola.* Esto se relaciona, posiblemente, con el hábito de crecimiento más postrado de estas gramíneas y su tendencia a cubrir completamente la superficie del suelo.[7] Se están adelantando investigaciones detalladas sobre la importancia de las hormigas cortadoras de hojas para las pasturas de *A. gayanus* en los Llanos Orientales, particularmente en lo concerniente a su biología y ecología como también a la relación entre el manejo de la pastura y los niveles de daño.

A excepción de las hormigas cortadoras de hojas, todas las otras plagas detectadas en *A. gayanus* hasta la fecha en América tropical se consideran problemas de poca o de ninguna importancia.

## Insectos Plaga de *A. gayanus* en Africa

Puesto que *A. gayanus* es un componente común de las pasturas nativas en las sabanas tropicales y subtropicales de Africa, rara vez ha sido deliberadamente sembrado por el hombre en esa región y, por lo tanto, ha recibido poca atención de los entomólogos. Esto se refleja en la escasez de información sobre insectos asociados con esta gramínea en Africa.

Como plagas de *A. gayanus* en Africa se han registrado seis especies de insectos representativas de cuatro géneros, tres familias y varios órdenes (Cuadro 9). Estas plagas comprenden termitas, langostas y moscas.

Los estudios sobre *Trinervitermes geminatus* en una sabana dominada por *A. gayanus,* en el estado de Niger, Nigeria, encontraron que las pérdidas diarias que experimenta un lote de gramínea cuando es 'cosechado' por las termitas fluctuaban entre 0.011 y 0.083 g/m$^2$ (Ohiagu y Wood, 1976). Los estudios de

7. García, C. Comunicación personal.

Cuadro 9. Insectos plaga registrados en *A. gayanus* en Africa.

| Insecto | | Género y especie | Hábito alimentario | Distribución | Referencia |
|---|---|---|---|---|---|
| Orden | Familia | | | | |
| Isoptera | Nasutitermitinae | *Odontotermes* sp. | Material dañado | Rodesia | Wild (1975) |
| | | *Trinervitermes* sp. | Material dañado | Rodesia | Wild (1975) |
| | | *T. germinatus* (Wasm.) | Material dañado | Nigeria | Ohiagu y Wood (1976) |
| Orthoptera | Acrididae | *Locusta migratoria migratorioides* (R. y F.) | Comedor de follaje | Mali | Chabuike (1979) |
| Diptera | Diopsidae | *Diopsis collaris* | Material dañado o comedor de follaje | Nigeria | Deeming (1982) |
| | | *D. macquartii* | Material dañado o comedor de plantas | Nigeria | Deeming (1982) |

laboratorio sobre las preferencias alimenticias de las mismas termitas frente a seis gramíneas diferentes hallaron que *A. gayanus* era la más preferida (Ohiagu, 1978). Observaciones sobre la selección de campo en una área donde la especie más abundante era *Hyparrhenia dissoluta* y donde *A. gayanus* constituía solamente el 0.5% de la flora confirmaron los resultados de laboratorio, y señalaron la selectividad de la dieta de *T. geminatus* (Ohiagu, 1978).

En Mali se investigó la preferencia alimenticia de la langosta migratoria africana, *Locusta migratoria migratorioides* (Chabuike, 1979). Aunque la plaga prefirió las especies anuales durante la estación lluviosa, en la estación seca las especies perennes con mayor contenido de agua, incluyendo en ellas a *Andropogon* spp., se convirtieron en sus principales fuentes alimenticias.

Entre las plantas alimenticias alternas de *Diopsis collaris* y *D. macquartii,* dos plagas del arroz, se encuentra *A. gayanus* (Deeming, 1982).

Aunque se hallaron muy pocas referencias sobre insectos específicos asociados con *A.gayanus* en Africa, con la ayuda de la Sección de Entomología del Museo Británico de Historia Natural se intentó determinar si en esa gramínea africana se registraban insectos similares a los encontrados en el *A. gayanus* de América tropical.

Aunque ninguna de las especies de insectos encontradas en América tropical se observó en esta misma gramínea en Africa, en algunos casos se registraron especies del mismo género con hábitos alimenticios similares. Entre los insectos importantes asociados con *A. gayanus* en América tropical que no se han registrado en Africa están éstos (Cuadro 8): el gran grupo de los homópteros chupadores de follaje, los coleópteros Chrysomelidae bien conocidos por ser comedores de follaje en América tropical, los lepidópteros barrenadores del tallo, y géneros importantes de hormigas cortadoras de hojas (*Atta* y *Acromyrmex*).

Entre los géneros similares de insectos asociados con *A. gayanus* en ambas regiones están: *Blissus,* uno de los

hemípteros chupadores de flores (Cuadro 8); *Epicauta,* un coleóptero comedor de flores; y diversos depredadores y parásitos de insectos de los géneros *Silis, Celleida, Scirtes* y *Ora,* así como muchos géneros de lepidópteros de la familia Braconidae. Aunque los lepidópteros comedores de follaje *Mocis* y *Spodoptera,* importantes en América tropical, no ocurren en Africa, se encuentran, por lo regular, en los pastos africanos especies y géneros cercanamente relacionados con ellos.

Esta comparación indica que la mayoría de los insectos plaga, o de los que serían potencialmente plagas, que se asocian con *A. gayanus* en América tropical son locales, y que se han adaptado relativamente rápido a esta gramínea desde su introducción. En América tropical, *Andropogon gayanus* está aparentemente libre de sus plagas nativas, que son importantes en Africa, así como de la mayoría de sus enfermedades nativas importantes. Esto ha contribuido sin duda al éxito que hasta la fecha ha tenido en América tropical.

Es muy probable que los insectos plaga con hábitos alimenticios similares a los de algunas plagas de América tropical estén presentes en *A. gayanus* en Africa. Debe hacerse un esfuerzo para identificar estos insectos, de tal manera que se puedan reconocer fácilmente si ocurriera una introducción accidental. *A. gayanus* ha escapado virtualmente de cualquier plaga severa que haya tenido en Africa. Por lo tanto, debe tenerse el mayor cuidado en introducciones futuras de *A. gayanus* y de otras gramíneas provenientes del habitat nativo de aquélla, para impedir la introducción de cualquier plaga africana de la gramínea.

## Manejo de Plagas y Enfermedades de *Andropogon gayanus*

Las plagas y enfermedades de los pastos tropicales pueden manejarse o controlarse genética, cultural o biológicamente (Lenné et al., 1980), ya que el control químico es excesivamente costoso para este agroecosistema particular. El control genético que se vale de la resistencia a la plaga se considera el método más práctico y económico (Lenné y Calderón, 1984).

El control cultural, si se basa en principios ecológicos viables, es también potencialmente útil en el manejo de enfermedades de pastos tropicales. Por la falta de enfermedades y plagas importantes de *A. gayanus,* se ha hecho muy poca investigación sobre el manejo de esta gramínea. Al mismo tiempo, sin embargo, los estudios preliminares sobre el control de las hormigas cortadoras de hojas en la fase de establecimiento de pasturas de *A. gayanus* en Carimagua, Colombia, mostraron que las poblaciones de hormigas, y el consiguiente daño a las plantas jóvenes, se reducían considerablemente si se preparaba el suelo al final de la estación lluviosa anterior; se reducían poco, en cambio, si esa preparación se hacía al comienzo de la estación lluviosa, justo antes de la siembra (CIAT, 1981; CIAT, 1985).

También se han hecho evaluaciones preliminares sobre el control cultural de enfermedades y plagas de *A. gayanus* mediante el pastoreo y la quema. La quema tiene la ventaja de ser de bajo costo y ampliamente efectiva contra muchos insectos plaga porque destruye el inóculo que se halla encima del suelo y esteriliza el suelo hasta una profundidad de 2 a 4 cm (Hardison, 1976). La quema ha demostrado ser un control muy valioso de las enfermedades en la producción de semilla de gramíneas (Hardison, 1980). A su vez, *A. gayanus* es muy tolerante a la quema, de la cual rebrota rápida y vigorosamente. Las observaciones hechas en rebrotes de *A. gayanus,* de 1 a 2 meses después de la quema, en Carimagua y Villavicencio, Colombia, confirmaron que la pastura se encontraba libre de manchas foliares tales como la mancha foliar por *Rhynchosporium.* Actualmente se investiga en Carimagua el valor de la quema en el manejo de poblaciones de hormigas.

El manejo del pastoreo es potencialmente un elemento funcional en el control de enfermedades y plagas de forrajes puesto que es un mecanismo natural que modifica el microclima de la pastura; este cambio, a su vez, puede ser perjudicial o benéfico para las enfermedades y plagas. En estudios previos sobre la mancha foliar causada por *Rhynchosporium,* el pastoreo no mostró una ventaja significativa que redujera la incidencia de la enfermedad la cual, en general, fue extremadamente baja; no obstante, hubo una tendencia hacia una menor incidencia de la

enfermedad en los tratamientos pastoreados en comparación con los tratamientos no pastoreados, sin que importara usar o no usar los fungicidas (Cuadro 4). El manejo del pastoreo parece promisorio si la mancha foliar por *Rhynchosporium,* o algún patógeno foliar, se convirtiera en una amenaza para *A. gayanus* en el futuro.

La asociación leguminosa-gramínea sería tal vez una estrategia más en un programa de control integrado del insecto salivita; en efecto, la heterogeneidad del agroecosistema aumenta con dichas asociaciones.

Se han identificado varios agentes potenciales de control biológico para diversas plagas de *A. gayanus* y para una enfermedad (Cuadros 1 y 8). Son los siguientes: *Endarluca caricis,* un hiperparásito de la roya causada por *Puccinia versicolor* en Nigeria y Ghana; varios dípteros, coleópteros y neurópteros que son depredadores naturales de *Sipha flava* y de *Mocis latipes;* y varios hongos entomófagos de *M. latipes.* Algunos de estos agentes, o todos ellos, desempeñarían una función en un programa de manejo integrado de plagas, si se considera necesario, en el futuro, controlar activamente esas enfermedades y plagas.

Se ha investigado en detalle el papel que hace la resistencia en el control de una plaga potencial de *A. gayanus.* Mientras gramíneas forrajeras tropicales como *Brachiaria* spp. quedan devastadas por el salivita en América tropical, *A. gayanus* CIAT 621 ha permanecido altamente resistente en los ecosistemas mayores desde su introducción en 1973.

Se han hecho también varios estudios para comparar la especie resistente *A. gayanus* con las susceptibles *Brachiaria* spp., en un intento por entender los mecanismos de resistencia de *A. gayanus* al salivita.

Estudiando la anatomía de *A. gayanus* CIAT 621 se hallaron anillos completos de tejidos de esclerénquima alrededor de los haces vasculares; en cambio, en las especies susceptibles *B. decumbens* CIAT 606, *B. ruziziensis* CIAT 656 y *B. humidicola* CIAT 679 el tejido de esclerénquima se encontraba

distribuido en todo el tallo (Quintero de la Pava, 1982). Estos anillos protectores pueden actuar como una barrera a la actividad alimentaria de las ninfas.

Asimismo, se cree que el hábito de crecimiento erecto de *A. gayanus* por el cual se forman matojos densos y compactos que limitan la entrada de las ninfas a los puntos tiernos de crecimiento —a diferencia de *Brachiaria* spp. cuyo crecimiento es más postrado y abierto— contribuye a la resistencia de aquella gramínea al salivita (Quintero de la Pava, 1982; Calderón, 1983a).

Estudios hechos sobre la resistencia que poseen 34 gramíneas forrajeras a *Deois flavopicta* Stal. en el CPAC-EMBRAPA, Planaltina, Brasil, señalaron que *A. gayanus* CIAT 621 fue la gramínea menos afectada y la que tenía menor población de ninfas del insecto (Cosenza, 1982). Por otra parte, *A. gayanus* fue una de las gramíneas menos preferidas en los ensayos de alimentación con ninfas y adultos de salivita; la densa producción de tricomas en los tallos inferiores fue una barrera efectiva contra la actividad alimentaria de las ninfas. *A. gayanus* demostró también su baja aceptabilidad en los ensayos sobre preferencia del insecto por el lugar de oviposición. Estudios recientes sobre la composición química de raíces, tallos y hojas de varias gramíneas muestran claramente[8] que *A. gayanus* contiene compuestos tales como catequinas, heterósidos, glucósidos cianogénicos, y otros, muy conocidos por sus propiedades insecticidas (Cuadros 10 y 11). Estos compuestos afectarían probablemente la biología del insecto, confiriendo así a la planta resistencia fundada en la antibiosis. En estudios comparativos con otras gramíneas, Cosenza (1982) encontró que *A. gayanus* presentaba evidencia de antibiosis y de antixenosis como mecanismo de resistencia al salivita. Paschoal y Nilakhe (1984) encontraron ciclos de vida más cortos y menor fecundidad en el salivita de las especies *Zulia enteriana* y *Deois flavopicta* halladas en *A. gayanus*, en comparación con los ciclos de vida y la fecundidad encontrados en *Paspalum plicatulum* y en *Brachiaria decumbens*. Estos hallazgos también sustentan la hipótesis de la antibiosis.

8. Calderón, M. A. Información sin publicar.

Cuadro 10. Pruebas positivas obtenidas en el extracto etanólico (ETDH) de tres gramíneas.

| Compuestos hallados | *A. gayanus* CIAT 621 | | | *B. decumbens* CIAT 606 | | | *Paspalum secans* BRA-003778 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hoja | Tallo | Raíz | Hoja | Tallo | Raíz | Hoja | Tallo | Raíz |
| Azúcares reductores | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Proteínas y aminoácidos | | X | X | X | X | X | | | X |
| Esteroides y triterpenoides | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Taninos | X | X | X | X | | | X | X | X |
| Dépsidos y depsidones | | | | | | | X | X | X |
| Saponinas espumosas | | | | X | X | X | X | X | |
| Saponinas hemolíticas | | | | | X | X | | | X |
| Catequinas | X | | | | | | | | |
| Glucósidos cianogénicos | X | X | X | | | | | | |

Cuadro 11. Pruebas positivas obtenidas en el extracto etanólico (ETDH) de la savia extraída de varias gramíneas.

| Compuestos hallados | *A. gayanus* CIAT 621 | | | *B. decumbens* CIAT 606 | | | *Paspalum secans* BRA-003778 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Hoja | Tallo | Raíz | Hoja | Tallo | Raíz | Hoja | Tallo | Raíz |
| Azúcares reductores | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Proteínas y aminoácidos | | | | X | X | X | X | X | X |
| Saponinas espumosas | | | | | X | X | | | |
| Saponinas hemolíticas | | | | | X | | | | |
| Glucósidos cianogénicos | | X | X | | | | | | |
| Catequinas | X | | | | | | | | |
| Taninos | X | | | | | | | | |
| Flavonoides | X | | | | | | | | |

*Andropogon gayanus* CIAT 621 es una población diversa que muestra variación considerable en características morfológicas como altura de planta, cantidad de follaje, características de la hoja, y tiempo de floración. Es probable que esta diversidad incluya también resistencia a plagas y enfermedades, al menos a las encontradas en su habitat natural en Africa Occidental. Una característica que posee *A. gayanus,* la polinización cruzada, contribuye a que mantenga la diversidad de la población.

Estudios recientes hechos con diversas enfermedades de los granos pequeños, como la roya y el mildeo polvoso, demostraron claramente el valor de mantener la diversidad en el hospedante, en forma de multilíneas y mezclas, para controlar estas enfermedades (Browning et al., 1979; Wolfe et al., 1981). Cualquier labor de mejoramiento genético o manipulación de la población de *A. gayanus* CIAT 621 debe enfocarse hacia el mantenimiento de la diversidad en la población seleccionada, porque esa diversidad es potencialmente valiosa para el control de enfermedades y plagas.

## Resumen

En *Andropogon gayanus* y en *A. tectorum,* tanto en Africa como en los ecosistemas mayores de América tropical, se han descrito 42 hongos patógenos diferentes y 26 especies de nematodos; de ellos, la mayoría se hallan en Africa. Hasta la fecha no se han detectado enfermedades causadas por bacterias, micoplasmas o virus. Entre los hongos patógenos descritos en Africa, son agentes potenciales de enfermedades perjudiciales de *A. gayanus* los siguientes: siete royas diferentes, entre ellas *Puccinia, Ramularia* y *Uredo;* nueve carbones diferentes, que comprenden especies de *Balansia, Sorosporium, Sphacelia, Sphacelotheca* y *Ustilago;* varios hongos causantes de mancha foliares como *Ascochyta, Cercospora* y *Phyllachora,* la pudrición de la raíz y el cuello causada por *Sclerotium*, y la punta retorcida por *Myriogenospora.* En cambio, en América tropical son causantes potenciales de daño solamente los hongos *Rhynchosporium oryzae,* el agente de la mancha foliar por *Rhynchosporium,* y *Myriogenospora* sp. Hasta la fecha no se ha detectado una

enfermedad fungosa severa de *A. gayanus* en Colombia. *A. gayanus* ha servido de hospedante a especies de *Helicotylenchus, Tylenchorhynchus* y *Xiphinema* en Nigeria. Aunque no se ha detectado hasta la fecha una enfermedad severa causada por nematodos en *A. gayanus,* la asociación de los nematodos parásitos anteriores con esta gramínea amerita mayor investigación.

Se han detectado, asociados con *A. gayanus* en América tropical, 6 órdenes, 24 familias y 45 géneros (50 especies) de insectos. Entre los que se consideran plagas esporádicas capaces de causar un daño localizado, están el áfido amarillo *Sipha flava* y los lepidópteros comedores de follaje *Mocis latipes* y *Spodoptera frugiperda.* La plaga más importante de *A. gayanus* en América tropical es la hormiga cortadora de hojas, particularmente las especies de *Atta* y *Acromymex;* éstas han causado un daño considerable durante el establecimiento de la pastura y aun en las pasturas bien establecidas. Hasta el momento, la investigación apunta hacia un mayor entendimiento de este problema. A diferencia de muchas otras gramíneas de América tropical, *A. gayanus* es altamente resistente a la plaga más importante de los pastos, el insecto salivita.

Aunque se encontró poca información sobre insectos específicos asociados con *A. gayanus* en Africa, con excepción de las termitas y las langostas migratorias, se ha sabido ya que muy pocos de los insectos asociados con *A. gayanus* en América tropical se encuentran en Africa. Las excepciones son varios hemípteros y coleópteros comedores de flores, algunos lepidópteros comedores de follaje como *Mocis* y *Spodoptera,* y los insectos depredadores y parásitos de la familia *Braconidae.* La mayoría de los insectos asociados con *A. gayanus* en América tropical son locales. Aparentemente, esta gramínea se encuentra libre, en América tropical, de sus plagas africanas importantes.

Puesto que se han detectado, hasta la fecha, muy pocos problemas importantes en *A. gayanus,* se ha hecho relativamente poco trabajo de investigación sobre el manejo de sus plagas y enfermedades. El control cultural ha demostrado ser potencialmente útil en el manejo de las hormigas cortadoras de hojas. Durante la fase de establecimiento de la pastura, tanto la

preparación estratégica del suelo como, en menor grado, la quema han sido prácticas empleadas exitosamente para reducir las poblaciones de hormigas. El manejo tanto de la quema como del pastoreo ha manifestado su capacidad para reducir diversas plagas y enfermedades fungosas; ambos podrían considerarse para resolver problemas futuros. Se han identificado varios agentes potenciales de control biológico para combatir diversas plagas de *A. gayanus*, pero se requiere más investigación para evaluar su función en un ecosistema de pasturas. La resistencia de *A. gayanus* al salivita ha recibido considerable atención; varios estudios han demostrado que esta resistencia se basa en la antibiosis y en factores físicos y anatómicos. Además, la diversidad natural de la población de CIAT 621 quizás comprenda también la diversidad en la resistencia a plagas y enfermedades. Esa diversidad debe mantenerse durante cualquier manipulación genética que se haga a esta accesión.

*A. gayanus* se halla notoriamente libre de plagas y enfermedades dañinas en los principales ecosistemas de América tropical. Vale la pena notar que esta planta ha escapado, aparentemente, a los patógenos fungosos e insectos plaga que le son potencialmente dañinos y que han sido registrados en Africa. Por ello, debe tenerse gran cuidado con las introducciones futuras de esta y de otras gramíneas que provengan de su habitat nativo, para evitar la entrada accidental de cualquier plaga o patógeno africano de *A. gayanus*.

## Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud al Commonwealth Institute of Mycology y al British Museum of Natural History quienes les suministraron información importante, aún no publicada, de sus archivos.

## Referencias

Bailey, A. G. 1966. A check-list of plant diseases in Nigeria. Memo no. 96. Department of Agriculture Research, Ibadán, Nigeria. p. 1-33.

Bisby, G. R. y Wiehe, P. O. 1953. The rusts of Nyasaland. Mycological Paper no. 54. Commonwealth Mycological Institute, Kew Surrey, Inglaterra. p. 1-13.

Bowden, B. N. 1964. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth; III: outline of its biology. J. Ecol. 54:255-271.

Browning, J. A.; Frey, K. J.; McDaniel, M. E.; Simons, M. D. y Wahl, I. 1979. The bio-logic of using multilines to buffer pathogen populations and prevent disease loss. Indian J. Genet. Plant Breed. 39:3-9.

Calderón, M. A. 1981. Insectos asociados con *Andropogon gayanus* Kunth var. *bisquamulatus* (Hochst.) Hack., CIAT 621, en América del Sur. Pastos Trop. Bol. Inf. 5:11-12.

———. 1983a. Insect pests of tropical forage plants in South America. En: Smith, J. A. y Hays, V. W. (eds.). Fourteenth International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, E.U., junio 1981. Memorias. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 778-789.

———. 1983b. Interpretación del análisis hecho a la evaluación del daño causado por las plagas. En: Pizarro, E. A. (ed.). Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales; resultados 1979-1982. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 423-427.

——— y Arango, G. 1985. Insectos asociados con especies forrajeras en América tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 44 p.

———; Varela, F. y Quintero, E. 1981. Falso medidor de los pastos, *Mocis latipes* Guené (Lepidoptera: Noctuidae), plaga esporádica en Carimagua. Pastos Trop. Bol. Inf. 4:8-12.

Cardwell, K. y Owen, E. S. 1979. Escaldado en el pasto *Andropogon gayanus* causado por *Rhynchosporium* sp. ASCOLFI Informa 5:47-48.

Caveness, F. E. 1967. Shadehouse host ranges of some Nigerian nematodes. Plant Dis. Rep. 51:33-37.

Chabuike, J. E. 1979. Grass availability and food preference of the African migratory locust. Z. Angew. Entomol. 88:345-363.

Chardon, C. E. y Toro, R. A. 1930. Mycological explorations of Colombia. J. Dep. Agric. P. R. 14:195-369.

——— y ———. 1934. Mycological explorations of Venezuela. Univ. Phys. Biol. Sci. monograph series B, no. 2. University of Puerto Rico, San Juan, Puerto Rico. p. 353.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1981. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1980. Cali, Colombia. 138 p.

———. 1985. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1984. Cali, Colombia. 274 p.

Cosenza, G. W. 1982. Resistance in grasses to the pasture spittlebug *(Deois flavopicta* Stal.). Bol. pesqui. no. 10. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária en el Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Brasilia, D. F., Brasil. p. 15.

Deeming, J. C. 1982. Host plant records for some Nigerian *Diopsis* species (Dipt., Diopsidae). Entomologist 118:1420-1423.

Dennis, R. W. 1970. Fungus flora of Venezuela and adjacent countries. Her Majesty's Stationery Office, Londres, Inglaterra. 531 p.

Diehl, W. W. 1934. The *Myriogenospora* disease of grasses. Phytopathology 24:677-681.

Eboh, D. O. 1978. *Uredo andropogonis-gayani* sp. nov. from Nigeria. Trans. Br. Mycol. Soc. 70:150-152.

———. 1985. Nigerian Graminicolous Uredinales: grass rusts from Nsukka, II. Mycologia 77:205-211.

Ellis, M. B. 1966. Dematiaceous hyphomycetes; VII: *Curvularia, Brachysporium*, et others. Mycological Paper no. 66. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, Inglaterra. p. 1-57.

Ferguson, J. E.; Seré, C. y Vera, R. R. 1985. The release process and initial adoption of *Andropogon gayanus* in tropical Latin America. En: Fifteenth International Grassland Congress, Kyoto, agosto 1985. Memorias. Science Council of Japan and Japanese Society of Grassland Science, Kyoto, Japón. p. 222-223.

Freise, F. W. 1930. Cane diseases and plagues in Brasil. Facts about Sugar 25:613-614.

Funes, F. y Yepes, S. 1978. Screening of grass species and varieties introduced in Cuba. Cuban J. Agric. Sci. 12:193-203.

Hardison, J. R. 1976. Fire and flame for plant disease control. Annu. Rev. Phytopathol. 14:355-379.

———. 1980. Role of fire for disease control in grass seed production. Plant Dis. 64:641-645.

Lenné, J. M. y Calderón, M. A. 1984. Disease and pest problems of *Stylosanthes*. En: Stace, H. M. y Edye, L. A. (eds.). Biology and agronomy of *Stylosanthes*. Academic Press, Sydney, NSW, Australia. p. 279-293.

———; Turner, J. W. y Cameron, D. F. 1980. Resistance to diseases and pests of tropical pasture plants. Trop. Grassl. 14:146-152.

Ohiagu, C. E. 1978. Laboratory tests of food preferences of *Trinervitermes geminatus* (Isoptera, Nasutitermitinae). Entomol. Exp. Appl. 23:110-114.

——— y Wood, T. G. 1976. A method of measuring rate of grass-harvesting by *Trinervitermes geminatus* (Wasmann) (Isoptera, Nasutitermitinae) and observation on its foraging behaviour in southern Guinea savanna. Nigerian J. Appl. Ecol. 13:705-713.

Paschoal, G. O. y Nilakhe, ... S. 1984. Preliminary data on the survival of pasture froghoppers on different gramineae. Entomological Society of Brasil, Campo Grande, Brasil.

Peregrine, N. T. H. y Siddiqi, M. A. 1972. A revised and annotated list of plant disease in Malawi. CAB (Commonw. Agric. Bur.) CMI (Commonw. Mycol. Inst.). Phytopathology paper no. 16. p. 1-5.

Prabhu, A. S. y Bedendo, I. P. 1982. Reações de diversos gêneros e espécies de gramíneas a infeção por *Rhynchosporium oryzae*. Pesqui. Agropecu. Bras. 17:703-708.

Quintero de la Pava, I. D. 1982. Estudio comparativo de tallos y hojas de algunos ecotipos de gramíneas forrajeras y su relación con ataque de ninfas de *Zulia colombiana* Lallemand. Tesis. Departamento de Biología, División de Ciencias, Universidad de Valle, Cali, Colombia.

Sharma, R. D. y Swarup, G. 1982. Hitherto unrecorded plant parasitic nematodes of *Andropogon gayanus* Kunth var. *bisquamulatus* Stapf. from the Cerrado region of Brazil. En: Lordello, L. G. E. (ed.). Sixth Brazilian Nematology Meeting. Memorias. Piracicaba, SP, Brasil. p. 99-102.

Tarr, S. A. J. 1955. Fungi and plant diseases in the Sudan. The Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, Inglaterra. 127 p.

Varela, F. y Calderón, M. A. 1982. Yellow sugarcane aphid *Sipha Flava* Forbes, a potential pest of Carimagua 1 grass, *Andropogon gayanus*, in the Llanos Orientales of Colombia. Rev. Colom. Entomol. 8:1-13.

Vizioli, J. 1926. Estudo preliminar sobre un novo pyrenomyceto parasito da canna. Bol. Agropec. (São Paulo) 27:60-69.

Weber, G. F. 1973. Bacterial and fungal diseases of plants in the tropics. University of Florida Press, Gainsville, Florida. p. 536.

West, J. W. 1938. A preliminary list of plant diseases in Nigeria. Kew Bull. 17:17-23.

Wiehe, P. O. 1953. The plant diseases of Nyasaland. Mycological Paper no. 53. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, Inglaterra. p. 1-39.

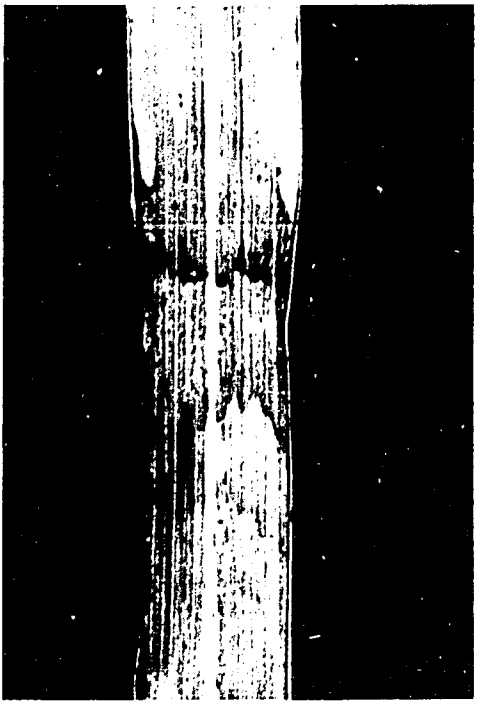
Wild, H. 1975. Termites and the sepertimes of the great dyke of Rhodesia. Trans. Rhod. Sci. Assoc. 57:1-11.

Wolfe, M. S.; Barrett, J. A. y Jenkins, J. E. E. 1981. The use of cultivar mixtures for disease control. En: Jenkyn, J. F. y Plumb, R. T. (eds.). Strategies for control of cereal diseases. p. 73-80.

Figura 1 Daño [illegible] causado por el patógeno de la roya [illegible]

Figura 2 Daño causado a *A. gayanus* por el ataque combinado de dos patógenos de la roya (*[illegible]*) en Nigeria

LAMINA A



gura 3. Mancha foliar en franjas causada a *A. gayanus* por el hongo *Rhyncosporium* sp.

Figura 4. Daño de punta retorcida causado a *A. gayanus* por el hongo *Myriogenospora* sp.

Figura 5. La infección causada por *Myriogenospora* sp. impide la emergencia de las inflorescencias de *A. gayanus*.

LÂMINA C

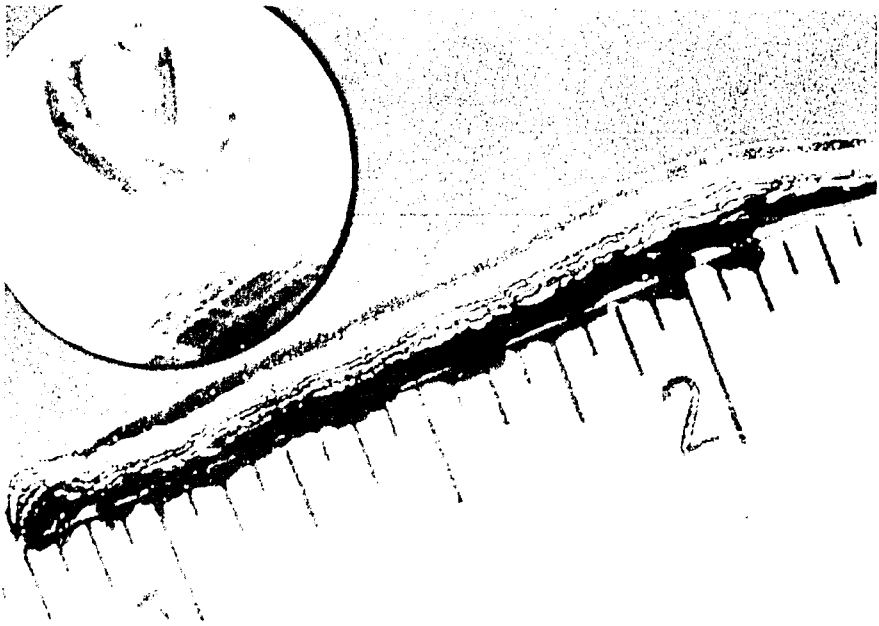


Figura 8 El falso gusano ejército (*Mocis latipes*), que se alimenta de follaje

Figura 9 Deterioro de la pastura causado por el daño de la hormiga cortadora de hojas y por su actividad colonizadora

# ESTABLECIMIENTO Y DESARROLLO INICIAL DE PASTURAS DE *ANDROPOGON GAYANUS* EN SABANAS TROPICALES

J. M. Spain y W. Couto*

## Introducción

*Andropogon gayanus* es una especie cuya semilla tiene una cariópside muy pequeña (909 a 1697 semillas/g, en promedio) con una reserva de nutrimentos muy limitada para el desarrollo inicial.[1] En consecuencia, las plántulas tendrán un vigor inicial bajo, factor que puede restringir seriamente el establecimiento de las praderas en que la competencia de las malezas o de la vegetación nativa y la depredación de las plagas dificultan esa fase de establecimiento.

Las condiciones edáficas, aunque afectan también el desarrollo inicial de las plántulas, son susceptibles de modificación mediante la labranza y la aplicación de fertilizantes. El tipo de labranza y la época en que ésta se realiza determinan en gran parte las condiciones físicas del suelo al momento de la siembra. Eligiendo además una época de siembra adecuada, se logra cierto control sobre la humedad y la temperatura del medio durante la fase de establecimiento, reduciendo así la probabilidad de períodos secos o de exceso de lluvias en las primeras semanas después de la siembra.

La competencia con las malezas, con la vegetación nativa, o con las otras especies de una asociación es de particular importancia para una plántula cuyo desarrollo inicial es lento.

---

* James M. Spain es edafólogo del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, con sede en CPAC, Brasilia, Brasil; Walter Couto es edafólogo del mismo Programa, CIAT, Cali, Colombia.

1. Ferguson, J. E. Comunicación personal.

Este aspecto se controla mediante la labranza o la aplicación de herbicidas, y seleccionando el método de siembra.

El desarrollo lento de la plántula la hace más susceptible al daño causado por los insectos, especialmente las hormigas. En consecuencia, los métodos que promueven un crecimiento inicial más vigoroso o que reducen la acción depredadora de los insectos —o los que obtienen ambos efectos— favorecerán el establecimiento del pasto.

## Apertura del Area de Siembra

*A. gayanus* ha sido liberado a nivel comercial en varios países de América tropical, y se está sembrando en muy diversos ecosistemas como la sabana, los 'cerrados', y algunas áreas antes cubiertas de bosque, donde la vegetación, la topografía y las características del suelo son muy variadas. La elección del proceso de limpieza (o apertura) del terreno depende, en primer lugar, de la vegetación original y de la morfología del terreno.

### Llanos

Los Llanos se consideran sabanas isohipertérmicas (Cochrane et al., 1985). Estas sabanas, en que no crecen arbustos o árboles, requieren sólo una quema antes de la preparación del terreno. Algunas áreas exhiben grandes y numerosos hormigueros, activos o abandonados; muchos de estos hormigueros viejos se han convertido en pequeñas 'islas' cubiertas de árboles, es decir, nichos ecológicos dentro de la sabana. Muchas veces es conveniente no talar algunos árboles para que ofrezcan sombra a los animales en las praderas comerciales. En las áreas reservadas para establecer pequeñas parcelas de experimentación o potreros de pastoreo, es necesario, a veces, nivelar los hormigueros antes de iniciar la preparación del suelo o después de un pase de discos preliminar; de este modo se esparce el subsuelo aterronado y se reduce el microrrelieve y, por ende, la variabilidad del terreno (Spain, 1982). Si hay árboles o arbustos dispersos en toda el área, la apertura del terreno sería parecida a la de los Cerrados, como se describe en la siguiente sección.

## Cerrados

Las áreas de sabana conocidas como Cerrados se consideran sabanas isotérmicas (Cochrane et al., 1985), y se caracterizan por una proporción variable de estratos tanto herbáceos como de arbustos o de árboles.

El establecimiento de pasturas en estas regiones exige, por lo regular, la remoción previa de las especies leñosas. Esta operación puede realizarse manualmente o mediante tractores equipados con cuchillas frontales de empuje. En áreas extensas resulta más económico emplear una cadena arrastrada por dos tractores que marchan paralelos. Con este procedimiento se logra derribar árboles y arbustos o desenraizarlos con una mínima perturbación del suelo. Terminado el derribo, hay que remover los árboles y arbustos y quemarlos, colocándolos generalmente en hileras que sigan las curvas de nivel.

La roturación inicial se hace comúnmente por medio de rastrillos de discos pesados excéntricos del tipo 'off-set' o 'Rome'. Para completar con éxito la limpieza del suelo, se requiere por lo común recolectar las raíces después del pase de discos, puesto que dificultan el trabajo de otros implementos agrícolas. Esta labor se puede hacer manualmente o por medio de un rastrillo para raíces montado en la barra portaherramientas del tractor.

Las operaciones requeridas para la apertura de un 'cerrado' típico representan un costo inicial elevado para el desarrollo de una pastura. Por esa razón, es muy común sembrar cultivos anuales, como arroz y soya, una vez abierta el área, y establecer las pasturas sólo después de algunos años de cultivo. En estas condiciones, los pastos se siembran con un mínimo de preparación del suelo, utilizando el efecto residual de los fertilizantes y de la cal aplicados a los cultivos.

Es costumbre en el cerrado brasileño sembrar el pasto juntamente con el último cultivo de arroz, práctica que a veces crea competencia entre la pastura y el cultivo anual (Zimmer et al., 1983).

# Preparación del Terreno y Control de la Competencia

El error más común, y el más serio, que se comete al preparar el terreno es el laboreo excesivo o 'sobrepreparación'. La superficie resultante es casi plana, y queda casi totalmente desprotegida porque los terrones grandes y medianos han sido pulverizados y todos los residuos y raíces enterrados. Esta preparación sería adecuada para sembrar pastos o cultivos anuales en zonas subtropicales o templadas, donde el clima es mucho más benigno que el de las sabanas tropicales.

El efecto de una sobrepreparación es múltiple: el impacto de la lluvia destruye los agregados pequeños, compacta y sella la superficie; se reduce luego drásticamente la tasa de infiltración de agua aumentando la escorrentía; y se produce así una severa erosión del suelo, proporcional a la intensidad de la lluvia y a la pendiente del terreno (CIAT, 1986). Muchas semillas o plántulas recién germinadas serán arrastradas con los sedimentos del suelo, otras quedarán tapadas por ellos. La sobrepreparación no es sólo contraproducente: también contribuye a elevar el costo de establecimiento sin beneficio alguno.

## Grado de labranza

Durante varios años se han establecido exitosamente praderas de *A. gayanus*, en monocultivo y en asociación, con diferentes sistemas de labranza, desde el tradicional (preparación completa del suelo para la siembra) hasta la labranza mínima.

**Labranza tradicional.** En ella se utiliza a menudo un arado de discos y un aparejo de discos excéntricos (off-set), o se hace con varios pases de disco excéntrico. El objetivo es lograr un control completo de la vegetación nativa o de las malezas, dejando la superficie del suelo más o menos plana, sin terrones grandes, y con pocos residuos —o sin ellos— expuestos en la superficie. En suelos de buena estructura, como en muchos Oxisoles y Ultisoles, y donde es poco posible una invasión de malezas, la preparación del suelo con discos excéntricos resulta más económica y efectiva

que con el arado de discos. Además, en suelos de poca profundidad o de bajo contenido de materia orgánica, la capa superficial no debe enterrarse a consecuencia de una arada profunda. En la Figura 1 se ilustran los efectos de la profundidad de preparación del suelo, obtenida con diferentes implementos, en el establecimiento de una gramínea. El efecto de la profundidad estaba restringido por una tendencia del rendimiento a reducirse cuando aumentaba esa profundidad.

**Labranza reducida.** Controla la mayor parte de la vegetación y de las malezas. Deja el terreno con abundancia de terrones

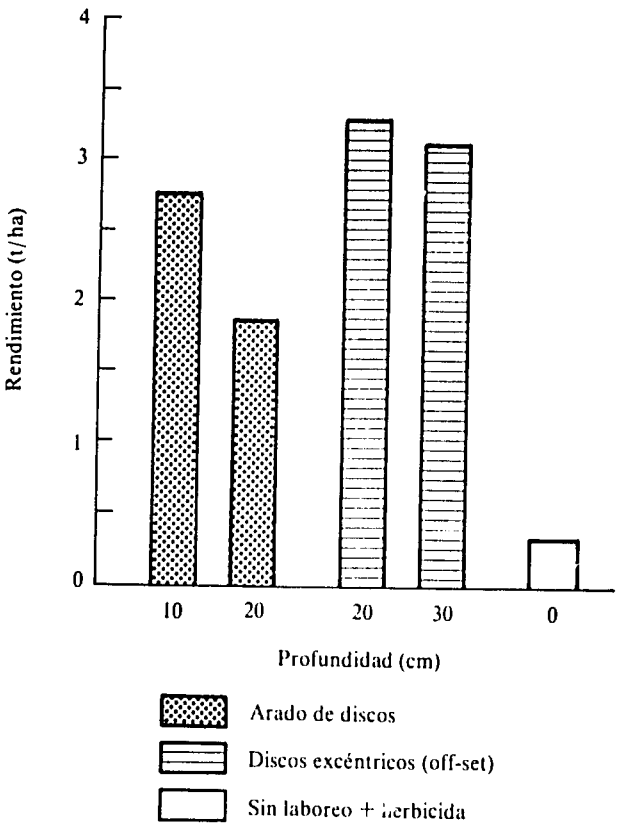



Figura 1. Efecto del implemento de labranza y de la profundidad de ésta en el rendimiento de *A. gayanus*, diez meses después de la siembra, en un Oxisol francoarcilloso de Carimagua. Las diferentes profundidades se obtuvieron empleando un arado de cinceles combinado con discos excéntricos (off-set) o directamente con un arado de discos.

grandes, una superficie áspera, y raíces y residuos expuestos. En Oxisoles de textura francoarcillosa y francolimosa se ha trabajado exitosamente el suelo con un pase de arado de cinceles (10 a 12 cm de profundidad, 30 cm entre cinceles) seguido por un pase de discos excéntricos (off-set).

**Labranza mínima.** Consiste en un aflojamiento parcial del suelo que deja terrones grandes, una superficie muy áspera, y una proporción apreciable de la vegetación nativa. Se realiza más comúnmente con un arado de cinceles en suelos de textura fina a mediana; en suelos arenosos puede hacerse con discos excéntricos o con arado de cinceles. La distancia óptima entre cinceles y la profundidad de la labor varían según la textura del suelo y la vegetación presente. La profundidad y la intensidad de la labranza deben reducirse a medida que aumenta el contenido de arena del suelo, con el fin de no preparar demasiado los suelos que, por naturaleza, son estructuralmente inestables.

En los Cerrados, después de remover los árboles, se ha establecido el pasto *A. gayanus* sembrándolo a voleo sobre la vegetación herbácea remanente. Este sería tal vez un caso extremo de labranza mínima. La pérdida de plántulas, por falta de contacto adecuado con el suelo y por acción de los insectos, fue excesiva en ciertas áreas sembradas. El rebrote de la vegetación arbustiva leñosa fue otro factor negativo, aunque el efecto de la competencia entre aquélla y la pastura no fue estimado.[2]

**Ninguna labranza y control químico.** Cero labranza, con control químico de la vegetación existente o sin él, es una práctica recomendada para suelos arenosos cuando no hay equipo de labranza disponible o cuando el riesgo de la erosión es demasiado alto para que sea permisible la labranza. La pérdida de agua y de suelo se reducen así al mínimo. Para dar mayor seguridad al resultado de la siembra de *A. gayanus* o de otras especies poco vigorosas en la etapa inicial, es recomendable controlar la vegetación presente con un herbicida, reduciendo así la competencia, por lo menos en las hileras de siembra.

2. Couto, W. Comunicación personal.

## Importancia de la textura del suelo

Se ha observado una fuerte interacción entre el efecto de la diferente intensidad de labranza y la textura del suelo. En un trabajo realizado en un Oxisol arenoso en Carimagua (CIAT, 1985) se lograron excelentes poblaciones de *A. gayanus* y de otras especies, y se controló la competencia, aplicando todos los grados de labranza, incluso el grado cero. La Figura 2 muestra el efecto del tipo de labranza y del control químico en la producción de materia seca a los seis meses después de la siembra; el rendimiento con cero labranza y control químico fue muy superior al resultado obtenido en un suelo francoarcilloso solamente.

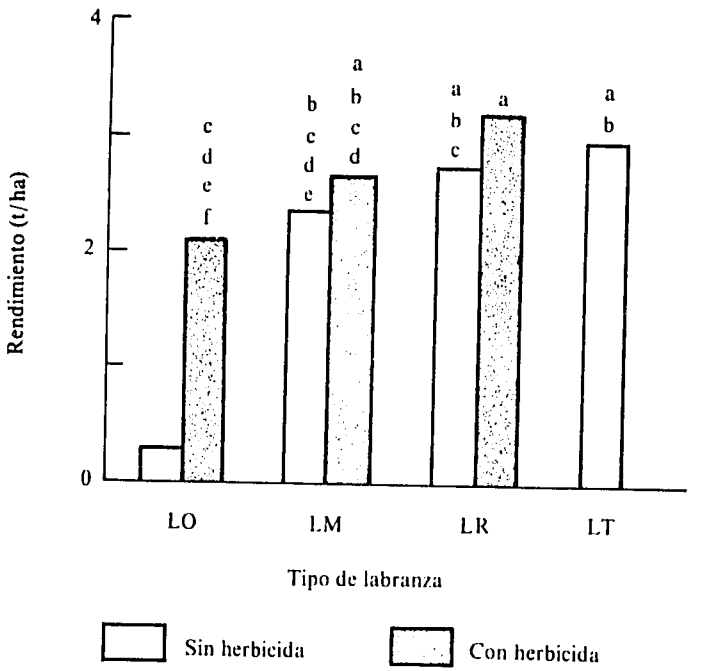



Figura 2. Efecto de la intensidad de la labranza y de la aplicación del herbicida en el rendimiento de *A. gayanus*, seis meses después de la siembra, en un Oxisol arenoso de Carimagua. LO = labranza cero; LM = lab. mínima; LR = lab. reducida; LT = lab. tradicional.

### Epoca de preparación

El momento oportuno, respecto a la época de siembra, para preparar el terreno afecta varios factores que influyen en el establecimiento de *A. gayanus*. Si se prepara el terreno con anticipación, es posible escoger la época de siembra que corresponda a las condiciones más favorables, tanto climáticas como bióticas y edáficas. Aparentemente, la preparación temprana reduce las poblaciones de hormigas y de otros insectos, porque destruye la vegetación y deja expuesto el suelo durante algunos meses. En zonas de sabana caracterizadas por una estación seca muy marcada, se recomienda hacer la preparación a finales de la época de lluvias, y enseguida la siembra ya sea tardía en la estación seca o temprana en el próximo ciclo de lluvias. Esta práctica tiene la ventaja adicional de propiciar mejores condiciones de fertilidad, porque se mineraliza la materia orgánica durante la estación seca, y aumenta así la disponibilidad de elementos esenciales en el suelo ya que no hay precipitación ni lixiviación durante esa época del año. La preparación anticipada y la siembra temprana tienen otra ventaja: no compiten con otras operaciones de la finca que generalmente se concentran en la época de lluvias.

## Siembra

Hay numerosas opciones para la siembra y la fertilización de *A. gayanus*. En esta sección se tratan únicamente algunos aspectos de la siembra de *A. gayanus* en tierras preparadas a la manera tradicional, o mediante labranza reducida para el establecimiento convencional de pastos.

### Equipo

Las sembradoras convencionales para hileras o a voleo no funcionan bien, por lo regular, cuando se siembra la semilla de *A. gayanus* sola, por dos razones: la característica pilosidad y ligereza de la semilla de esta gramínea, y los volúmenes relativamente grandes de semilla que se requieren para sembrar

según la tasa de siembra recomendada (Zimmer et al., 1983). Es una excepción, aparentemente, un dispersor (spreader) similar al de centrífuga pero equipado con un brazo 'arrojador' recíproco cuando distribuye semilla de *A. gayanus* en fajas de 3 m. El dispersor tiene una tolva semicónica y un agitador recíproco que produce un flujo de semilla relativamente uniforme.

Buenos resultados se han logrado cuando la semilla se mezcla con fertilizantes fosfóricos (roca fosfórica, escorias Thomas) o con algún material inerte, y se siembra con una abonadora mecánica convencional o con aplicadoras de centrífuga (Spain, 1982). La siembra hecha con estas últimas es generalmente menos uniforme y sufrirá más el efecto del viento. En los Llanos de Colombia se ha mezclado a menudo la semilla con escorias Thomas, se le ha agregado agua (4% a 6% del peso total) para aminorar el polvo y mejorar la uniformidad del cubrimiento, y se la ha sembrado en escala comercial mediante una abonadora de centrífuga. Se debe sembrar el mismo día en que se hace la mezcla con el fertilizante. Normalmente, esta semilla no debe mezclarse con fertilizantes que contengan N, K o superfosfato triple.

## Profundidad de siembra

La superficie ideal del suelo será áspera y estará protegida en parte por raíces, terrones y residuos vegetales. En tales condiciones, la siembra superficial de *A. gayanus* se considera adecuada. Las primeras lluvias después de la siembra arrastrarán las semillas a escondrijos y cavidades del suelo junto con material de la cobertura vegetal de éste, creando así condiciones cercanas a las óptimas para la germinación y el establecimiento de las plantas. En trabajos realizados en Campo Grande, Brasil, por Zimmer et al. (1983), se lograron buenas poblaciones de *A. gayanus* tanto sembrando superficialmente como cubriendo ligeramente la semilla con 2 a 4 cm de tierra (Cuadro 1). En otro trabajo realizado en el invernadero, en Planaltina, Brasil, el efecto de la profundidad (5 vs. 15 mm), de la compactación (0 vs. 0.336 kg/cm$^2$), y de la humedad (40%, 60% y 80% de la capacidad de campo) en la semilla sembrada fue mínimo (CIAT, 1981). Aparentemente, bajo las condiciones controladas del

Cuadro 1. Efecto de la profundidad de siembra y de la fecha de siembra en la población de plantas obtenida de tres gramíneas.

| Gramínea | Semilla viable (kg/ha) | Fecha de siembra | Población (planta/m²) a profundidad de: 0 cm | 2 cm | 4 cm | 8 cm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *A. gayanus* | 6 | 16-10-80 | 59 | 96 | 3 | 0 |
| | | 17-12-80 | 297 | 504 | 346 | 120 |
| | | 23-03-81 | 57 | 27 | 27 | 1 |
| *B. brizantha* | 10 | 16-10-80 | 2.5 | 64 | 70 | 39 |
| | | 17-12-80 | 45 | 242 | 211 | 138 |
| | | 23-03-81 | 1.2 | 72 | 123 | 58 |
| *P. maximum* | 6 | 16-10-80 | 10 | 31 | 13 | 2.5 |
| | | 17-12-80 | 119 | 565 | 547 | 201 |
| | | 23-03-81 | 2.2 | 21 | 13 | 0.5 |

FUENTE: Zimmer et al., 1983.

invernadero *A. gayanus* tolera un rango amplio de condiciones del suelo; en el campo, en cambio, no lo hace.

## Patrones de siembra y tasas de semilla

Aun cuando las siembras a voleo han sido casi siempre exitosas, se han obtenido los mejores resultados sembrando en líneas y aplicando el fertilizante en banda (CIAT, 1982). En el Cuadro 2 se presentan los efectos del patrón de siembra, de la compactación del suelo, y de la aplicación del insecticida en el número de plantas por metro cuadrado, a los 50 días de la siembra. La siembra en hileras contribuyó casi siempre a una mayor población de plantas y a más vigor de las plantas, características que propician mayor tolerancia a los ataques de insectos y a la competencia de las malezas en comparación con las plantas obtenidas de la siembra a voleo. Un año después de la siembra, sin embargo, los resultados de ambos métodos, medidos como producción de forraje, fueron similares.

La cantidad de semilla que se debe utilizar dependerá de su pureza y de su porcentaje de germinación, siendo aconsejable una tasa de 0.75-1.25 kg/ha de semilla pura viable (Argel, 1983; Zimmer et al., 1983). Esta tasa equivale a 10 kg/ha o más de semilla de la calidad corrientemente encontrada en el mercado.

Cuadro 2. Efecto del patrón de siembra, de la compactación del suelo y de un insecticida en la población de plantas de *A. gayanus* establecida 50 días después de la siembra.

| Terreno | Población de *A. gayanus* (planta/m²) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Con insecticida | | Sin insecticida | |
| | A voleo | En hileras | A voleo | En hileras |
| Sin compactación | 60 | 132 | 36 | 108 |
| Compactado | 64 | 168 | 40 | 116 |

FUENTE: CIAT, 1984.

Bowden (1963) recomienda 45 kg/ha de semilla basado en la experiencia adquirida en Africa (!) Zimmer et al. (1983) destacan la importancia de realizar pruebas de pureza y de germinación previas a la siembra.

Se puede sembrar *A. gayanus* utilizando material vegetativo (Bogdan, 1977) en zonas donde la disponibilidad y el costo de la mano de obra lo permitan. Es poco probable que este sistema sea ampliamente aceptado, dada la facilidad de producción y de cosecha de la semilla.

## Epocas de siembra

La mejor época para la siembra de *A. gayanus* está determinada principalmente por la distribución de las lluvias (Zimmer et al., 1983; Spain, 1982). En zonas donde la estación seca es larga y bien definida, se recomienda sembrar esta gramínea al principio de la época de lluvias. La siembra temprana después de la primera lluvia puede provocar la pérdida de muchas plántulas si ocurriera una época seca prolongada inmediatamente después de esa siembra, y antes de que las plantas hayan desarrollado un sistema radical profundo que les asegure la sobrevivencia. En algunas regiones, las lluvias son predecibles con suficiente certeza y permiten la siembra antes de su comienzo como época lluviosa, con tal que el suelo haya sido preparado desde finales de la temporada de lluvias anterior y haya retenido en su perfil una buena reserva de humedad.

Una vez bien establecida la época de lluvias, la siembra se hace en cualquier momento, suponiendo que hay tiempo suficiente para que la planta desarrolle un sistema radical abundante que garantice su supervivencia y una competencia ventajosa durante la estación seca. Las siembras más tempranas favorecen una buena producción de semillas, y ésta asegura una mejor cobertura del suelo cuando la población de plantas obtenida durante el establecimiento no haya sido la adecuada. El mantenimiento de una capa superficial de suelo suelta, con terrones o surcos que puedan albergar las semillas, es fundamental para aprovechar efectivamente las plantas emergidas. Si la superficie del suelo es demasiado firme y lisa, las semillas serán barridas por el viento, durante la época seca, o por las primeras lluvias.

## Fertilización de Establecimiento

La tolerancia de *A. gayanus* a los suelos ácidos y escasos en fósforo ha sido ampliamente documentada (CIAT, 1979; CIAT, 1980; CIAT, 1981; CIAT, 1982; Thomas et al., 1981; Couto et al., 1985). Trabajos realizados en Oxisoles distróficos de Brasil central han indicado que esa gramínea es más productiva con niveles mínimos de P que los cultivares comerciales de los géneros *Brachiaria, Setaria* y *Panicum,* y que responde también eficientemente a los niveles altos de fertilización que se apliquen (Figura 3). La adaptación de *A. gayanus* a condiciones de baja fertilidad y su tolerancia a la sequía (Goedert et al., 1985) parecen ser el resultado de una desusada capacidad para explotar un gran volumen de suelo con un sistema radical profundo y extremadamente abundante (Figura 4). La respuesta, en rendimiento, de *A. gayanus* a la fertilización con P va acompañada por aumentos muy modestos en el tenor de P en los tejidos (Couto et al., 1985), lo que indica una alta eficiencia en la utilización del fósforo absorbido por las raíces. Trabajos realizados por Saif (1986) y Cabala et al. (1985) muestran que la simbiosis micorrizal es esencial para lograr un vigoroso desarrollo de *A. gayanus* en suelos con un bajo nivel de P.

En los suelos de los Cerrados, muy pobres en Ca y Mg, la aplicación moderada de cal agrícola, aunque no produce un

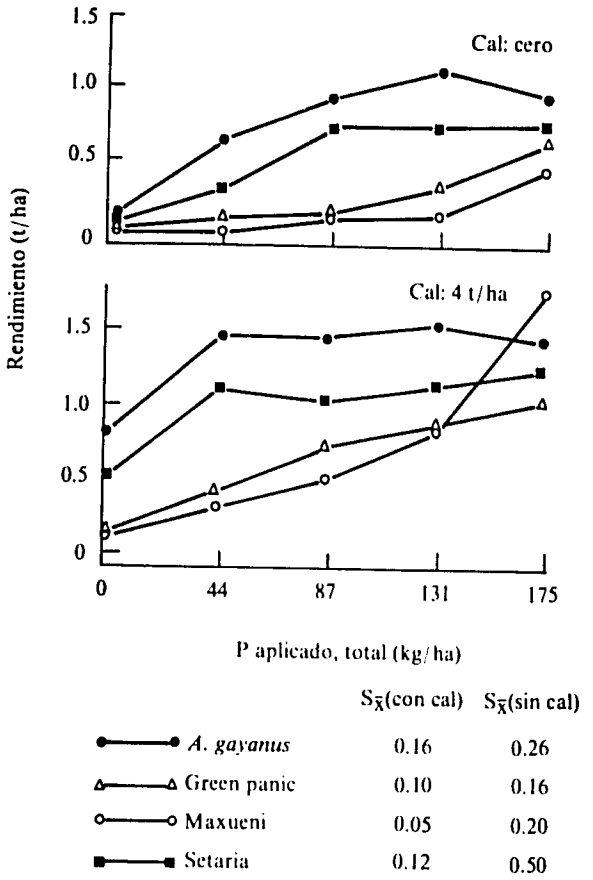



Figura 3. Respuesta de cuatro gramíneas al efecto residual de las aplicaciones de fósforo y cal agrícola. Los datos son promedios de tres cortes. El fósforo se aplicó durante seis años, al final de los cuales se registraron los totales señalados.

incremento significativo del pH del suelo, ha contribuido a aumentar los rendimientos de *A. gayanus.*

## Fósforo

Experimentos realizados en los Oxisoles de textura fina de los Llanos de Colombia indican que 20 kg/ha de P, aplicados en bandas, son adecuados para un establecimiento satisfactorio de las pasturas de *A. gayanus.* En los suelos de los Cerrados de Brasil, cuya capacidad de fijación de P es mucho más alta que la

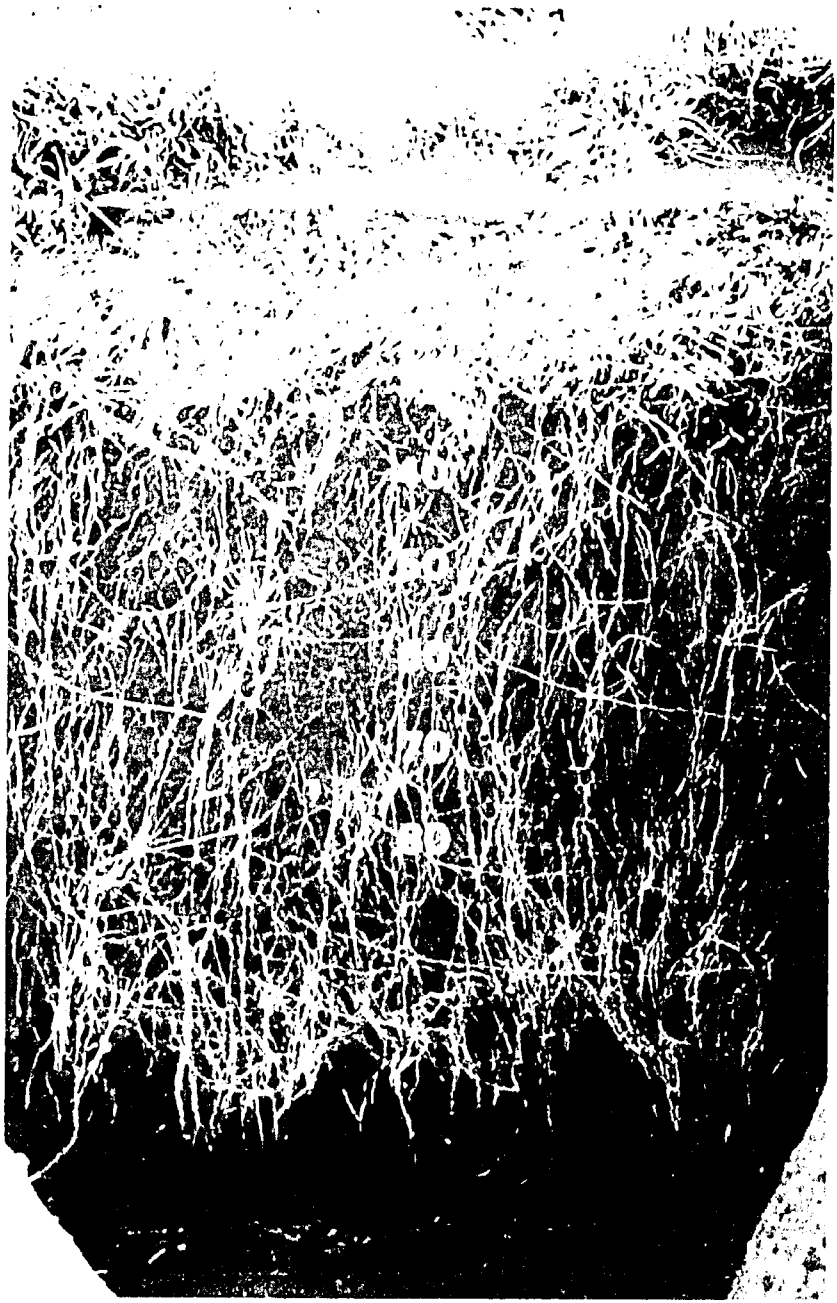


Figura 4 *Andropogon gayanus* tiene raíces con capacidad de profundizar mucho en los Oxisoles del trópico húmedo. La parcela había recibido fertilización y cal durante varios años.

de los Oxisoles de Colombia, la respuesta a la fertilización inicial es casi lineal hasta niveles tan altos como 100 kg/ha de P, aplicados a voleo e incorporados al suelo; no obstante, puede lograrse un buen establecimiento y una productividad adecuada de la gramínea con niveles de fertilización equivalentes a 35 kg/ha de P. Si se emplean fuentes de P pobres en Ca, es importante adicionar cal agrícola, preferiblemente dolomítica. En las sabanas de Colombia (Spain, 1982) se recomienda aplicar entre 50 y 100 kg/ha de Ca (125-250 kg/ha de $CaCO_3$ puro); en los suelos pobres en Ca y Mg de los cerrados, se recomiendan de 500 a 1000 kg/ha de cal agrícola (de Andrade et al., 1983).

## Fuentes de fósforo

Experimentos de fertilización con varias fuentes de fósforo han mostrado que las pasturas de *A. gayanus* y de otras gramíneas forrajeras utilizan el fósforo proveniente de los fosfatos naturales de baja solubilidad más eficazmente que los cultivos anuales. Sin embargo, la gran variabilidad entre una roca fosfórica y otra, respecto a su solubilidad y su valor agronómico, no permite hacer una recomendación general sobre su uso en las pasturas de *A. gayanus*. Experimentos realizados en suelos ácidos de muy baja fertilidad (Acrustox) han indicado que la eficacia de esas rocas, aun las de baja solubilidad, aumenta con el tiempo, y pueden ser tan efectivas, desde el cuarto año en adelante, como las fuentes en que el P es más disponible. Trabajos realizados en Colombia (Hammond et al., 1982) indican que algunas rocas fosfóricas son muy efectivas en el establecimiento y mantenimiento de praderas en suelos ácidos.

Fosfatos tratados térmicamente con agregados de silicatos de Ca y Mg (termofosfatos) han resultado iguales al superfosfato triple, o superiores a él, en el establecimiento de praderas de *A. gayanus*. El alto contenido de Ca y de Mg de estos productos los hace muy atractivos para suelos en que el nivel de bases es bajo.

Los fosfatos solubles en agua (superfosfato simple y superfosfato triple), tienen la ventaja de la disponibilidad inmediata de su P para las plántulas recién germinadas. El

superfosfato simple también proporciona azufre y calcio, y resulta, por tanto, muy útil para los Oxisoles que suelen ser deficientes en estos nutrimentos.

### Potasio

Los suelos tropicales poseen, en general, bajas reservas de potasio; por consiguiente, la aplicación de este nutrimento puede ser necesaria para un desarrollo adecuado de las pasturas. *A. gayanus* se ha mostrado muy eficiente en la absorción de K, y compite fuertemente por él con las leguminosas asociadas como *S. capitata* (CIAT, 1983).

Las praderas bien manejadas aseguran un retorno eficiente al suelo de P, K y otros nutrimentos, y reducen así la fertilización de mantenimiento necesaria (Spain y Salinas, 1985). Los micronutrimentos son a veces necesarios para las pasturas de *A. gayanus* en los suelos muy arenosos con bajo tenor de materia orgánica, especialmente si la gramínea está asociada con leguminosas.

La cantidad de fertilizante que se aplica en la siembra deberá definirse según las características de los suelos y el nivel de productividad que el agricultor tenga como meta. La fertilización de pasturas de *A. gayanus* asociado con leguminosas se discute en el capítulo 'Requerimientos nutricionales...'

## Establecimiento con Cultivos Anuales o Después de Ellos

El establecimiento de *A. gayanus* se facilita cuando se siembra simultáneamente con un cultivo anual o después de la cosecha de éste. Por un lado, es menos difícil controlar las malezas y, por otro, la pastura tiene la ventaja de aprovechar el efecto residual de los fertilizantes aplicados a los cultivos.[3] Durante el ciclo de cultivo en las áreas boscosas, suele controlarse el rebrote de la

3. Gualdrón, R. Comunicación personal.

vegetación leñosa, práctica que favorece la pastura que sucede al cultivo. Las experiencias comunicadas se han hecho usualmente con especies forrajeras de porte más bajo y más agresivas que *A. gayanus,* y además de crecimiento inicial más vigoroso. El establecimiento de *A. gayanus* junto con maíz y soya ha sido ensayado por Haggar (1969), quien obtuvo una menor infestación de malezas y mejor establecimiento de la pastura. El lento desarrollo inicial de esta gramínea, su tolerancia a la sombra del cultivo asociado, y su capacidad para competir por nutrimentos una vez superado el estadio de plántula deberían producir resultados exitosos con este método de establecimiento.

La capacidad de *A. gayanus* de utilizar muy eficientemente los fertilizantes aplicados a los cultivos anteriores ha sido bien documentada. Se han observado, en efecto, respuestas al fósforo y a la cal agrícola de dos a ocho años después de la siembra, aun en los casos en que el análisis del suelo mostraba valores muy bajos de disponibilidad de fósforo (Couto et al., 1985).

Otras ventajas de sembrar el pasto con los cultivos son: 1) el costo de establecimiento se paga en parte con el cultivo; 2) el crecimiento rápido del cultivo protege el suelo de la erosión; 3) las malezas pueden controlarse más fácilmente; 4) hay un mejor aprovechamiento de los residuos de la cosecha.

Los sistemas en que cultivos anuales rotan con pasturas de gramíneas y leguminosas pueden ser altamente atractivos. Los efectos favorables de las pasturas en la productividad de los cultivos subsiguientes han sido atribuidos a la acumulación de nutrimentos en la capa alta del suelo por efecto del pastoreo (Stobbs, 1969; CIAT, 1983), así como al mejoramiento de las condiciones físicas del suelo y al aumento en el contenido de N (Williams et al., 1961) y de materia orgánica (Jones, 1967). La gramínea no es un problema serio de 'maleza' en el cultivo siguiente, según la escasa experiencia disponible.

## Siembra en Asociaciones

El equilibrio entre gramíneas y leguminosas en las asociaciones depende, entre otros factores, de los niveles de fertilidad. Esta

relación es particularmente crítica cuando las especies tienen requerimientos nutricionales diferentes o cuando una responde mejor a niveles más altos de fertilidad que la otra. La Figura 5 indica que, en parcelas pequeñas bajo corte de *A. gayanus* asociado con *Stylosanthes guianensis* cv. Bandeirante, la proporción de la leguminosa fue mucho mayor cuando los niveles

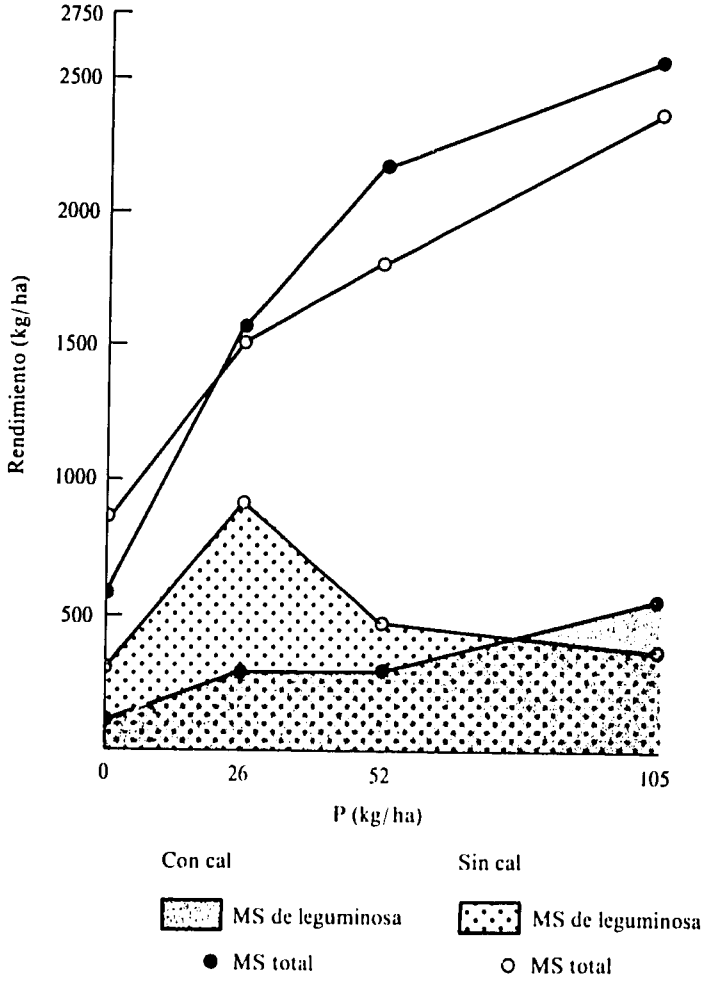



Figura 5. Efecto de diferentes niveles de P, con cal (1 t/ha) y sin cal, aplicados a la siembra, en el rendimiento de una asociación de *A. gayanus* CIAT 621 y *Stylosanthes guianensis* 'tardío' CIAT 2243 (promedio de tres cortes).

de P eran más bajos. En ausencia de cal agrícola, la proporción de leguminosa fue aún mayor que cuando se aplicó 1 t de la cal. El notorio descenso en la proporción de leguminosa observado a niveles más altos de P, especialmente en ausencia de la cal, podría ser, en gran parte, el resultado de un incremento en el vigor y en la producción de *A. gayanus*. Esto se ha interpretado como efecto de una mayor respuesta de *A. gayanus* a niveles más altos de P y a la cal, que le permiten competir mejor por luz, agua y otros factores esenciales para el crecimiento. Aunque estos resultados fueron obtenidos en parcelas bajo corte, su magnitud hace pensar que el efecto de los niveles de P y de cal agrícola en el equilibrio entre las especies de la asociación no debe desestimarse en las pasturas sometidas a pastoreo.

Efectos más fuertes pueden esperarse en asociaciones de otras leguminosas con *A. gayanus* a causa de la menor capacidad de respuesta a P de algunas especies. Algunos ecotipos de *S. capitata*, de *S. guianensis* y de *S. macrocephala* tienden a responder con menor intensidad a los niveles altos de P y de cal agrícola (CIAT, 1984); se harían entonces menos compatibles con *A. gayanus* cuando haya alta disponibilidad de fósforo y de calcio. Convendría sustituir estas especies o ecotipos por otros que respondan mejor a niveles altos de fertilidad —como *Centrosema* sp. nov., *C. macrocarpum*, y *Pueraria phaseoloides*— y que serían por ello los recomendables para suelos más fértiles (CIAT, 1985).

## Siembras Ralas

Recursos como capital, mano de obra, fertilizante y semilla son casi siempre limitativos del establecimiento de pasturas en zonas tropicales. La semilla o el material vegetativo que se siembran o plantan son frecuentemente escasos en las etapas iniciales de un programa de desarrollo de pastos. Para enfrentar esta situación, se han estudiado sistemas de siembra de baja densidad, dejando que las plantas madre produzcan semilla que alcance a cubrir toda el área intermedia no sembrada (CIAT, 1978; ICA, 1980; Cibils y García, 1983; Cordero et al., 1983).

## Preparación del terreno: etapas y épocas

El objetivo de esta preparación del terreno es reducir la competencia que experimentará el pasto, asegurar un buen contacto entre la semilla y el suelo, y garantizar la penetración rápida de las raíces durante el desarrollo inicial de las plantas.

Para reducir al mínimo la inversión inicial, sólo necesita prepararse el área de siembra, o sea, los sitios o las hileras. Es esencial el control de la vegetación nativa en el sitio de siembra mediante la labranza o la aplicación de un herbicida. *A. gayanus* se ha establecido con éxito en franjas de 60 a 90 cm después de trabajar el suelo con dos o tres cinceles, sin necesidad de controlar completamente toda la vegetación de la sabana nativa (CIAT, 1981)

Para la siembra se pueden elegir varios meses del año, siempre que *A. gayanus* produzca semilla en el primer verano; si se desea un resultado óptimo, hay que sembrar temprano en la época de lluvias. En la Figura 6 se aprecia una siembra rala de *A. gayanus.*

## Tasas de siembra, fertilización, y época de siembra

Se recomienda sembrar semilla suficiente para garantizar de 3 a 5 plantas en cada sitio de siembra. La cantidad de semilla que se siembra depende de su viabilidad y de las condiciones climáticas y bióticas que prevalecerán después de la siembra. En Carimagua ha sido suficiente sembrar de 30 a 50 semillas por sitio, sembrando 1000 sitios por hectárea a 3.16 m entre sitios; se requieren así, en total, de 100 a 200 g de semilla por hectárea. En los Oxisoles de Carimagua, la fertilización recomendada para *A. gayanus* fue la siguiente, en g/sitio: 3 de $P_2O_5$, 1 de $K_2O$, 0.5 de S, y 0.5 de Mg, que equivalen, en kg/ha de los cuatro elementos respectivos, a 3, 1, 0.5, y 0.5 (CIAT, 1978). Es importante separar la semilla del fertilizante que contenga potasio o nitrógeno, o ambos elementos, en cualquier sistema de siembra que se emplee. El fertilizante se puede aplicar en golpes o en corona a 5 cm de la semilla.

Tanto la preparación del terreno como su fertilización se dividen en dos etapas: en la primera, se prepara y fertiliza sólo

Lámina 6. *A. gayanus* establecido [illegible] en Carimagua. [illegible] en un patrón de [illegible] comienzos del [illegible]. Durante la estación seca, la semilla se acumuló [illegible] por un rastrillo de cinceles al final de la época de lluvias. La germinación empezó después de las primeras lluvias, en marzo de 197[illegible].

para las plantas madre: a finales de la época húmeda, y antes de que empiece a caer la semilla, se prepara el área intermedia dejando su superficie áspera para que reciba y retenga la semilla que caiga durante la estación seca. La fertilización se debe hacer antes de la nueva época de lluvias, y se aplica a voleo la dosis normal recomendada para siembras convencionales.

## Asociaciones

*A. gayanus* se puede asociar con varias leguminosas que se presten también para establecerse mediante siembra rala. Casi toda esta experiencia se ha obtenido en los Llanos Orientales de

Colombia con *Pueraria phaseoloides,* que se siembra intercalada con la gramínea en la misma línea y con las mismas dosis de los fertilizantes. Es suficiente sembrar de 5 a 10 semillas viables por sitio. La leguminosa cubre el área intermedia porque sus tallos se dispersan, enraizan y dan lugar a nuevas plantas, en las condiciones de los Llanos Orientales. En muchas zonas, la leguminosa alcanza a producir semilla que será el origen de nuevas poblaciones. Se cree que algunas especies de *Centrosema* —que son estoloníferas o producen abundante semilla, o poseen ambos caracteres— se podrían sembrar también en la misma forma.

## Hormigas y Otras Plagas

Las hormigas de los géneros *Acromyrmex* y *Atta* son todavía una de las limitaciones más graves del establecimiento de praderas en llanos y cerrados. Se ha observado, en praderas bien establecidas y bien manejadas, que éstas toleran generalmente las hormigas sin gran dificultad. Cuando se sobrepastorea la pradera, se hacen quemas fuera de la época recomendada, o se cometen otros errores de manejo, las hormigas pueden convertirse en un depredador muy serio que afecta la persistencia de las praderas, especialmente en la época seca.

### Control químico

En experimentos con parcelas pequeñas el control de las plagas es factible utilizando insecticidas. En períodos de mucha lluvia es necesario repetir el tratamiento químico con frecuencia, lo que aumenta los costos de establecimiento. Además, isecticidas como aldrin y mirex pueden considerarse ecológicamente indeseables, en especial cuando se aplican en escala comercial. Por tanto, el control químico se recomienda principalmente a nivel experimental, cuando se trabaja con germoplasma nuevo y promisorio cuya semilla es muy escasa, o cuando se combaten hormigas, como *Atta* spp., que se localizan y controlan sin dificultad.

### Escape de la plaga

Se cree que la mejor estrategia para 'controlar' hormigas en las sabanas de Colombia es mediante la preparación anticipada del terreno y la siembra temprana. La siembra temprana parece favorecer, mientras las lluvias no sean excesivas, el desarrollo rápido de las plántulas y el crecimiento vigoroso, pues en ese tiempo las poblaciones de hormigas son aún relativamente bajas.

## Resumen

*A. gayanus* es una especie bien adaptada a las condiciones edáficas y climáticas que caracterizan las sabanas bien drenadas de los trópicos americanos. Una vez establecida, la gramínea tiene un alto potencial productivo y bajos requerimientos de nutrimentos, tolera la acidez del suelo, y es muy persistente. Sin embargo, durante su fase de establecimiento es una especie de bajo vigor y de crecimiento lento. En este capítulo se hace una revisión de la investigación realizada y de las experiencias encontradas acerca del establecimiento y desarrollo de pasturas basadas en *A. gayanus*. Se estudia la apertura del terreno, y se revisan los sistemas de labranza que varían desde la labranza tradicional hasta la labranza cero. Se consideran luego las épocas de preparación del terreno y de siembra, y los sistemas de siembra y fertilización, destacando la importancia del patrón de siembra y del modo de aplicación del fertilizante para la siembra.

Hay poca información sobre el establecimiento de *A. gayanus* asociado con cultivos anuales. Se discute, no obstante, su establecimiento en asociación con leguminosas forrajeras, entre ellas *Pueraria phaseoloides* y varias especies de los géneros *Centrosema* y *Stilosanthes*.

Se suministra también información sobre un sistema de 'siembras ralas', de valor especial para áreas de sabana en que haya escasez de semilla y donde el potencial de malezas sea bajo.

Al final del capítulo se discuten brevemente los problemas causados por las plagas, haciendo énfasis en las hormigas, una de las limitaciones más graves del establecimiento de *A. gayanus* en zonas de sabana.

# Referencias


Argel, P. J. 1983. Cómo producir semilla de *Andropogon gayanus*. Pastos Trop. Bol. Inf. 5(2):1-4.

Bogdan, A. V. 1977. Tropical pastures and fodder plants. Longman Group, Londres, Inglaterra. p. 34-39.

Bowden, B. N. 1963. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth; I: the use of *Andropogon gayanus* in agriculture. Emp. J. Exp. Agric. 11:123, 268-273.

Cabala, P. et al. 1985. Informe de progreso. Departamento de Geociencias, Comissão Executiva do Plano de Recuperação Econômica Rural da Lavoura Cacaueira (CEPLAC). Itabuna, Bahía, Brasil.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1978. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales 1977. Cali, Colombia. p. A67-A68.

———. 1979. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales 1978. Cali, Colombia. p. B106-B107.

———. 1980. Desarrollo de pastos, Cerrados. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1979. Cali, Colombia. p. 89-95.

———. 1981. Desarrollo de pastos, Cerrados. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1980. Cali, Colombia. p. 83-86.

———. 1982. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1981. Cali, Colombia. p. 203-208.

———. 1983. Establecimiento de pasturas, Cerrados y Carimagua. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1982. Cali, Colombia. p. 279-290 y 203-224.

———. 1984. Desarrollo de pastos, Cerrados. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1983. Cali, Colombia. p. 171-178.

———. 1985. Desarrollo de pastos, Carimagua. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1985. Cali, Colombia. p. 177-192.

———. 1986. Desarrollo de pastos, Carimagua. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1985. Cali, Colombia. p. 279-294.

Cibils, J. P. y García, D. A. *Andropogon gayanus*. Círculo Ganadero no. 21. Tercera Epoca, Maracaibo, Venezuela.

Cochrane, T. T.; Sánchez, L. G.; de Azevedo, L. G.; Porras, J. A. y Garver, C. L. 1985. Land in tropical America (La tierra en América tropical; A terra na América tropical). 3 vols. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, y Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária en el Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, DF, Brasil. Vol. 1, 2, y 3.

Cordero M., J.; Oropeza, H. y Rodríguez, S. 1983. Pasto Sabanero *(Andropogon gayanus* Kunth). Serie B, no. 4-02. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias (CENIAP) e Instituto de Investigaciones Agronómicas, Maracay, Venezuela. 24 p.

Couto, W.; Leite, G. G. y Kornelius, E. 1985. The residual effect of P and lime on the performance of four tropical grasses in a high P fixing Oxisol. Agron. J. 77:534-542.

de Andrade, R. P.; Gómez, D. T.; da Rocha, C. M.; Cosenza, G. W.; Couto, W.; Thomas, D.; Moore, C. P. y Sansonowicz, C. 1983. Recomendações para a formação de pastagens de capim *Andropogon* cv. Planaltina. Com. Tec. 25. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) en Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Planaltina, Brasil.

Goedert, W. J.; Ritchey, K. D. y Sanzonowicz, C. 1985. Desenvolvimento radicular de capim *Andropogon* e sua relação com o teor de cálcio no perfil do solo. Rev. Bras. Cienc. Solo 9:89-91.

Haggar, R. J. 1969. Use of companion crops in grassland establishment in Nigeria. Exp. Agric. 5:47-52.

Hammond, L. L.; León, L. A. y Restrepo, L. G. 1982. Efecto residual de las aplicaciones de 7 fuentes de fósforo sobre el rendimiento de *Brachiaria decumbens* en un Oxisol de Carimagua. En: Silva, F. (ed.). Uso y manejo de los suelos de la Orinoquia y de la Amazonia; memorias del Séptimo Congreso de Suelos reunido en Villavicencio, Colombia. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, Colombia. p. 196-206.

ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1980. Pasto Carimagua 1. Boletín técnico no. 72. Bogotá, Colombia.

Jones, R. J. 1967. The effect of some grazed tropical grass legume mixtures and nitrogen fertilized grass on total soil nitrogen, organic carbon and subsequent yield of *Sorghum vulgaris*. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 7:6-71.

Saif, S. ur R. 1986. Vesicular-arbuscular mycorrhizae in tropical forage species as influenced by season, soil texture, fertilizers, host species and etotypes. Angew. Bot. 60:125-139.

Spain, J. M. (ed.). 1982. Recomendaciones generales para el establecimiento y mantenimiento de pastos en la zona de Carimagua, Llanos Orientales de Colombia. 3a. edición. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 30 p.

——— y Salinas, J. G. 1985. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. En: Cabala, P. (ed.). Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos nos trópicos. Comissão Executiva do Plano de Recuperação Econômica Rural da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), Itabuna, Brasil. p. 259-299.

Stobbs, T. H. 1969. The effect of grazing resting land upon subsequent arable crop yields. East Afr. Agric. For. J. 34:28-32.

Thomas, D.; de Andrade, D. P.; Couto, W.; da Rocha, C. M. C. y Moore, P. 1981. *Andropogon gayanus* var. bisquamulatus cv. Planaltina: principais características forrajeiras. Pesqui. Agropecu. Bras. 16(3):347-355.

Valencia, I. M.; Spain, J. M. y Mott, G. O. Root competition between *Andropogon gayanus* and *Stylosanthes capitata* in an Oxisol in Colombia, I: missing nutrient and root competition. Agron. J. (en impresión).

Williams, T. T.; Clements, L. R. y Heard, A. T. 1961. Soil nitrogen status of leys and subsequent wheat yields. En: Eighth International Grassland Congress, Berkshire, Inglaterra, julio 1960. Memorias. Alden Press, Oxford, Inglaterra. p. 237-242.

Zimmer, A. H.; Pimentel, D. M.; do Valla, C. B. y Seiffert, N. F. 1983. Aspectos práticos na formação de pastagens. Circular técnica no. 12. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) en el Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (CNPGC), Campo Grande, Brasil.

# CALIDAD DE *ANDROPOGON GAYANUS* Y PRODUCTIVIDAD ANIMAL

Carlos Lascano y Derrick Thomas*

## Introducción

Se acepta comúnmente que los factores que definen la calidad de una especie forrajera son los siguientes: el consumo voluntario del animal; el suministro, mayor o menor, de nutrimentos (compuestos energéticos, proteína, minerales) al animal; y la eficiencia con que el animal utiliza esos nutrimentos. Tanto el consumo animal como el suministro de nutrimentos de una planta están influenciados por atributos inherentes a la especie vegetal, los cuales pueden ser modificados, a su vez, por factores ambientales como el clima y el suelo, por características de la comunidad vegetal como el monocultivo o la asociación, y por prácticas de manejo como la fertilización y la frecuencia e intensidad del corte o del pastoreo.

Establecidos los conceptos anteriores como marco de referencia, se describirán en este capítulo dos aspectos —la calidad y el potencial de productividad animal— de *Andropogon gayanus* Kunth var. *bisquamulatus* (Hochst.) Hack. Con tal fin, se resumen y discuten los trabajos de investigación sobre esta gramínea en los cuales se ha medido su composición química, su digestibilidad, su consumo, y su potencial de productividad animal bajo diferentes factores ambientales y de manejo.

* Carlos Lascano es zootecnista, sección de Calidad y Productividad de Pasturas del Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia; Derrick Thomas es agrónomo de forrajes, sección de Agronomía de Forrajes del mismo Programa.

# Composición Química y Digestibilidad de *A. gayanus*

La composición química de una gramínea está influenciada por factores tales como el estado de madurez de ésta, la parte de la planta que se considere (hojas, tallos), y la fertilidad del suelo o el régimen de fertilización. En esta sección se discuten los resultados de análisis químicos realizados en tejidos de *A. gayanus* sembrado en parcelas pequeñas bajo corte y en áreas mayores sometidas a pastoreo.

## Estudios de la gramínea bajo corte

### Proteína cruda

La literatura informa sobre varios trabajos en los que se compara el contenido de proteína cruda (PC) de *A. gayanus* con el de otras gramíneas tropicales (Cuadro 1). Los resultados son consistentes: el contenido de PC de *A. gayanus* es menor que el de *Panicum maximum, Brachiaria decumbens* y *B. ruziziensis*, pero es similar al que se ha encontrado en *H. rufa.*

Cuadro 1. Contenido de proteína cruda (PC) y digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS) de tejidos de *Andropogon gayanus*, en comparación con los de otras gramíneas.

| Gramínea | PC (%) | DIVMS (%) | Observaciones (Referencia) |
|---|---|---|---|
| *A. gayanus* | 7.4 | - | Promedio para 5 edades de rebrote, |
| *P. maximum* | 8.2 | - | 3 a 24 semanas; en planta entera (Oyenuga, 1957). |
| *A. gayanus* | 9.3 | 40 | Promedio de 2 años con cortes cada |
| *P. maximum* | 11.5 | 48 | 6 semanas; en planta entera (Osare, 1975). |
| *A. gayanus* | 5.5 | - | Promedio de 3 años con 4 cortes por |
| *P. maximum* | 8.4 | - | año; en planta entera (Pedreira |
| *H. rufa* | 6.1 | - | et al., 1975). |
| *B. decumbens* | 7.6 | - | |
| *B. ruziziensis* | 6.8 | - | |
| *A. gayanus* | 11.9 | 50 | Promedio para 5 edades de rebrote |
| *P. maximum* | 13.1 | 48 | (3 a 15 semanas); en hojas (Abaunza, 1982). |
| *H. rufa* | 10.6 | 47 | |
| *B. decumbens* | 14.4 | 61 | |
| *B. ruziziensis* | 13.8 | 60 | |

A medida que una gramínea tropical madura, ocurre una reducción en el porcentaje de PC que está asociada con un incremento en la masa de tallos y material inerte cuyo nivel de proteína es inferior al de las hojas, y en una reducción de la proteína por la edad de la planta tanto en las hojas como en los tallos. En trabajos realizados en Ghana (Oyenuga, 1957) y en Brasil (Alcántara et al., 1981), que se resumen en el Cuadro 2, se hallaron tasas lineales de reducción del contenido de PC según la edad del rebrote que fluctuaban entre 0.11% y 0.19% por semana para la planta entera. Estas tasas son similares a las obtenidas en otras gramíneas incluidas en esas pruebas. Además, la PC de la planta entera descendió a niveles críticos ( < 7%) de las 8 a las 13 semanas después del rebrote, hecho que tiene implicaciones si el forraje se corta para suministrarlo como heno. Más importante, sin embargo, para el pasto en condiciones de pastoreo es el efecto de la edad de rebrote en el contenido de PC de la hoja, parte de la planta que el animal prefiere consumir, como se discutirá más adelante. En un estudio realizado en Colombia en un Ultisol (Abaunza, 1982), se evaluó el efecto de la madurez en hojas de nueve gramíneas tropicales, incluyendo a *A. gayanus*. Los resultados indicaron que la tasa semanal de reducción del

Cuadro 2. Efecto de la edad después del rebrote en el contenido de proteína cruda de *Andropogon gayanus*

| Edad de rebrote (semanas) | Proteína cruda (%) | Observaciones (Referencia) |
|---|---|---|
| 4 | 10.1 | Planta entera, sin fertilización con N (Oyenuga, 1957) |
| 7 | 8.5 | |
| 13 | 7.5 | |
| 17.5 | 6.1 | |
| 23.5 | 4.8 | |
| 8 | 5.8 | Planta entera, y fertilización con N: 200 kg/ha (Alcántana et al., 1981) |
| 13 | 5.8 | |
| 17 | 3.4 | |
| 21 | 2.4 | |
| 3 | 17.5 | Hojas, y fertilización con N: 100 kg/ha (Abaunza, 1982) |
| 6 | 13.8 | |
| 9 | 12.5 | |
| 12 | 8.1 | |
| 15 | 6.9 | |

contenido de PC, de las 3 a las 15 semanas del rebrote, fue más alta en *P. maximum* (-1.16%), en *B. ruziziensis* (-0.94%) y en *A. gayanus* (-0.90%) que en otras gramíneas como *B. decumbens* (-0.77%), *B. humidicola* (-0.77%) y *P. plicatulum* (-0.61%). A las 15 semanas del rebrote, la PC en hojas de *A. gayanus* (6.9%) fue menor que en las de otras gramíneas cuyo promedio fue de 9.5%.

Parecería que, en general, el contenido de PC en *A. gayanus* es menor que el de otras gramíneas tropicales, efecto producido, en parte, por una alta proporción de tallos en relación con las hojas a una determinada edad de rebrote (Abaunza, 1982). Además, su nivel de PC en las hojas es inicialmente alto, se reduce rápidamente con la edad, y llega a niveles críticos en el tejido a las 15 o más semanas del rebrote, comportamiento que es similar al de otras gramíneas tropicales.

El nivel de PC en las gramíneas tropicales puede resultar afectado por la fertilización, especialmente la nitrogenada (Milford, 1960; Chapman y Kretschmer, 1964; Chacón et al., 1971; Minson, 1973; Carver et al., 1975). Sin embargo, en pocos trabajos referidos en la literatura se ha medido la PC en *A. gayanus* con diferentes niveles de nitrógeno. En el Cuadro 3 se

Cuadro 3. Efecto de la fertilización nitrogenada en el contenido de proteína cruda de *Andropogon gayanus*.

| Nivel de N aplicado (kg/ha) | Proteína cruda (%) | Observaciones (Referencia) |
|---|---|---|
| 0 | 6.2 | Con aplicación de N, en zona |
| 28 | 6.4 | de sabana en Nigeria (Haggar, 1975). |
| 56 | 6.2 | |
| 112 | 6.9 | |
| 224 | 8.0 | |
| 448 | 9.6 | |
| 896 | 10.4 | |
| 0 | 9.4 | Promedio de 3 años, con cortes |
| 50 | 9.4 | cada 30 días en época de |
| 100 | 9.8 | lluvias, en un Ultisol, |
| 200 | 10.8 | en Colombia (CIAT, 1981). |
| 400 | 12.7 | |
| | | Promedio de 6 cortes cada |
| 0 | 7.9 | 28 días, en un suelo franco arenoso, |
| 50 | 8.3 | en Colombia (Sierra y Mesa, 1980). |

resumen tres trabajos realizados en diferentes suelos, con diversos manejos, y con diferentes niveles de nitrógeno. Tanto en el trabajo de Haggar (1975) en Nigeria como en el realizado en Colombia (CIAT, 1981), el contenido de PC se elevó en el tejido únicamente con las dosis altas de nitrógeno (200 kg/ha). resultado consistente con los encontrados en otras gramíneas tropicales adaptadas a suelos ácidos y de baja fertilidad (CIAT, 1981).

Digestibilidad

Una medida de la calidad, comúnmente aplicada a especies forrajeras en estudios bajo corte, es la digestibilidad in vitro de la materia seca (DIVMS), la cual puede tener alta correlación con el estado de madurez de la planta y con su contenido de fibra. En el Cuadro 1 se resumen los valores de DIVMS de varias gramíneas, incluyendo a *A. gayanus*. Osare (1975) encontró que la DIVMS de la planta entera de *A. gayanus* es baja y menor que la de *P. maximum*. Sin embargo, en otros estudios la digestibilidad de las hojas de *A. gayanus*, de *P. maximum* y *de H. rufa* fue similar, aunque inferior a la de las hojas de *B. decumbens* y *B. ruziziensis* (Abaunza, 1982).

Así como la PC, la DIVMS de las gramíneas está afectada por la edad del rebrote. En el estudio realizado por Abaunza (1982), se encontró que la reducción en DIVMS de las hojas de las plantas de *A. gayanus* con edades entre 3 y 15 semanas fue de -1.5% por semana, siendo esta caída similar a la encontrada en otras gramíneas incluidas en la prueba y a la comunicada en otros estudios de gramíneas tropicales (Minson, 1971). Un resultado interesante es la escasa diferencia que hay entre la DIVMS de las hojas y la de los tallos de *A. gayanus* (Cuadro 4) que contrasta con el contenido de PC en esas mismas partes de la planta.

La similitud en la DIVMS de hojas y tallos de *A. gayanus* puede explicarse por la composición de la pared celular de estas partes de la planta. En el Cuadro 5 se resumen los resultados obtenidos por Rodríguez (1985); en un rebrote de seis semanas, los componentes de la pared celular fueron similares en hojas y

Cuadro 4. Proteína cruda (PC) y digestibilidad in vitro (DIVMS) de hojas y tallos de *Andropogon gayanus*.

| Parte de la planta | PC (%) | DIVMS (%) | Observaciones (Referencia) |
|---|---|---|---|
| Hoja | 7.0 | 54.5 | Lámina de hoja expandida, y |
| Tallo | 3.1 | 55.2 | tallo sustentado por la misma lámina (Haggar y Ahmed, 1971). |
| Hoja | 6.4 | 53.3 | Muestras tomadas en |
| Tallo | 3.2 | 48.5 | pasturas bajo pastoreo, en época de lluvias (Böhnert et al., 1986). |
| Hoja | 6.7 | 45.8 | Muestras de forraje seleccionado |
| Tallo | 3.4 | 44.9 | por fistulados de esófago, en rebrote de seis semanas (Rodríguez, 1985). |

Cuadro 5. Composición de la pared celular y tasa de digestión in vitro de hojas y tallos de *Andropogon gayanus*.

| Parte de la planta[a] | FND[b] (%) | FAD[c] (%) | Lignina (%) | FNID[d] (%) | Tasa de digestión in vitro de la materia seca (% por hora) |
|---|---|---|---|---|---|
| Hoja | 76.6 | 44.4 | 9.5 | 19.5 | 2.3 |
| Tallo | 78.6 | 47.6 | 7.0 | 25.1 | 2.6 |

a. Rebrote de 6 semanas.
b. FND = Fibra neutra detergente.
c. FAD = Fibra ácida detergente.
d. FNID = Fibra neutra indigerible.

FUENTE: Rodríguez, 1985.

tallos, y no hubo por ello diferencias en la tasa de DIVMS. Sin embargo, si se analiza la proporción de fibra neutra indigerible, ésta resulta mayor en los tallos que en las hojas. Esto sugiere que, si bien la digestibilidad aparente de hojas y tallos de *A. gayanus* es similar, la digestibilidad verdadera de las hojas es mayor que la de los tallos. Por otra parte, el grado de digestión in vivo de hojas o tallos dependerá, en gran medida, de la velocidad de pasaje de los residuos no digeridos a través del tracto digestivo (Laredo y Minson, 1973).

No se encontraron estudios donde se hubiese medido el efecto de la fertilización nitrogenada en la digestibilidad de *A. gayanus;*

sin embargo, según otros trabajos hechos con gramíneas tropicales, no se esperarían cambios en digestibilidad debidos al nitrógeno (Alexander et al., 1961; Chapman y Kretschmer, 1964; Chacón et al., 1971; Minson, 1973).

Los resultados de los estudios revisados sugieren que, en general, la digestibilidad de *A. gayanus* es cercana a 54%, es decir, al promedio encontrado para un gran número de muestras de gramíneas tropicales (Minson y McLeod, 1970). Por otro lado, la caída de la digestibilidad de *A. gayanus* con la edad del rebrote es también similar a la hallada en otras gramíneas tropicales.

## Composición mineral

La importancia de los minerales en la nutrición de animales alimentados con pastos tropicales ha sido bien reconocida. El contenido de minerales de una gramínea está afectado por el suelo, la fertilización, la edad del tejido, y la parte de la planta. En el Cuadro 6 se resumen algunos trabajos en que se midió la concentración de fósforo (P) y de calcio (Ca) de *A. gayanus*, en suelos, niveles de fertilización, y épocas del año diferentes. En general, los resultados indican que los niveles de P son bajos, tanto en la época lluviosa como en la seca, e inferiores a los requerimientos sugeridos por el NRC (1963) para animales en crecimiento. Sin embargo, en un gran número de gramíneas tropicales se han encontrado deficiencias de P (McDowell et al., 1977), y no únicamente en *A. gayanus*. Los niveles de Ca de

Cuadro 6. Efecto de la época del año en el contenido de fósforo y de calcio de las hojas de *Andropogon gayanus*.

| Epoca del año | Fósforo (%) | Calcio (%) | Observaciones (Referencia) |
|---|---|---|---|
| Lluvia | 0.08 | 0.27 | Fertilización con 15 kg/ha de P |
| Sequía | - | - | (Haggar y Ahmed, 1970). |
| Lluvia | 0.14 | 0.39 | Fertilización con 50 kg/ha de P |
| Sequía | 0.10 | 0.32 | en un Ultisol. (Abaunza, 1982). |
| Lluvia | 0.11 | 0.29 | Fertilización con 20 kg/ha de P |
| Sequía | 0.09 | 0.35 | en un Oxisol. (Böhnert et al., 1986). |

*A. gayanus* no parecen cambiar mucho entre una y otra época del año, y son suficientes, según el NRC (1963), para llenar los requerimientos de los animales en crecimiento.

## Estudios de la gramínea bajo pastoreo

Para definir mejor la calidad y la productividad animal potencial de una especie forrajera, es importante hacer mediciones de la pastura sometida a pastoreo, a causa del consumo notoriamente selectivo que exhiben los animales. Un estudio muy completo fue realizado en los Llanos Orientales de Colombia por Böhnert et al. (1986) en pasturas de *A. gayanus* ya sea asociado con leguminosa (*S. capitata P. phaseoloides*) o ya solo, durante las épocas lluviosa (8 meses) y seca (4 meses), respecto a la calidad del forraje 'en oferta' y del forraje seleccionado por animales fistulados en el esófago. Los resultados se resumen en el Cuadro 7 e indican, como era de esperarse, una disminución de PC y DIVMS durante la época seca, tanto en el forraje en oferta como en el forraje seleccionado por los animales en pastoreo. Por otro lado, se halló que las hojas de *A. gayanus*

Cuadro 7. Calidad de las hojas de gramínea 'en oferta' y dieta seleccionada por animales fistulados en el esófago, en pasturas de *Andropogon gayanus* solo o asociado con leguminosas.[a]

| Pastura | Epoca del año | Hoja de gramínea en oferta | | Dieta seleccionada | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | PC (%) | DIVMS (%) | PC (%) | DIVMS (%) |
| *A. gayanus* | Lluvia | 6.4 | 53.3 | 8.5 | 55.2 |
| | Sequía | 4.7 | 45.3 | 4.9 | 48.0 |
| *A. gayanus* con *S. capitata* CIAT 1019 + 1315 | Lluvia | 8.2 | 56.4 | 10.2 | 56.2 |
| | Sequía[b] | 5.1 | 47.0 | 6.4 | 49.1 |
| *A. gayanus* con *P. phaseoloides* CIAT 9900 | Lluvia | 11.0 | 55.0 | 13.1 | 56.7 |
| | Sequía[c] | 7.7 | 47.4 | 12.0 | 48.4 |

a. PC y DIVMS: ver Cuadro 4.
b. Leguminosa en la dieta: 12.7%.
c. Leguminosa en la dieta: 77.5%.

FUENTE: Böhnert et al., 1986.

asociado con leguminosas tuvieron una DIVMS similar a la de sus hojas cuando se cultiva como gramínea sola; no obstante, los niveles de PC de las hojas de *A. gayanus* en esa asociación, particularmente en la época de lluvias, fueron mayores que en sus hojas cuando se cultivó como gramínea sola. Este resultado se relacionó con el reciclaje del N de la leguminosa.

La mejor calidad de *A. gayanus* en asociación con leguminosas se manifestó también en los altos niveles de PC (8.5% a 13.1%) en la dieta seleccionada durante la época de lluvias, y en las mayores ganancias de peso (687 g/A por día) respecto a la gramínea sola (454 g/A por día). Durante la época seca, el nivel de PC de *A. gayanus* en monocultivo fue deficiente tanto en las hojas en oferta como en la dieta seleccionada, y dio como resultado pérdidas de peso (-36 g/A por día). En contraste, la PC en la dieta seleccionada por el animal en pasturas de *A. gayanus* con leguminosas fue suficiente para que los animales ganaran peso durante la época seca ( $\geq$ 150 g/A por día); a este resultado contribuyó en forma directa la leguminosa, que en esta época fue seleccionada de preferencia por los animales en pastoreo.

En el estudio de Böhnert et al. (1986) se midió también el P y el Ca en el forraje total y en sus componentes (hojas, tallos) disponibles en las pasturas de *A. gayanus*, solo o asociado con leguminosas. Los resultados indicaron que, durante la época de lluvias, el nivel de P en las hojas de *A. gayanus*, la parte de la planta más consumida, fue algo mayor en las asociaciones (0.16%) que en el monocultivo (0.11%), aunque no hubo mayores diferencias en el contenido de Ca (0.29% y 0.32%, respectivamente). Durante la época seca, el nivel de P en las hojas de *A. gayanus* fue bajo tanto en las asociaciones (0.10%) como en las pasturas de la gramínea sola (0.08%).

Los resultados obtenidos en los Llanos de Colombia indican claramente que la calidad de una pastura de *A. gayanus* puede mejorar significativamente mediante la introducción de leguminosas. Estas contribuyen (directa o indirectamente) a aumentar los niveles de PC y de P en las hojas de la gramínea en la época de lluvias, y el nivel de PC en la dieta seleccionada durante la época seca. Sin embargo, aun en asociación con leguminosas, la digestibilidad de *A. gayanus* es baja y podría ser

un factor limitativo del consumo de energía y, por ende, de la producción animal.

## Consumo de *A. gayanus*

La cantidad de materia seca consumida por un animal es el principal factor determinante del valor nutricional de una especie forrajera. Entre los factores que pueden afectar el consumo se citan el grado de palatabilidad, la oferta o disponibilidad de forraje, la 'hojosidad' (abundante producción de hojas), y la madurez.[1]

### Palatabilidad

La definición de grado de palatabilidad es importante, ya que en algunas especies forrajeras se ha encontrado una relación positiva entre palatabilidad y consumo o entre palatabilidad y ganancia de peso (Marten, 1970). Los resultados de varios trabajos donde se evaluaba la palatabilidad de *A. gayanus* respecto a otras gramíneas tropicales se resumen en el Cuadro 8. En Brasil, por ejemplo, Mozzer et al. (1973) indicaron que la aceptabilidad de *A. gayanus* en estado de floración era baja comparada con la de otras cinco gramíneas, y similar a la de *M. minutiflora.* En estado vegetativo, en cambio, y durante la época seca, la aceptabilidad relativa de *A. gayanus* fue alta y similar a la de *P. maximum;* esta aceptabilidad relativa de *A. gayanus* en la época seca estuvo asociada a su mayor disponibilidad de materia verde en base seca (MVS), que es un reflejo de su tolerancia a la sequía. Estos resultados de Brasil concuerdan con los obtenidos en Ghana por Tetteh (1974) y en Colombia por Abaunza (1982); ambos estudios consideran un buen número de gramíneas en estado de crecimiento.

De los estudios revisados se puede concluir que la palatabilidad relativa de *A. gayanus* es alta, pero puede descender

1. Los términos 'hojoso' y 'hojosidad' (del inglés leafy, leafiness), aunque no han sido considerados aún en los diccionarios técnicos, se emplean aquí como tecnicismos. (N. del E.)

Cuadro 8. Palatabilidad de *Andropogon gayanus* en comparación con la de otras gramíneas tropicales.

| Gramíneas evaluadas[a] | Palatabilidad de *A. gayanus* (posición) | Observaciones (Referencia) |
|---|---|---|
| *P. maximum* (Colonio), *P. maximum* (Guinea)<br>*H. rufa, B. decumbens, M. minutiflora*<br>*A. gayanus* | Segunda ⟶ Forraje inmaduro<br>Sexta ⟶ Forraje florecido<br>Primera ⟶ Epoca seca | (Mozzer et al., 1973). |
| *P. maximum, S. sphacelata, P. scrobiculatum*<br>*D. decumbens, S. pyramidalis, V. fulvibarbis*<br>*B. lata, C. ciliaris, E. indica, A. compressus*<br>*H. contortus, D. aegyptium, A. gayanus* | Primera[b] | Evaluación en época de lluvias, con bovinos (Tetteh, 1974). |
| *B. humidicola, B. decumbens, B. brizantha*<br>*B. ruziziensis, H. rufa, P. maximum,*<br>*P. plicatulum, A. gayanus* | Primera[c] | Evaluación en época de lluvias, con rebrote de 6 semanas en todas las gramíneas (Abaunza, 1982). |

a. Géneros no mencionados antes: *Setaria sphacelata, Paspalum scrobiculatum, Digitaria decumbens, Sporobolus pyramidalis, Cenchrus ciliaris, Eleusine indica, Axonopus compressus, Heteropogon contortus, Dactyloctenium aegyptium, Vetiveria fulvibarbis,* y *Brachiaria lata.*

*b.* Palatabilidad similar a *P. maximum, S. sphacelata, P. scrobiculatum, D. decumbens, S. pyramidalis.*

*c.* Palatabilidad similar a *B. humidicola.*

considerablemente cuando la planta florece o tiene una proporción alta de material muerto.

## Madurez y nivel de oferta

Pocos trabajos sobre consumo de *A. gayanus* han sido comunicados en la literatura. En el Cuadro 9 se resumen los estudios en los cuales se midió el consumo de *A. gayanus* con ovinos o bovinos, bajo condiciones de estabulación y con niveles de oferta y estados de madurez de la planta diferentes. El consumo, medido en los ovinos, varió entre 48 y 74 g MS/kg$^{0.75}$ por día, resultado que se ajusta al rango (47 a 68 g MS/kg$^{0.75}$ por día) hallado por Minson (1971) en varias gramíneas tropicales. De los trabajos de Haggar y Ahmed (1970), Zemmelink et al. (1972), y CIAT (1982) es evidente que el consumo de *A. gayanus* es bajo cuando las plantas están en floración o ya maduras. También es evidente que existe un efecto notorio del nivel de oferta en el consumo de *A. gayanus*, tratándose de forraje tanto

Cuadro 9. Consumo de *Andropogon gayanus* determinado en animales estabulados.

| Nivel de oferta (g MS/kg$^{0.75}$ por día) | Consumo de MS (g MS/kg$^{0.75}$ por día) | Observaciones (Referencia) |
|---|---|---|
| Ad libitum[a] | 68 | Ovinos, forraje fresco (Miller y Rains, 1963). |
| Ad libitum[b] | 72 | Ovinos, planta inmadura |
| | 58 | Ovinos, planta en floración (Haggar y Ahmed, 1970). |
| 69 | 60 | Bovinos, planta inmadura |
| 93 | 80 | (Zemmelink et al., 1972). |
| 116 | 88 | |
| 69 | 38 | Bovinos, planta en floración |
| 93 | 47 | (Zemmelink et al., 1972). |
| 116 | 56 | |
| 101 | 48 | Ovinos, planta madura (CIAT, 1982). |
| 65 | 51 | Ovinos, planta con 6-8 semanas |
| 98 | 67 | de rebrote |
| 130 | 74 | (Guzmán, 1983). |

a. 10% de rechazo.
b. 25% de rechazo.

inmaduro como maduro. Incrementos de hasta dos veces la cantidad de forraje ofrecido han producido aumentos de más de 40% en el consumo de materia seca, según los datos que Zemmelink et al. (1972) obtuvieron con bovinos y Guzmán (1983) con ovinos. El aumento en consumo obtenido con niveles altos de oferta se explica por la mayor posibilidad del animal para seleccionar las hojas; éstas son más consumidas que los tallos, dada una misma digestibilidad (Minson, 1971; Laredo y Minson, 1973).

## 'Hojosidad'

La selección de gramíneas tropicales por su 'hojosidad' ha sido propuesta por varios investigadores, quienes argumentan la fuerte selectividad que manifiestan hacia las hojas los animales bajo pastoreo, y el mayor nivel de consumo de hojas en relación con los tallos. Esta preferencia por las hojas fue documentada por Böhnert et al. (1985) en ensayos hechos con *A. gayanus* en los Llanos Orientales de Colombia. En este estudio, el promedio de hojas en la gramínea en ofe a, en la época de lluvias, fue de 23%, mientras que en el forraje seleccionado por los animales fistulados en el esófago había un 89% de hojas. En la época seca, la proporción de hojas en el forraje en oferta fue únicamente de 10%, pero aun así los animales seleccionaron una dieta en que 37% eran hojas.

En diversos estudios se ha encontrado una gran variabilidad en el volumen de hojas de las plantas de *A. gayanus* CIAT 621 (CIAT, 1982). Con el fin de saber si la selección de *A. gayanus* respecto a la hojosidad pudiera favorecer la calidad y la productividad de esa gramínea, se realizaron en el CIAT tres estudios con clones de *A. gayanus* cuya relación hoja:tallo era diferente en todos; en el primero se midió el consumo por ovinos en jaula metabólica y en el segundo por bovinos en pastoreo; en el tercero se midió la ganancia de peso de los bovinos bajo pastoreo. Los resultados de los tres estudios se resumen en el Cuadro 10.

En el primer estudio (Guzmán, 1983) se suministró, a ovinos alojados en jaula metabólica, forraje fresco (rebrote de siete

Cuadro 10. Atributos de calidad de clones de *Andropogon gayanus* seleccionados según la 'hojosidad', y ganancias de peso obtenidas con ellos.

| Medición | Entrada de *A. gayanus* | | |
|---|---|---|---|
| | Clon 'hojoso' (muchas hojas) | Clon 'talloso'[a] (muchos tallos) | Testigo[b] |
| Estudio A (ovinos, jaula)[c] | | | |
| Proporción de hojas (%) | 67 | 27 | - |
| Consumo MS (g/kg.$^{0.75}$ por día) | 72 | 55 | - |
| Digestibilidad de MS (%) | 57 | 64 | - |
| Estudio B (bovinos, pastoreo)[d] | | | |
| Proporción de hojas (%) | | | |
| Oferta | 64 | 53 | 54 |
| Dieta | 91 | 84 | 87 |
| Consumo MS (kg/100 kg PV por día) | 1.4 | 1.6 | 1.7 |
| Digestibilidad de MS (%) | 53 | 57 | 58 |
| Estudio C (bovinos, pastoreo)[e] | | | |
| Proporción de hojas (%) | | | |
| Oferta | 62 | 46 | 48 |
| Dieta | 92 | 82 | 86 |
| Ganancia de peso (g/A por día) | 428 | 425 | 515 |

a. El término 'talloso' (del inglés stemmy), aunque no ha sido considerado en los diccionarios técnicos, se usa aquí como tecnicismo; 'tallosidad' aparece ocasionalmente. (N. del E.)
b. Cultivar comercial CIAT 621.
c. Guzmán (1983).
d. Rodríguez (1985).
e. Ortiz (1987).

semanas) de clones de *A. gayanus* de dos tipos, cuyos promedios de hoja en base seca eran 27% (clon abundante en tallos, 'talloso') y 67% (clon abundante en hojas, 'hojoso'). Los resultados indicaron que el consumo de materia seca en el segundo clon fue 30% mayor que en el primero, aunque su digestibilidad fue menor; este último resultado se relacionó con el menor tiempo de retención de los residuos no digeridos del clon hojoso en el tracto digestivo. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Minson (1971) en seis variedades de *Panicum*.

En el segundo estudio (Rodríguez, 1985) los mismos tipos de clones utilizados en la prueba con ovinos se sembraron para medir el consumo bajo pastoreo, y se incluyó en la prueba el cultivar comercial CIAT 621 como testigo. Los resultados indicaron que, si bien el clon hojoso tenía mayor proporción de hojas que las otras entradas en el rebrote de seis semanas, la

diferencia con el clon talloso no fue consistente entre un muestreo y otro, y fue menor a la obtenida por Guzmán (1983) en ensayos bajo corte. Por otro lado, y bajo una asignación similar de forraje (6 a 7 kg MVS/100 kg PV por día), no se encontraron diferencias significativas en consumo, digestibilidad y proporción de hojas en la dieta seleccionada; hubo, sin embargo, una tendencia hacia consumo y digestibilidad mayores en *A. gayanus* CIAT 621, el cultivar comercial, que en el clon hojoso.

La escasa diferencia en calidad atribuida a la hojosidad de *A. gayanus* sometido a pastoreo fue confirmada por Ortiz (1987). En este trabajo se hallaron ganancias similares de peso con las tres entradas evaluadas por Rodríguez (1985) en un sistema de pastoreo rotacional —7 días de ocupación y 21 días de descanso— y con una asignación de forraje, en promedio, de 11 kg MVS/100 kg PV por día para las tres entradas.

Mediciones complementarias hechas en el ensayo bajo pastoreo de Ortiz (1987) indicaron que, si bien la producción de MVS del clon hojoso fue, en promedio, similar a la del clon talloso y a la del cultivar comercial, el rendimiento de aquél en la época de mínima precipitación fue menor, y resultó en menores ganancias de peso comparado con las otras dos entradas. Por otro lado, se encontró que el contenido de PC y de componentes de la pared celular fueron similares en las hojas y en los tallos de las tres entradas de *A. gayanus* que se evaluaron.

Estos estudios sugieren que la selección de genotipos de *A. gayanus* respecto a la hojosidad no tendría gran impacto en la producción animal, por lo menos dentro del rango de presiones de pastoreo y de relaciones hoja:tallo considerado en los ensayos citados. Se reconoce, sin embargo, que la selección de genotipos de *A. gayanus* de mucha hojosidad redundaría en mayor facilidad de manejo de la gramínea bajo pastoreo, especialmente si es de floración tardía.

## Estudios de Producción Animal con *A. gayanus*

Los resultados sobre producción animal en pasturas de *A. gayanus* son escasos en la literatura. Con excepción de

estudios realizados en Nigeria, la mayor parte de la información sobre producción animal viene de estudios realizados a partir de 1978 en los Llanos de Colombia, en los Cerrados de Brasil, y en zonas de la Amazonia en Perú. La mayor parte de los estudios que se resumen a continuación se refieren a la ganancia de peso; sobre producción de leche se resume un solo trabajo.

## Ganancia de peso en pasturas de monocultivo

En Nigeria, *A. gayanus* constituye una alta proporción de la vegetación nativa de las sabanas (Rattray, 1968). El Cuadro 11 resume algunos trabajos en que se ha medido la ganancia de peso obtenida con ese pasto. En una sabana de Nigeria occidental con 66% de *A. gayanus,* p. ej., se obtuvieron aumentos en la ganancia de peso por hectárea, durante la época de lluvias, de 116 a 250 kg, habiendo aplicado 112 kg/ha de N (Adegbola et al., 1968). Este incremento estuvo asociado con los siguientes datos: tres veces más producción de forraje y dos veces más consumo de materia seca. En una región de sabana al norte de Nigeria, donde la precipitación, distribuida en 5 a 6 meses del año, varía entre 700 y 1200 mm, de Leeuw (1971) informó que la ganancia de peso de los animales que pastoreaban sabanas de *A. gayanus* no fertilizadas fue mayor (490 g/A por día) que la obtenida en otros pastos nativos (170 g/A por día). Asimismo, la capacidad de carga en las pasturas de *A. gayanus* fue mayor (1 a 2 A/ha) que en las pasturas nativas (0.62 A/ha), lo que da como resultado mayores ganancias de peso por hectárea.

En contraste con las sabanas de Africa, las pasturas nativas predominantes en las sabanas de América Latina son de muy baja calidad y toleran una capacidad de carga también muy baja; por consiguiente, en ellas las ganancias anuales de peso, por animal y por hectárea, son de 70 a 90 kg y de 15 a 20 kg, respectivamente (Paladines y Leal, 1979). Esta baja productividad de la sabana nativa se explica así: el consumo que hace el animal de nutrimentos digeribles es bajo, porque en las áreas quemadas, donde los animales pastorean de preferencia, la digestibilidad de forraje es baja y su disponibilidad escasa (Alvarez y Lascano, 1987). Por otro lado, en el trópico húmedo las pasturas nativas derivadas de la degradación de pasturas con especies introducidas

Cuadro 11. Producción animal obtenida en pasturas de *Andropogon gayanus* en monocultivo, bajo diferentes ambientes.

| Localización (Referencia) | Ganancia de peso | | | Observaciones |
|---|---|---|---|---|
| | (g/A . día) | (kg/A . año) | (kg/ha . año) | |
| Nigeria (Adegbola et al., 1968) | — | — | 116 a 250 | Sabana natural (66% de *A. gayanus*), sin fertilizar y con fertilización nitrogenada (112 kg/ha de N). |
| Zona de Guinea/Nigeria (de Leeuw, 1971) | 490 | | 84 a 95 | Pastoreo continuo, con cargas de 1.0 y 2.0 A/ha. |
| Llanos de Colombia, 1 (CIAT, 1981): | | | | |
| en lluvias | 365 a 472 | 90 - 119 | 285 a 396 | Pastoreo continuo, con cargas de 2.4, 3.4 y 4.4 A/ha, en un ecosistema de sabana (suelo Oxisol); 2 años de pastoreo. |
| en sequía | -84 a -99 | | | |
| Llanos de Colombia, 2 (CIAT, 1986): | | | | |
| en lluvias | 490 a 495 | 97 - 110 | 194 a 220 | Pastoreo continuo y rotacional, con 2 A/ha; 2 años de pastoreo. |
| en sequía | -150 a -250 | | | |
| Valle del Cauca, Colombia (Tergas et al., 1982) | 451 a 507 | 139 - 152 | 459 a 514 | Pastoreo continuo, con cargas de 3.3 y 3.7 A/ha, en un ecosistema de bosque semi-siempreverde (suelo Ultisol); 2 años de pastoreo. |

no adaptadas, tienen también niveles bajos de productividad animal (Toledo, 1984). Como alternativa para aumentar la productividad animal en estos ecosistemas, *A. gayanus* CIAT 621 fue liberado por el ICA en Colombia como cultivar 'Carimagua 1', por CPAC-EMBRAPA en Brasil como cultivar 'Planaltina', y por INIPA en Perú como cultivar 'San Martín'.

Los resultados de diversos ensayos de pastoreo con *A. gayanus* en monocultivo hechos en los Llanos Orientales de Colombia (CNIA de Carimagua) se resumen en el Cuadro 11. En un primer ensayo de corta duración, se probaron tres cargas (2.4, 3.4 y 4.4 A/ha) bajo pastoreo continuo (CIAT, 1981). Las mayores ganancias de peso por animal (119 kg/A por año) se obtuvieron con la carga baja (2.4 A/ha) y las menores (90 kg/A por año) con la carga alta (4.4 A/ha). Durante la época seca, los animales perdieron peso (-84 a -96 g/A por día) en todos los tratamientos de carga. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Tergas et al. (1982), bajo mejores condiciones ambientales, en una zona del Valle del Cauca de suelos ácidos (Ultisol), con un nivel alto de materia orgánica, y con poco estrés por sequía. En ese estudio, con cargas de 3.3 y 3.7 A/ha, bajo pastoreo continuo, se lograron incrementos de peso de 152 y 139 kg/A por año, respectivamente; de ahí resultaron altas ganancias de peso por hectárea (459 a 514 kg/ha por año).

Estudios más recientes hechos en Carimagua con *A. gayanus* en monocultivo (CIAT, 1986) en los que se ha medido la productividad de la pastura bajo pastoreo continuo y rotacional (7 días de ocupación/21 días de descanso), con una misma carga (2 A/ha), indican que hay mayor disponibilidad de forraje en el pastoreo rotacional. Estas diferencias en la productividad de la biomasa relacionadas con el sistema de pastoreo han llevado a la suspensión del pastoreo durante el período seco en el tratamiento continuo, no así en el rotacional a pesar de que en éste hay fuertes pérdidas de peso (-150 a -250 g/A por día). Durante la época de lluvias, las ganancias de peso han sido similares en ambos sistemas de pastoreo; sin embargo, después de dos años bajo pastoreo continuo con 2 A/ha, las pasturas muestran un alto nivel de degradación, tanto en términos de su vigor y del número de macollas de *A. gayanus* como por la invasión de especies nativas.

Los resultados de estos estudios sugieren que para mantener, en las condiciones climáticas y edáficas de los Llanos de Colombia, la productividad de *A. gayanus* en monocultivo a través del tiempo, es necesario implementar sistemas de pastoreo que incluyan alguna rotación de potreros, sobre todo si se aplican cargas fijas de 2 A/ha o mayores.

Según los resultados experimentales, en la sabana alta bien drenada de los Llanos de Colombia se podrían cebar animales con *A. gayanus* únicamente durante la época de lluvias, con ganancias cercanas a los 500 g/A por día, que resultarían en una ganancia estacional de 110 kg/A. Sin embargo, estos resultados no son muy diferentes de los que se obtienen con *B. decumbens*, gramínea ampliamente difundida en los Llanos de Colombia. Otros estudios hechos con esta gramínea sin asociarla con leguminosas (CIAT, 1986) indican ganancias de peso del orden de 120 kg/A al año, bajo pastoreo continuo, y con cargas variables según la época del año (2 A/ha en las lluvias y 1 A/ha en la época seca).

## Ganancia de peso en pasturas de asociación gramínea-leguminosa

De la sección anterior se infiere que, en la sabana de los Llanos de Colombia en que hay fuertes períodos de sequía, las gramíneas mejoradas, en monocultivo, no poseen la calidad suficiente para mantener un crecimiento efectivo durante todo el año. Además, se sabe ya que la asociación de gramíneas con leguminosas contribuye a aumentar en forma significativa la calidad del forraje en oferta, tal como se discutió anteriormente.

Una de las características de *A. gayanus* es su hábito de crecimiento erecto y en macollas, que lo hace potencialmente compatible con las leguminosas, a diferencia de otras gramíneas de hábito de crecimiento estolonífero. Esta compatibilidad con las leguminosas ha estimulado la evaluación de varias asociaciones bajo pastoreo, tanto en condiciones de sabana como de bosque húmedo tropical en América Latina.

**En los Llanos Orientales de Colombia.** En el Cuadro 12 se presentan los resultados de estudios de pastoreo de *A. gayanus*

Cuadro 12. Producción animal en asociaciones de *Andropogon gayanus* con leguminosas en los Llanos Orientales de Colombia.

| Asociación de *A. gayanus* con: | Ganancia anual de peso en el año: | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1979 | | 1980 | | 1981 | | 1982 | | Media (1979-1982) | |
| | (kg/A) | (kg/ha) | (kg/A) | (kg/ha) | (kg/A) | (kg/ha) | (kg/A) | (kg/ha) | (kg/A) | (kg/ha) |
| *S. capitata* CIAT 1019 + 1315 | 233 | 367 | 178 | 238 | 200 | 349 | 109 | 184 | 180 | 285 |
| *S. capitata* CIAT 1405 | 196 | 372 | 192 | 324 | 173 | 291 | 145 | 145 | 177 | 283 |
| *Z. latifolia* CIAT 728 | 242 | 453 | 184 | 223 | 126 | 126 | 88 | 88 | 160 | 222 |
| *P. phaseoloides* CIAT 9900 | 221 | 419 | 190 | 322 | 191 | 310 | 89 | 126 | 173 | 294 |

FUENTE: Tergas et al., 1984.

asociado con leguminosas hechos en los Llanos de Colombia durante varios años (Tergas et al., 1984). En un experimento establecido en 1978 en el CNIA de Carimagua, se sometió a *A. gayanus* en asociación con cuatro leguminosas a un sistema de pastoreo continuo con cargas variables según la época del año (1.6 A/ha en la época de lluviasy 1.2 A/ha en la época seca). Las ganancias de peso fluctuaron entre 88 y 242 kg/A por año, cuando la gramínea estaba asociada con *Zornia latifolia* CIAT 728. Durante los dos primeros años, esta asociación produjo ganancias individuales muy altas (760 g/A por día), pero por un ataque de *Sphaceloma zorniae* la leguminosa desapareció al final del segundo año lo que explica las bajas ganancias de los años siguientes. Las ganancias de peso de la asociación de *A. gayanus* con ecotipos de *S. capitata* variaron entre 109 y 233 kg/A por año; las ganancias más bajas se obtuvieron en el cuarto año, cuando la contribución de *S. capitata* se redujo a un 8% de la materia seca disponible. Las ganancias de peso de la asociación *A. gayanus* + *P. phaseoloides* fueron muy altas hasta el tercer año, mientras existió un buen equilibrio entre gramínea y leguminosa; sin embargo, al cuarto año esas ganancias se redujeron considerablemente a consecuencia de una dominancia de leguminosa (85%) en la mezcla.

El comportamiento de los animales en la época seca fue excelente durante el ensayo, y en el cuarto año se lograron ganancias de peso de 302 y 456 g/A por día en las asociaciones del pasto con *S. capitata* y *P. phaseoloides,* respectivamente, resultado que indica la intensa selección que los animales hicieron de la leguminosa (Böhnert et al., 1985).

El efecto positivo de las leguminosas en la calidad de las pasturas de *A. gayanus* y en la producción animal obtenida en ellas, bajo las condiciones de los Llanos de Colombia, fue documentado también en otros ensayos de pastoreo en que se ha incluido el monocultivo como control. En pasturas de *A. gayanus* con *S. capitata* se sembraron, después de tres años de pastoreo, franjas de *C. brasilianum* CIAT 5234 y de *C. macrocarpum* CIAT 5065. Los resultados (Cuadro 13) indicaron que en esas asociaciones —en pastoreo continuo o rotacional, con 2 A/ha— los animales mantenían generalmente su peso durante la época

Cuadro 13. Producción animal en pasturas de *Andropogon gayanus* asociadas con leguminosas.

| Localización (Referencia) | *A. gayanus* asociado con: | Ganancia de peso (g/A.día) En sequía | Ganancia de peso (g/A.día) En lluvias | Observaciones |
|---|---|---|---|---|
| Llanos de Colombia, Carimagua | *C. macrocarpum* CIAT 5065 + *S. capitata* CIAT 1019 | -40 a 39 | 569 a 708 | Pastoreo continuo o rotacional (7 días de ocupación y 21 días de descanso), con 2 A/ha; |
| (CIAT, 1986) | *C. brasilianum* CIAT 5234 + *S. capitata* CIAT 1315 | 34 a 49 | 661 a 667 | 2 años de pastoreo. |
| | *S. scabra* cv. seca | -59 a 119 | 316 a 367 | Pastoreo continuo con 0.5, 1.0 y 1.5 A/ha; 3 años de pastoreo. |
| | *Z. latifolia* CIAT 728 | 55 | 600 | Pastoreo continuo con terneros de destete precoz; 1.1 A/ha; 1 año de pastoreo |
| Cerrados de Brasil, Brasilia | *S. guianensis* CIAT 2243 (CPAC 135) | 71 a 159 | 515 a 708 | |
| (CIAT, 1984; 1985) | *S. capitata* CIAT 1019 (CPAC 704) | 4 a 122 | 410 a 675 | Pastoreo continuo con cargas de 0.69, 0.93 y 1.13 A/ha (época seca) y 1.04, 1.37, 1.62 A/ha (época de lluvias); 2 años de pastoreo. |
| | *S. capitata* CIAT 1097 (CPAC 706) | 39 a 117 | 653 a 724 | |
| | *S. macrocephala* CIAT 1281 (CPAC 139) | 0 a 58 | 683 a 704 | |
| Bosque tropical lluvioso Yurimaguas, Perú | *C. pubescens* CIAT 438 | 389 a 553 (año) | | Pastoreo alterno de 42 días de descanso y ocupación, con una presión de pastoreo de 3 kg MVS/100 kg PV por día; 3-4 años de pastoreo. |
| (Reátegui et al.,1985) | *S. guianensis* CIAT 136 | 219 a 570 (año) | | |

seca. Hubo, en cambio, pérdidas de peso durante este período en pasturas de *A. gayanus* sin leguminosa bajo pastoreo rotacional. Durante la época de lluvias, las ganancias de peso en las asociaciones (654 g/A por día) han sido un 33% mayores que en el monocultivo (492 g/A por día), independientemente del sistema de pastoreo.

**En los Cerrados de Brasil.** La evaluación de las asociaciones de *A. gayanus* con leguminosa realizada en las sabanas isotérmicas de Brasil se resumen en el Cuadro 13. Estos trabajos se llevan a cabo en una estación de EMBRAPA en los Cerrados, a 35 km de Brasilia, que se caracteriza por una precipitación de 1573 mm al año distribuida, en un 90%, entre octubre y marzo. Los resultados de un primer ensayo con *A. gayanus* asociado con *S. scabra* cv. seca indicaron ganancias máximas de 367 g/A por día durante la época de lluvias, con una carga de 1.2 A/ha (CIAT, 1984); estos resultados reflejan, en cierta medida, problemas de salud que padecieron los animales experimentales. En otro estudio de corto plazo, una asociación de *A. gayanus* con *Z. latifolia* CIAT 728 produjo ganancias de peso de 600 g/A por día durante el período lluvioso y de 55 g/A por día durante la época seca, con 1.1 A/ha (CIAT, 1985).

En la misma estación experimental del Cerrado, en Brasil, se sembraron en 1981 asociaciones de *A. gayanus* con *S. guianensis* var. *pauciflora* CIAT 2243 (CPAC 135), con *S. capitata* CIAT 1097 (CPAC 706), con *S. capitata* CIAT 1019 (CPAC 704), y con *S. macrocephala* CIAT 1281 (CPAC 139). Como tratamientos de manejo de las pasturas se aplicaron tres cargas animales (variables según la época del año) en un sistema de pastoreo continuo. Los resultados del Cuadro 13 indican que las ganancias de peso han estado relacionadas con la época del año y con la carga animal. Tanto en la estación seca de 1983 como en la de 1984, los animales mantuvieron su peso o lo aumentaron; las mayores ganancias se obtuvieron con la carga baja (0.69 A/ha) en las asociaciones de la gramínea con *S. guianensis* var. *pauciflora* CIAT 2243, con *S. capitata* CIAT 1019 y con *S. capitata* CIAT 1097. Estos datos coincidieron con la proporción más alta de leguminosa (20%), tanto en el forraje disponible como en el seleccionado por los fistulados en el

esófago. En la época de lluvias, la ganancia de peso fue similar en las cuatro asociaciones y fluctuó entre 565 y 703 g/A por día para cargas alta y baja, respectivamente; resultados semejantes se obtuvieron en los Llanos Orientales de Colombia.

**En el bosque tropical lluvioso.** En un ecosistema de bosque tropical lluvioso, en Yurimaguas, Perú —caracterizado por sus suelos ácidos (Ultisol) y por una precipitación anual de 2300 mm, en promedio, sin un período fuerte de sequía— se evaluaron durante 3 ó 4 años pasturas asociadas de *A. gayanus* con *C. pubescens* CIAT 438 y *S. guianensis* CIAT 136, en un sistema de pastoreo alterno (42 días de ocupación y descanso) y con una asignación de forraje constante que fue, en promedio, de 3 kg MVS/100 kg PV por día. Los resultados fueron publicados por Reátegui et al. (1985) y se resumen en el Cuadro 13; indican mayores ganancias de peso, a través de los años, en la asociación con *C. pubescens* CIAT 438 (459 g/A por día y 639 kg/ha por año) que en la asociación con *S. guianensis* CIAT 136 (367 g/A por día y 512 kg/ha por año, en promedio. Estas diferencias se relacionaron con una mayor proporción de *C. pubescens* ($\geq$ 70%) que de *S. guianensis* (10%-40%) en el forraje disponible, y posiblemente también con una mayor calidad —por la menor edad de rebrote que resultaba del pastoreo selectivo hacia la gramínea— de *A. gayanus* asociado con *C. pubescens.*

Es posible que la productividad de estas asociaciones de diversas leguminosas con *A. gayanus* se haya subestimado en este estudio a causa del sistema de pastoreo alterno empleado; éste favorece un exceso de leguminosa en un caso o una sobremaduración de la gramínea en el otro. Sistemas de pastoreo rotacional con 3 ó 4 potreros permitirían reducir los períodos de descanso y, por ende, elevarían la calidad de la gramínea y contribuirían también a mantener un mejor equilibrio entre gramínea y leguminosa en la pastura.

**Ganancia de peso en pasturas asociadas: conclusión.** Los resultados de producción animal en las asociaciones de *A. gayanus* con leguminosas, obtenidos en ecosistemas de sabana en los Llanos de Colombia y en los Cerrados de Brasil, indican claramente que durante la época de lluvias se pueden lograr ganancias de peso del orden de 650 g/A por día, con cargas entre

1.5 y 2 A/ha, y en sistemas de pastoreo continuo o rotacional. Más aún, durante la época seca es factible obtener ganancias de peso con cargas bajas (1 A/ha) o mantener el peso de los animales con cargas más altas (2 A/ha). Estos valores, traducidos a producción anual, señalan ganancias potenciales de peso de 150 kg/A al año y de 300 kg/ha al año, que representan un aumento de alrededor de 35% sobre la productividad de *A. gayanus* en monocultivo. En ecosistemas de bosque tropical lluvioso, por su parte, la producción animal en las asociaciones descritas ha sido similar a la obtenida en los ecosistemas de sabana, aunque la productividad por hectárea (500-600 kg/ha al año) resultó muy superior a la de éstos; este resultado refleja la mayor capacidad de carga del bosque tropical lluvioso a lo largo del año, pues no hay en él períodos de estrés por sequía muy fuertes o prolongados.

## Producción de leche en pasturas asociadas

No se encontraron trabajos publicados sobre la producción de leche en pasturas de *A. gayanus*. Se obtuvo, sin embargo, información[2] sobre el trabajo finalizado en Tarapoto, Perú, en el cual se midió durante un año la producción de leche con criterio experimental en dos pasturas. El trabajo se desarrolló en la Escuela Superior de Educación Profesional (ESEP), en Tarapoto, en un ecosistema de bosque tropical semi-siempreverde estacional, con una precipitación de 1230 mm bien distribuida a lo largo del año. La prueba incluyó una comparación de la asociación *A. gayanus* + *C. pubescens* con *B. decumbens* + nitrógeno (184 kg/año), en un sistema de pastoreo rotacional de 3 a 3.5 días de ocupación y 39 a 49 días de descanso. La producción de leche de las vacas Cebú x Pardo Suizo fue mayor en la pastura de *A. gayanus* + *C. pubescens* que en la de *B. decumbens* + N, en la época de máxima precipitación (10.3 contra 8.4 kg/vaca al día), y no presentó diferencias en la época de mínima precipitación (6.7 y 7.3 kg/vaca al día, respectivamente). Partiendo de estos resultados, los autores han recomendado el uso de *A. gayanus* + *C. pubescens* para la

2. Pérez R. y López, N. Comunicación personal.

producción de leche a nivel comercial en la zona de Tarapoto, Perú.

## Resumen

Los trabajos revisados permiten inferir que la calidad nutricional de *A. gayanus* está dentro del rango en que se halla la de otras gramíneas tropicales, siendo tal vez el aspecto más limitativo su digestibilidad media. Como en otras gramíneas tropicales, el grado de madurez ocasiona pérdidas en proteína cruda (- 0.9%/semana) y digestibilidad (-1.5%/semana) en las hojas de *A. gayanus,* así como una reducción en su consumo por el animal. Por otra parte, el nivel de fósforo (0.08%-0.14%) de los tejidos de *A. gayanus* es bajo aun en la época de lluvias y con fertilización fosforada, resultado que haría necesaria la suplementación de este elemento a animales con altos requerimientos de P, como los que están en crecimiento o lactancia.

La calidad de *A. gayanus* puede mejorar significativamente si se asocia con leguminosas; éstas contribuyen, en forma directa o indirecta, a aumentar el nivel de proteína (6% a 11%) y de P (0.11% a 0.16%) de la gramínea en oferta y de la dieta seleccionada. Sin embargo, aun en la asociación con leguminosas, la digestibilidad (50%) de *A. gayanus* puede limitar la producción animal. Por otra parte, el mejoramiento de la calidad de *A. gayanus* mediante la selección de genotipos por su 'hojosidad' no se ha demostrado aún en condiciones de pastoreo. Sin embargo, se postula que los genotipos de *A. gayanus* cuya proporción de hojas sea alta podrían facilitar el manejo de esta gramínea bajo pastoreo.

La productividad animal en las pasturas de *A. gayanus* en ecosistemas de sabana es baja, fluctuando entre 90 y 120 kg/A al año según la carga empleada. Este rango refleja las fuertes pérdidas de peso ocurridas durante los meses secos del año, y las ganancias moderadas obtenidas durante la época de lluvias. La introducción de leguminosas en la pastura permite lograr ganancias de peso del orden de 150 kg/A al año, con cargas

moderadas (1.5 a 2 A/ha) en los ecosistemas de sabana y con cargas más altas en los ecosistemas de bosque tropical lluvioso.

La productividad a largo plazo de las pasturas a *A. gayanus* ha sido poco estudiada. Sin embargo, según las experiencias adquiridas en los Llanos Orientales de Colombia es evidente que, para lograr mayor persistencia de esas pasturas, es necesario emplear algún sistema de pastoreo rotacional cuando se aplican cargas de 2 A/ha o mayores, durante todo el año.

## Referencias


Abaunza, J. A. 1982. Growth and quality of nine tropical grasses and twelve tropical legumes under dry and rainy season conditions. Tesis (M.Sc.). New Mexico State University, Las Cruces, NM, E.U. 128 p.

Adegbola, A. A.; Onayinka, O. O. y Eweje, J. K. 1968. The management and improvement of natural grasslands in Nigeria. Nigerian Agric. J. 5:5-6.

Alcántara, V. de B. G.; Pedreira, J. V. S.; de Mattos, H. B. y de Almeida, J. E. 1981. Medidas in vitro de valores nutritivos de Capim; I: produção e digestibilidade in vitro de vinte e cinco capins durante o outono e o inverno. Bol. Ind. Anim. 38(2):155-176.

Alexander, R. A.; Henteges, J. F.; McCall, J. T.; Lundy, H. W.; Gammon, N. y Blue, W. G. 1961. The nutritive value of fall-harvested coastal Bermuda grass hay as affected by rate of nitrogen fertilization and stage of maturity. J. Anim. Sci. 20:93-98.

Alvarez, A. y Lascano, C. 1987. Valor nutritivo de la sabana bien drenada de los Llanos Orientales de Colombia. Pastur. Trop. Bol. (CIAT) 9(3):9-17.

Böhnert, E.; Lascano, C. y Weniger, J. H. 1986. Botanical and chemical composition by fistulated steers under grazing on improved grass-legume pastures in the tropical savannas of Colombia; II: chemical composition of forage available and selected. Sonderd. Z. Tierz. Züchtungsbiol. 103:69-79.

———; ——— y ——— 1985. Botanical and chemical composition of the diet selected by fistulated steers under grazing on improved grass-legume pastures in the tropical savannas of Colombia; I: botanical composition of forage available and selected. Z. Tierz. Züchtungsbiol. 102:385-394.

Carver, L. A.; Barth, K. M.; McLaren, J. B.; Fribourg, H. A.; Connell, J. T.; y Bryan, J. M. 1975. Nutritive value of Midland Bermuda pastures. J. Anim. Sci. 40:183.

Chacón, E.; Rodríguez-Carrasquez, S. y Chicco, C. F. 1971. Efecto de la fertilización con nitrógeno sobre el valor nutritivo del pasto colorado *(Panicum coloratum).* Agron. Trop. (Maracay) 21:496-502.

Chapman, H. T. y Kretschmer, A. E. 1964. Effect of nitrogen fertilizer on digestibility and feeding value on Pangola grass hay. Soil Crop. Sci. Soc. Fl. Proc. 24:176-183.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1986. Calidad y productividad de pasturas. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1985. Cali, Colombia. p. 295-317.

———. 1985. Agronomía, Cerrados. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1984. Cali, Colombia. p. 43-50.

———. 1984. Pasturas en sistemas de producción animal (Cerrados). En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1982. Cali, Colombia. p. 291-306.

———. 1982. Calidad de pasturas y nutrición. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1981. Cali, Colombia. p. 209-236.

———. 1981. Fertilidad del suelo y nutrición de las plantas. En: Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1980. Cali, Colombia. p. 57-68.

de Leeuw, P. N. 1971. The prospects of livestock production in the northern Guinea zone savannas. Samaru Agric. Newsl. 13:124-133.

Guzmán, S. 1983. Evaluación de la calidad forrajera de tres genotipos de *Andropogon gayanus* Kunth. Tesis (M. Sc.). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. 83 p.

Haggar, R. J. 1975. The effect of quantity, source and time of application of nitrogen fertilizers on the yield and quality of *Andropogon gayanus* at Shika, Nigeria. J. Agric. Sci. 84:529-535.

——— y Ahmed, M. B. 1971. Seasonal production of *Andropogon gayanus;* 3: changes in crude protein content and in vitro dry matter digestibility of leaf and stem portions. J. Agric. Sci. 77:47-52.

——— y ———. 1970. Seasonal production of *Andropogon gayanus;* 2: seasonal changes in digestibility and feed intake. J. Agric. Sci. 75:369-373.

Laredo, M. A. y Minson, D. J. 1973. The voluntary intake, digestibility and retention time by sheep of leaf and stem fractions of five grasses. Aust. J. Agric. Res. 24:875-888.

Marten, G. C. 1970. Measurement and significance of forage palatability. En: Barnes, R. F., Clamton, D. C., Gordon, C. H., Klopfenstein, T. J. y Waldo, D. R. (eds.). Proceeding of the National Conference on Forage Quality Evaluation and Utilization. Nebraska Center for Continuing Education, Lincoln, NE, E.U. p. D-1 hasta D-55.

McDowell, L. R.; Conrad, J. H.; Thomas, J. E.; Harris, L. E. y Fick, K. R. 1977. Nutritional composition of Latin American forages. Trop. Anim. Prod. 2:273-279.

Milford, R. 1960. Nutritional value of subtropical pasture species under Australian conditions. En: Eighth International Grassland Congress, Berkshire julio 1960. Memorias. Alden Press, Oxford, Inglaterra. p. 474-479.

Miller, T. B. y Rains, A. B. 1963. The nutritive value and agronomic aspects of some fodders in northern Nigeria; 1: fresh herbage. J. Br. Grassl. Soc. 18(2):158-167.

Minson, D. J. 1973. Effect of fertilization nitrogen on digestibility and voluntary intake of *Chloris gayana, Digitaria decumbens* and *Pennisetum clandestinum*. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 13:153-157.

———. 1971. The nutritive value of tropical pasture. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 37:255-263.

——— y McLeod, M. N. 1970. The digestibility of temperate and tropical grasses. En: Eleventh International Grassland Congress, Melbourne, Australia. Memorias. University of Queensland, St. Lucia, Qld. Australia. p. 719-722.

Mozzer, O. L.; de Carvalho, M. M y Gontijo, V. de P. M. 1973. Produção e palatabilidade de seis gramíneas tropicais em solo sob cerrado. Boletim técnico no. 21. Instituto de Pesquisa Agropecuária do Centro Oeste, Sete Lagoas, MG, Brasil, 6 p.

NRC (National Research Council). 1963. Nutrient requirements of beef cattle. Publication 1137. Washington, DC.

Ortiz, M. C. 1987. Productividad animal y calidad de clones de *Andropogon gayanus* Kunth bajo pastoreo. Tesis (M.S.). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. 98 p.

Osare, E. O. 1975. Notes on the palatability of some tropical grasses and legumes at two stages of maturity. Ghana J. Agric. Sci. 8:243-247.

Oyenuga, V. A. 1957. The composition and agricultural value of some grass species in Nigeria. Emp. J. Exp. Agric. 25(99):237-255.

Paladines, O. y Leal, J. A. 1979. Manejo de pasturas y producción forrajera en los Llanos Orientales de Colombia. En: Sánchez, P. A. y Tergas, L. E. (eds.). Producción de pasturas en los suelos ácidos tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 313-327.

Pedreira, J. V. S.; Nuti, P. y do Espiritu Santo, B. 1975. Competição de capins para produção de materia seca. Bol. Ind. Anim. 32(2):319-323.

Rattray, J. M. 1960. La cubierta herbácea de Africa FAO: Estudios agropecuarios no. 49. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma. p. 168.

Reátegui, K.; Ara, M. y Schaus, R. 1985. Evaluación bajo pastoreo de asociaciones de gramíneas y leguminosas forrajeras en Yurimaguas, Perú. Pasturas Trop. Bol. 7(3):11-14.

Rodríguez, J. C. 1985. Evaluación bajo pastoreo de la calidad nutritiva de genotipos de *Andropogon gayanus* Kunth. Tesis (M.S.). Universidad de Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 114 p.

Sierra, A. y Mesa, M. A. 1980. Estudio de comportamiento, valor nutritivo y producción de materia seca del pasto Carimagua *(Andropogon gayanus)*. Tesis. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia. 46 p.

Tergas, L. E.; Paladines, O.; Kleinheisterkamp, I. y Velásquez, J. 1984. El potencial de producción animal de cuatro asociaciones de *Andropogon gayanus* Kunth en los Llanos Orientales de Colombia. Prod. Anim. Trop. 9:176-186.

———; Ramírez, A.; Urrea, G. A.; Guzmán, S. y Castilla, C. 1982. Productividad animal potencial y manejo de praderas en un Ultisol de Colombia. Prod. Anim. Trop. 7:1-8.

Tetteh, A. 1974. Preliminary observations on preference of herbage species by cattle, sheep and goats grazing on range on the Achimoka Experimental Farm. Ghana J. Agric. Sci. 7:191-194.

Toledo, J. M. 1984. Pasturas en trópico húmedo: perspectiva global. Trabajo presentado en el Symposium on the Humid Tropics, noviembre 1983, Belém, Pará, Brasil. 35 p.

Zemmelink, G.; Haggar, R. J. y Davies, J. H. 1972. A note on the voluntary intake of *Andropogon gayanus* hay by cattle, as affected by level of feeding. Anim. Prod. 15(1):85-88.

# PRODUCCION DE SEMILLA DE *ANDROPOGON GAYANUS*

John E. Ferguson*

## Introducción

El objetivo de este capítulo es resumir las experiencias hechas con *Andropogon gayanus* en las siguientes actividades: multiplicación y producción comercial de su semilla, investigación de apoyo para estas dos actividades, y revisión de la literatura sobre estos temas.

## Biología Reproductiva

La gramínea *Andropogon gayanus* se reproduce sexualmente. La fertilización cruzada de esta gramínea ocurre principalmente por polinización eólica (Foster, 1962).

El factor principal que influye en la floración es el fotoperíodo. Tompsett (1976) estudió la respuesta de la floración de *A. gayanus* a diferentes fotoperíodos, y concluyó que es una especie de días cortos cuyo fotoperíodo crítico oscila entre 12 y 14 horas. Las plantas de menos de seis semanas de edad presentan una fase inmadura en la cual no son estimuladas a florecer por el fotoperíodo inductivo. Se requirieron, como mínimo, cinco ciclos inductivos consecutivos para inducir la iniciación floral. Tompsett (1976) informó también que la temperatura óptima de floración era 25 $^{0}$C y que las temperaturas

* John E. Ferguson es agrónomo, sección de Producción de Semilla del Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia.

nocturnas inferiores a 20 °C retrasaban notoriamente la floración de esa gramínea.

Foster (1962) informó que la floración de esta gramínea suele permanecer en la planta durante 60 días, aproximadamente, en tanto que Mishara y Chatterjee (1968) observaron que la emergencia de la espiga duraba cuatro semanas. *A. gayanus* cv. Planaltina fue estudiado en Brasil (latitud 15° S) por de Andrade et al. (1983), quienes informaron que, en esa área, la variación en la fecha del inicio de la floración, en tres años consecutivos después de sembrado el pasto, era escasa; que cada año había un aumento rápido (sin exceder de una semana) hasta la máxima floración; que el porcentaje de macollas fértiles oscilaba entre 50% y 80%; que la densidad de las inflorescencias era de 200 a 275/m$^2$; y que el tiempo entre la primera floración y la madurez de cosecha se hallaba en un rango de 36 a 44 días. En Goiânia, Brasil (latitud 16° S), la madurez de cosecha ocurrió de 32 a 38 días después del inicio de la floración (Conde et al., 1984a) y en Cali (latitud 3° N), a los 29 días después de la máxima floración (CIAT, 1980). En Nigeria, en un cultivo de cuatro años de edad, el porcentaje de macollas fértiles fue de sólo 20%; sin embargo, esas macollas fértiles se habían formado pronto en la época de crecimiento (Haggar, 1966). Haggar informó también sobre una fuerte respuesta positiva de la densidad de las inflorescencias a la aplicación de nitrógeno.

## Prácticas Culturales

Las prácticas culturales más importantes para la producción de semilla en la época del establecimiento comprenden la densidad de siembra, la fecha de siembra, y la aplicación de los fertilizantes.

Tanto Bowden (1963) como Ferguson (1981) hacen referencia a la densidad de siembra (kg/ha) de la semilla pura que germina (SPG). Ferguson (1981) proporcionó guías para utilizar cualquier lote de semillas, según se desee uno de tres niveles de población de plantas así como el nivel de riesgo involucrado en esa operación, mediante la siguiente fórmula:

$$\left[\begin{array}{l}\text{Densidad de siembra}\\ \text{para un lote de}\\ \text{semilla (kg/ha)}\end{array}\right] = \frac{\text{SPG recomendado (kg/ha) x 100}}{\text{SPG en lote de semilla}}$$

Las cantidades recomendadas oscilaron entre 0.75 y 1.25 kg/ha de SPG. Asumiendo los valores promedio referidos en el Cuadro 1, la semilla de las clases cruda y clasificada tiene un promedio de SPG de 6% y 20%, respectivamente. Una amplia experiencia de campo ha indicado que las densidades de siembra de 10 a 15 kg/ha, para la semilla cruda, y de 4 a 5 kg/ha, para la semilla clasificada, resultaron en un establecimiento satisfactorio de la gramínea, en condiciones normales.

Cuadro 1. Composición de dos clases contrastantes de semilla de *Andropogon gayanus* según el grado de beneficio que reciban.

| Características | Semilla cruda[a] | | Semilla clasificada[b] | |
|---|---|---|---|---|
| | Promedio | Rango | Promedio | Rango |
| Del lote de semilla | | | | |
| Contenido de semilla pura, en peso (%) | 20 | 5-35 | 40 | 25-60 |
| Materia inerte, en peso (%) | 80 | 65-96 | 60 | 40-75 |
| Densidad de la masa de semilla (kg/m$^3$) | 40 | 34-45 | 60 | 50-70 |
| Contenido de semilla pura que germina, SPG, en promedio (%) | 6 | 0.5-17.5 | 20 | 5-48 |
| De las espiguillas sésiles | | | | |
| Espiguillas aristadas, en número (%) | 80 | 70-90 | 20 | 5-30 |
| Espiguillas llenas[c], en número (%) | 25 | 10-40 | 40 | 30-60 |

a. Antes de la limpieza previa o con una limpieza mínima antes del acondicionamiento (prelimpieza).
b. Después de recibir la secuencia completa del beneficio.
c. 'Llena' se refiere a la presencia de la cariópside.

FUENTE: García y Ferguson, 1984.

En cualquier región geográfica, la duración del ciclo de crecimiento de la planta determina la expansión y la productividad de las áreas productoras de semilla. Cuando el objetivo es obtener un alto rendimiento de semilla en los años de establecimiento de la gramínea, se requiere un período de desarrollo de cuatro meses, como mínimo, entre la emergencia de la plántula y el tiempo de inducción de la floración. Las siembras tardías, en que no se presenta este período mínimo, determinan un menor rendimiento potencial de semilla.

Las áreas sembradas para la producción de semilla responderán generalmente a los fertilizantes en proporción a la fertilidad natural del suelo. Los nutrimentos que darían una respuesta son N, P, K y S. Las cantidades de nutrimentos que se requieran sólo pueden calcularse mediante la investigación y la experiencia hechas a nivel local.

Las áreas en rebrote tienen una población básica de plantas establecidas. Su manejo corresponde al de un nuevo ciclo de crecimiento que comienza con el inicio de la estación lluviosa. Entre las prácticas culturales importantes están el precorte (corte anterior a la cosecha) o manejo por defoliación y la fertilización de mantenimiento.

El precorte o manejo por defoliación se refiere a la defoliación practicada en un momento ya establecido con los siguientes objetivos: primero, promover un rebrote uniforme de las macollas, que resultará, a su vez, en mayor uniformidad (o sincronización) de la floración, de la maduración de la semilla, y de la madurez para cosecha en el campo; segundo, lograr que la altura de la planta madura se reduzca y sea más uniforme para facilitar la cosecha de la semilla, especialmente mediante la combinada. El precorte puede hacerse mediante un pastoreo intenso, o por corte mecánico, o mediante una combinación de ambas prácticas. El precorte debe hacerse de 6 a 8 semanas antes de la inducción de la floración, es decir, aproximadamente dos semanas antes del comienzo de la floración. En regiones donde hay una estación lluviosa prolongada, el tiempo del precorte quizás no coincida con el inicio de esa estación y tendrá que determinarse localmente (Ferguson, 1981). En Brasilia, de Andrade y Thomas (1984) determinaron que la época óptima para el corte mecánico era a mediados de enero, en tanto que la defoliación por pastoreo podía retrasarse hasta mediados de febrero. El precorte después de estas fechas se relacionó con disminuciones en el rendimiento de semilla.

Las aplicaciones del fertilizante de mantenimiento contendrían algunos o todos los nutrimentos aplicados durante el establecimiento (i.e., P, K, N y S). Nuevamente, las cantidades que causarían respuestas económicas favorables varían según

muchos factores, como la fertilidad natural del suelo, los costos del fertilizante, y el valor de la semilla. El N puede tener efectos positivos en el rendimiento de semilla. Haggar (1966) informó que el rendimiento de semilla se triplicó al aplicar 224 kg/ha de N, incremento asociado con una mayor densidad y longitud de la inflorescencia. Comercialmente, en Brasil el rango de aplicaciones de nitrógeno relacionadas con respuestas económicas positivas en el rendimiento de semilla oscila[1] entre 50 y 75 kg/ha de N. El tiempo de la aplicación será inmediatamente después del precorte. En resumen, las prácticas culturales más comunes para la producción de semilla en áreas de rebrote son: el precorte, realizado de 8 a 10 días antes del inicio de la floración; y la aplicación de fertilizantes, entre ellos 50 a 75 kg/ha de N inmediatamente después del precorte.

## Cosecha de la Semilla

El enfoque adoptado para la cosecha de la semilla está influenciado por muchos factores, de los cuales sobresalen los siguientes: la disponibilidad relativa y el costo de las combinadas que se comparan con la labor manual; las condiciones climáticas; y el tamaño, la condición, y la categoría de la clase de semilla que caractericen un cultivo para producción de semilla. García y Ferguson (1984) han descrito algunos métodos de cosecha.

En América Latina se ha practicado extensivamente la cosecha manual de la gramínea en pie. Este método tiene tres fases:

- corte de los tallos florecidos;
- apilamiento y 'sudado' de los tallos florecidos, de las inflorescencias y las espiguillas;
- separación de las espiguillas (o trillado ligero).

Cada fase puede realizarse con variaciones. La hoz es la herramienta de corte más efectiva. Las pilas de tallos cortados deben levantarse de manera ordenada, dándoles una inclinación proporcional a la probabilidad de las lluvias durante la fase de

1. Rayman, P. Comunicación personal.

apilado, es decir, de horizontal en áreas más secas a casi vertical en áreas más lluviosas. La fase de sudado debe durar de 3 a 5 días. La cosecha manual tiene las siguientes ventajas: logra los mayores rendimientos de semilla, los mayores contenidos de semilla pura, y los menores contenidos de semilla de malezas; tiene, en cambio, desventajas relacionadas con la obtención y el manejo de los operarios para la labor manual, y con las variaciones que experimenta su eficiencia.

Se ha practicado también la recolección de la semilla caída en la superficie del suelo, pero generalmente como último recurso o sólo para usarla dentro de la finca. En esta práctica se utilizan rastrillos o escobas; aunque en ella los rendimientos de semilla de buena calidad son potencialmente altos, la eficiencia de recuperación de la semilla es muy variable y los lotes de semilla presentan un alto contenido de suelo y de material vegetal.

La cosecha con combinada se practica más extensivamente en Brasil, donde es más común que estas máquinas recolecten las cosechas de arroz y de soya. Para hacer una operación eficiente, la combinada exige una marcha a baja velocidad, zarandas sin obstrucciones, y ajustes tanto en la velocidad del cilindro como en la luz del cóncavo y en la corriente de aire; de este modo se logra la mejor separación posible de las espiguillas y los desechos. García y Ferguson (1984) sugirieron modificaciones a las combinadas convencionales, especialmente en la reducción de la acción de trillado.

La cosecha mediante mecanización parcial puede incluir una guadaña de cuchilla recíproca para la fase de corte. Una innovación útil sería una máquina que combine tanto el corte como el apilado de los tallos cortados que, de preferencia, se atarían unos con otros para que puedan sacudirse luego mecánicamente y se logre así un trillado ligero.

El CIAT (1980) y García y Ferguson (1984) informaron sobre una comparación de la eficiencia relativa de los diferentes métodos de cosecha. Aunque la recolección de semillas caídas ofrece el mayor porcentaje de germinación, la cosecha manual de la gramínea en pie proporciona generalmente el mayor rendimiento de semilla. La cosecha con combinada, por lo

regular, da rendimientos que son 50% menores que los obtenidos mediante una cosecha manual eficiente de la gramínea en pie (Cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación del rendimiento de semilla pura de *A. gayanus* obtenido tanto de la cosecha manual de la gramínea en pie como cosechándola directamente con combinada.

| Epocas de cosecha | Rendimiento de semilla pura (kg/ha) | |
|---|---|---|
| | Cosecha manual | Cosecha directa con combinada |
| Enero 1978 | 69 | 32 |
| Agosto 1980 | 32 | 19 |
| Septiembre 1980 | 49 | 29 |
| Julio 1981 | 51 | 23 |
| Promedio | 50 | 26 |

FUENTE: García y Ferguson, 1984.

## Beneficio de la Semilla

Los objetivos del beneficio de la semilla son los siguientes: mantener la viabilidad de la semilla, reducir su contenido de material inerte (malezas y otros componentes), y facilitar su manejo para almacenarla y sembrarla.

El beneficio de la semilla de *A. gayanus* es difícil a causa de las características de las espiguillas (aristas, espiguillas estériles, pubescencia, bajo peso) y a la gran cantidad de material vegetativo (porciones de tallo, de hoja y de inflorescencia) que se hallan normalmente en los lotes de semilla cruda. Asimismo, en la semilla cosechada manualmente puede haber partículas de suelo y polvo. Esta semilla, por tanto, es difícil de manejar, se caracteriza por su escasa fluidez, y su beneficio completo es un proceso lento, complicado y costoso.

Si se aplica a la semilla un beneficio completo, la secuencia normal de operaciones es la siguiente: secado, prelimpieza o desbrozado, remoción de la arista, y limpieza y clasificación. García y Ferguson (1984) describen estas operaciones.

La mayor parte de la semilla que se mercadea comercialmente no recibe beneficio mecánico. Después de la cosecha manual, la semilla cruda se traslada generalmente del campo hasta un área de secado, que quizás sea un patio de concreto. La tasa de secamiento y los riesgos de sobrecalentamiento se controlan valiéndose de la profundidad de la capa de semilla y de la frecuencia con que ésta se voltea. El secamiento no debe apresurarse y debe completarse, normalmente, en 2 a 4 días. A medida que trascurre el secamiento natural, se remueven manualmente grandes trozos de material vegetativo, acción que constituye una fase de prelimpieza o desbrozado. La operación alterna sería pasar la semilla por una zaranda inclinada y vibratoria donde se lograrían resultados similares. En este estado se empacan en sacos y se venden casi todos los lotes de semilla.

Cuando se requiere semilla de mayor pureza, lotes de semilla de menor volumen, mejores características de fluidez, o una presentación más refinada de las semillas, se hace necesario remover de éstas sus aristas. Un caso particular de esta situación fue el suministro y la distribución de semilla básica durante el proceso de liberación de los derivados del cultivar CIAT 621. Se construyó para este proceso un desaristador experimental que imitara una acción de frotamiento, mediante la cual la mayor parte de las espiguillas queden desaristadas y se logre la separación entre las espiguillas pediceladas estériles y las espiguillas sésiles fértiles (García y Ferguson, 1981). Se asumió que, cuando fuera pertinente, las empresas particulares de semillas podrían construir máquinas a bajo costo que ejecutaran una función similar.

Después del desaristado, el lote de semilla se hace pasar lentamente por una limpiadora convencional de aire y zarandas, la cual separa, parcialmente, las espiguillas sésiles de las espiguillas pediceladas, las aristas, el polvo y el material vegetativo. La más eficiente es una limpiadora con zarandas largas y anchas y con sistemas de aspiración superiores e inferiores. Tanto en las operaciones de desaristado como de limpieza de la semilla, se deben tomar medidas para controlar el polvo. También podría utilizarse un cilindro dentado para remover las partículas cortas de paja. Loch et al. (1986)

han demostrado que una trilladora de cono que posea una acción de frotamiento entre superficies con protuberancias, tanto en el rotor como en el estator, es muy efectiva para depurar lotes de semilla de *A. gayanus* totalmente beneficiados. También observaron que, en contraste con el pasto Rhodes *(Chloris gayana),* la trilladora de cono no removía muchas cariópsides de las espiguillas.

Los lotes de semilla de *A. gayanus* ofrecidos para la venta son extremadamente variables tanto en composición física como en calidad final de la fracción de semilla pura. El Cuadro 1 presenta una síntesis de las características de las semillas cruda y clasificada. En resumen, los valores promedio de SPG para los lotes de semilla cruda y clasificada (obtenidas por clasificación mecánica) son de aproximadamente 6% y 20%, respectivamente, lo cual implica una diferencia potencial aproximada del triple en los valores de la emergencia de campo. En la práctica, la mayoría de los lotes de semilla comercial tienden a presentar valores intermedios.

Las características de la espiguilla de *A. gayanus* y el reto que plantea el beneficio de su semilla guardan cierto paralelo con las siguientes gramíneas:

- las especies tropicales *Dichanthium aristatum* (Angleton) e *Hyparrhenia rufa* (Puntero);
- las gramíneas de clima templado de las Grandes Planicies (Great Plains) de E.U. (p.e. *Andropogon gerardi* y *Sorghastrum nutans),* donde Brown et al. (1981) utilizaron exitosamente una desaristadora con acción de agitación;
- los cultivares subtropicales de Queensland, Australia (p.e. *Bothriochloa insculpta, Bothriochloa pertusa* y *Chloris gayana)* (Loch et al., 1986).

## Aspectos de la Calidad de la Semilla

La calidad de la semilla es un término compuesto que se refiere a los diversos aspectos del lote de semilla y a la semilla pura

contenida en éste. Estos aspectos pueden subdividirse para considerar la composición física del lote de semilla, las características fisiológicas de la semilla pura, y la identidad genética del cultivar.

La composición física de cualquier lote de semilla se define por el análisis de pureza, en el cual la separación se hace en los componentes 'semilla pura', 'materia inerte' y 'otras semillas', medidos en peso. A nivel nacional o local, el componente 'otras semillas' puede subdividirse aún más en semillas de cultivo o semillas de malezas, según lo que se haya definido en la localidad. En comparación con las gramíneas que no producen residuos, los lotes de semilla de *A. gayanus* presentan contenidos altos y variables de materia inerte (60%-80%), y contenidos bajos y variables de semilla pura (20%-40%). Esta situación es un reflejo de la extrema dificultad y el alto costo que supone separar la semilla pura del material inerte (espiguillas vacías, material de tallo y de hojas, polvo, etc.). Bajo 'otras semillas' se consideran también semillas livianas o cubiertas por estructuras desechables, especialmente en las gramíneas de porte alto, como *Pennisetum* spp. y *Digitaria* spp.

Inicialmente, el análisis de pureza de la semilla de *A. gayanus* era entorpecido por la dificultad de distinguir entre las espiguillas sésiles con una cariópside o sin ella, por las definiciones alternas de semilla pura, y por los medios empleados para lograr una separación física de las muestras. El CIAT (1980) presentó un enfoque original para el análisis de pureza; en él, una determinación 'indirecta' del contenido de semilla pura (espiguillas sésiles con una cariópside) se hace mediante un procedimiento de tres pasos.

1) Se estima el contenido de espiguillas sésiles (peso porcentual) en una muestra del lote de semillas.

2 Se estima el contenido de cariópsides en una submuestra de las espiguillas sésiles (número porcentual).

3) Se calcula el contenido de semilla pura del lote de semilla mediante la fórmula:

$$\frac{\left[\begin{array}{c}\text{Contenido de espiguillas}\\ \text{(peso porcentual)}\end{array}\right] \times \left[\begin{array}{c}\text{Contenido de cariópsides}\\ \text{(número porcentual)}\end{array}\right] \times 1.123}{100}$$

donde 1.123 es una constante que representa una relación promedio predeterminada, fundada en el peso, entre las espiguillas con cariópside y las que no la tienen. Este procedimiento, aunque aceptable para un programa local de multiplicación de semilla, carecía de la precisión requerida por un laboratorio que preste un servicio nacional de prueba de semillas.

Se decidió adoptar, siguiendo el trabajo de Larsen (1980), tanto el concepto como el término equivalente de semilla pura 'ajustada' (en lugar de 'indirecta') y hacer además una determinación específica para la muestra respecto a la relación de peso entre las espiguillas con cariópside y aquéllas que no la tienen. Desde esa época, el Programa de Pastos Tropicales del CIAT ha utilizado este *método ajustado* para determinar la pureza de la semilla (Sánchez y Ferguson, 1986); en él, la materia inerte se calcula así: [materia inerte = 100 - (semilla pura + otras semillas)].

El método ajustado para la determinación de la semilla pura tiene la ventaja adicional de separar las cariópsides individuales, lo que permite hacer luego estimaciones del peso unitario de esas cariópsides y de las proporciones de semilla pura madura e inmadura. La frecuente aparición de semillas inmaduras en la fracción de semilla pura —definida por la International Seed Testing Association (ISTA) como 'espiguillas sésiles que contienen una cariópside de cualquier tamaño' (ISTA, 1985)—así como la calidad fisiológica muy baja de las semillas inmaduras (Hopkinson y English, 1985) hacen que el método ajustado para determinar la semilla pura sea doblemente útil y que deba aplicarse como práctica estándar en las determinaciones de calidad de *A. gayanus.*

Mendoza (1981) investigó la separación parcial de las espiguillas de la semilla mediante un procedimiento de soplado que consta de dos pasos y puede ahorrar tiempo en el análisis de pureza.

El carácter fisiológico 'semilla pura' incluye los aspectos viabilidad en tetrazolio, germinación, y latencia (en inglés, dormancy). Como ocurre con todas las semillas, los valores de la viabilidad son muy altos en la madurez fisiológica y luego tienden a disminuir dependiendo de los valores iniciales y de las condiciones de almacenamiento. En condiciones de almacenamiento favorables, la germinación se mantuvo durante dos años (Cordero y Oliveros, 1983b). Otros experimentos indican reducciones aceleradas en la germinación, especialmente en condiciones húmedas y cálidas en que la pérdida de germinación ha sido casi total después de 12 meses (CIAT, 1984b.; Conde et al., 1984b.; Cordero y Oliveros, 1983a).

Los lotes de semilla individuales, en especial inmediatamente después de la cosecha, varían en sus valores de viabilidad y de germinación; esto se refleja en variaciones en el contenido de semilla pura, en la proporción de semilla pura totalmente madura, y en la presencia de la latencia. Los valores de germinación de la semilla pura se hallan normalmente en el rango de 30% a 60%. El tamaño o peso unitario de las cariópsides puede variar considerablemente y tanto el tamaño de las cariópsides como la germinación de la semilla parecen estar correlacionadas positivamente (Cuadro 3). Aunque no hay datos precisos sobre las proporciones de semilla pura inmadura, los lotes de semilla de *A. gayanus* contienen probablemente una proporción de inmadurez similar a la que Hopkinson y English (1985) informaron que se encuentra en *Panicum maximum*. Estos autores hallaron que las semillas inmaduras representaban, en promedio, 40% de la fracción de semilla pura, y que los valores germinación, viabilidad y emergencia en el campo de la semilla inmadura fueron muy bajos en comparación con los de la semilla pura madura.

La latencia en la semilla fresca ha sido demostrada por dos hechos: por un aumento de hasta nueve meses después de la cosecha en el tiempo de germinación (CIAT, 1984b), y porque solamente 57% de las semillas viables germinaron en agua a los dos meses después de la cosecha (Eira, 1983). Las aplicaciones de nitrato de potasio ($KNO_3$) y ácido giberélico ($C_{19}H_{22}O_6$), que se hacían variar en el tiempo, fueron efectivas para reducir la

Cuadro 3. Comparación entre los promedios de tamaño y de germinación de la semilla de seis lotes de semilla producidos en dos localidades, una en Colombia y otra en Brasil.

| Componentes de calidad | Valores promedio (n = 6) | |
|---|---|---|
| | Colombia (lat. 3º N) | Brasil (lat. 15º S) |
| Peso unitario (mg/100): | | |
| de cariópsides | 85 | 105 |
| de espiguillas llenas[a] | 295 | 317 |
| Germinación (%)[b] | 27 | 68 |

a. Las espiguillas llenas o de semilla pura son aquellas espiguillas sésiles que continen una cariópside.

b. Porcentaje según el número.

FUENTE: CIAT, 1984b.

latencia (Eira, 1983). Cuando se remueven las glumas, la lema y la pálea de las cariópsides, se registra también un gran aumento en la germinación (Cordero y Oliveiros, 1983b).

Dado este estado de cosas, en que los principales componentes de la calidad, tanto físicos (contenido de semilla pura) como fisiológicos (viabilidad y germinación), son de tal variabilidad, el papel que desempeñan los índices compuestos de calidad de la semilla es muy útil. Tales índices son: uno, la semilla pura que germina y la pura viable (en porcentaje), y otro, las unidades germinables y viables (cuya unidad es número por kilogramo). Una comparación exploratoria del valor que tienen esos índices para predecir, en general, la emergencia en el campo de plántulas procedentes de diferentes lotes de semilla arrojó resultados similares (CIAT, 1985).

En el Cuadro 4 se presenta un resumen general de los valores promedio y de los rangos de los componentes de calidad de la semilla potencialmente útiles y de los índices compuestos derivados de ellos.

Cuadro 4. Componentes de la calidad de la semilla e índices compuestos, con valores obtenidos de 15 lotes de semilla de *Andropogon gayanus* seleccionados al azar.

| Componentes e índices[a] | Valores | |
|---|---|---|
| | Promedio | Rango |
| **Componentes** | | |
| Espiguillas llenas[b] | | |
| en peso (%) | 49.5 | 28-61 |
| en número (%) | 39.4 | 24-50 |
| Semilla pura, en peso (%) | | |
| modificado | 71.3 | 65-84 |
| ajustado | 34.2 | 19-42 |
| Materia inerte, en peso (%) | | |
| modificado | 28.0 | 16-36 |
| ajustado | 66 | 58-81 |
| Germinación, en número (%) | | |
| modificado | 17 | 4-39 |
| ajustado | 43 | 9-80 |
| Viabilidad en TZ[c], en número (%) | | |
| modificado | 20 | 3-46 |
| ajustado | 51 | 12-93 |
| Peso unitario (mg/100 unidades) | | |
| de cariópsides | 87 | 60-110 |
| de espiguillas llenas | 302 | 260-334 |
| **Indices** | | |
| Semilla pura que germina (%) | | |
| modificado | 12.1 | 2.6-32.9 |
| ajustado | 14.7 | 1.7-33.6 |
| Semilla pura viable (%) | | |
| modificado | 14.2 | 1.9-38.8 |
| ajustado | 17.3 | 2.2-39.1 |
| Unidades germinables (000/kg) | 48.4 | 10.7-111.2 |
| Unidades viables (000/kg) | 57.4 | 7.5-129 |

a. *Modificado* (o 'Irlandés') se refiere a una definición particular de semilla pura en la cual cualquier espiguilla sésil se asigna a la fracción de semilla pura. *Ajustado* se refiere a una definición de semilla pura consistente con la de la International Seed Testing Association (ISTA), en la cual solamente las espiguillas sésiles que contienen una zona de cariópside se asignan a la fracción de semilla pura (Sánchez y Ferguson, 1986).

b. 'Llenas' se refiere a la presencia de una cariópside. Este componente se refiere sólo a la población de espiguillas y no a la totalidad del lote de semillas.

c. Prueba Topográfica con Tetrazolio.

Actualmente, en los países de América Latina solamente se usa un solo cultivar comercial de *A. gayanus* y no se practica la certificación de su semilla. Es probable que ocurra algún cambio genético con el tiempo entre lotes de semilla de diferentes países dados tres factores: la composición genética heterogénea de la accesión derivada común (CIAT 621), la polinización cruzada junto con la reproducción sexual de la especie, y la sensibilidad de la accesión al fotoperíodo. En caso de que se liberara un segundo cultivar, un programa de certificación de semilla sería esencial para conservar la integridad genética y la identidad del nuevo cultivar.

## Tendencias de la Producción y el Mercadeo

Históricamente, la producción comercial de semilla de *A. gayanus* ocurrió por primera vez en el norte de Nigeria en la década de los sesentas, cuando aquélla se cosechaba manualmente de las praderas nativas; esta recolección respondía a la demanda de semilla relacionada con los esquemas de recuperación de praderas, patrocinados por el gobierno (Haggar, 1966). Las dificultades halladas entonces fueron: bajos rendimientos de semilla, baja tasa de multiplicación, altos precios de la semilla, y altos costos de establecimiento (Shika Research Station, 1975). La atención se trasladó luego a otras gramíneas (p.e., *C. gayana*) en las que aparentemente era posible mejorar su suministro de semilla.[2] Bogdan (1977) enfatizó también la necesidad de resolver primero los problemas que planteaba la cosecha y limpieza de la semilla de esta especie, aunque las pasturas sembradas con ella fueran muy extensas. Aparentemente, la demanda de semilla disminuyó y con ella la producción.

En la década de los setentas, después de la introducción de la especie en Colombia, el CIAT inició la multiplicación de semilla con propósitos experimentales; esta actitud facilitaba un progreso rápido en la evaluación sistemática y en la amplia distribución de

2. de Leew, P. N. Comunicación personal.

la semilla a los programas nacionales de investigación. Además, se dio especial énfasis a la multiplicación de semilla básica como un componente clave en el proceso de liberación de los derivados del cultivar CIAT 621 (Ferguson, 1981; Ferguson et al., 1985). La importancia dada a esa multiplicación —simultánea con la evaluación y la liberación— contribuyó significativamente a la rápida distribución geográfica y a la expansión de la producción comercial de la semilla.

El sistema de producción de semilla que más se aplica en América Latina tropical —y donde además ha evolucionado— consiste en la utilización de nuevas áreas de pastura para una cosecha oportunista de la semilla durante los primeros dos años después del establecimiento de la gramínea. Tanto el ganadero como la empresa semillista local pueden manejar esta cosecha. El primero lo hace para usar la semilla en la finca en la ampliación de áreas de pastura; la segunda establece un arreglo mediante el cual comparte el manejo de la finca con el ganadero. El manejo es muy variable. Las nuevas áreas de pasturas reciben a veces algún fertilizante mixto en la época de siembra y las ya establecidas, y destinadas a la producción de semilla, suelen fertilizarse superficialmente con N. Después de la primera cosecha de la semilla, el ganado pastorea generalmente el área cosechada. Durante la siguiente época lluviosa, el ganado se retira de las áreas dedicadas a la producción de semilla en una época del año que es propia de cada región geográfica y se ajusta al manejo estratégico del precorte. Los productores de semilla serios reconocen pronto este aspecto crítico del manejo orientado a evitar cultivos de altura excesiva.

La cosecha manual se prefiere en toda América Latina tropical y se realiza con pericia variable. La cosecha manual de *A. gayanus* es una operación de considerable volumen en razón de la longitud de los tallos florales. El apilamiento o 'sudado' debe hacerse in situ, puesto que el traslado de los tallos no es una práctica recomendable. El apilamiento se hace de diversas maneras. Si la región es seca en los días en que se cosecha la semilla, se hace el apilamiento horizontal, en tanto que en regiones con lluvias prolongadas se hace el apilamiento inclinado o casi vertical utilizando, como apoyo, las cercas o algunos postes

montados horizontalmente. El trillado manual se practica también con diversos grados de habilidad. Después del trillado, se remueven parcialmente los restos de tallos, de hojas y de inflorescencias; luego viene el secado natural.

La cosecha con combinada se ha practicado en Brasil y en el Northern Territory de Australia. Según Rayman (1985), una recuperación eficiente de semilla requiere, primero, un manejo de la defoliación en precosecha, y segundo, baja velocidad de la combinada y considerable atención al ajuste ancho de zaranda y a la limpieza de las zarandas.

Aunque el desaristado se aplicó a algunos lotes de semilla básica, la mayor parte de la semilla comercial se ha mercadeado en condiciones 'rústicas', es decir, junto con las aristas y el material desechable. Los intentos por desaristar la semilla y despojarla de los desechos mecánicamente, cuando se manejan volúmenes grandes de semilla, no han sido exitosos. Cuando hizo los ajustes adecuados a la combinada durante la cosecha, Rayman (1985) logró ahorrarse la limpieza mecánica y aun satisfacer los estándares del mercado brasileño.

A primera vista, la condición denominada 'rústica, sucia o cruda' de la semilla comercial crea una impresión negativa. Aunque en la mayoría de las áreas donde se siembra *A. gayanus* no hay equipo de precisión para la siembra, los ganaderos manipulan la semilla cruda mezclada con el fertilizante o la distribuyen manualmente. Rayman (1985) sembró extensas áreas con semilla cruda mezclada con fertilizante y empleó para hacerlo un ayudante que auxiliaba manualmente el flujo de la semilla. Como la cariópside está firmemente encerrada en las glumas, es muy difícil imaginar el mercadeo de cariópsides sueltas mientras no surja alguna innovación tecnológica.

Las regiones de Brasil donde se sembraron por primera vez pasturas de *A. gayanus* (Goiânia, Brasilia y Campo Grande) ofrecían combinaciones favorables de fotoperíodo, distribución de la precipitación, y temperaturas, tanto para la floración como para la madurez de la semilla y para la cosecha. Por consiguiente, la producción de semilla se llevó a cabo en aquellas áreas que se usaban como pasturas. En Colombia, sin embargo, los primeros

intentos de producción de semilla se hicieron en un área de alta precipitación contigua a proyectos ya existentes de empresas semillistas interesadas en esa semilla. Por ello, los resultados, al comienzo, no fueron satisfactorios. La producción dentro del área en que la gramínea se usaba como pastura también fue obstaculizada por la falta de mano de obra y porque los ganaderos locales carecían de tradición en la operación de cosecha de la semilla. El desarrollo del suministro de semilla se retrasó así algunos años hasta que se introdujo a *A. gayanus* en Valledupar (10° N de latitud) en la costa norte de Colombia, donde nuevamente una combinación de factores climáticos (mayor latitud, distribución estacional de la precipitación de modo notable), una tradición en la cosecha de semilla de gramíneas, y la iniciativa comercial condujeron a mayores rendimientos de la semilla, a mejor calidad de la misma, y a mayores volúmenes de semilla cosechada. La semilla obtenida en esta área de producción se distribuye ahora a otras regiones donde *A. gayanus* se utiliza como pastura. El mismo fenómeno podría ocurrir en otros países, si disponen de un rango adecuado de condiciones climáticas.

El rendimiento de semilla de *A. gayanus* no es fácil de definir y es extremadamente variable en vista del sistema de producción imperante. Su estimación precisa se hace aún más complicada porque hay dificultades para obtener estimativos confiables del contenido de semilla pura. Los estimativos de rendimiento de semilla cruda tienen poca o ninguna utilidad y solamente los de rendimiento de semilla pura pueden emplearse para hacer comparaciones. Los Cuadros 5 y 6 resumen los datos disponibles sobre los rendimientos de semilla.

En condiciones experimentales, los resultados obtenidos, aunque generalmente inflados a causa del tamaño pequeño de las muestras, proporcionan indicaciones del rendimiento potencial de semilla y de las fuentes de variación de éste. En relación con el tema, el máximo rendimiento de semilla pura registrado es de aproximadamente 350 kg/ha. La latitud, la fertilidad del suelo, el nitrógeno aplicado, la distribución de las lluvias, y el método de cosecha han ejercido efectos notorios en el rendimiento de semilla. En el ámbito comercial, por su parte, las influencias

Cuadro 5. Resumen del rendimiento de semilla que se obtiene de *Andropogon gayanus* en condiciones experimentales.[a]

| Localidad | Referencia | Rendimiento de semilla[b] (kg/ha) | | Método de cosecha | Comentario |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pura | Cruda | | |
| Brasil | | | | | |
| Brasilia (lat. 15° S) | de Andrade, et al., 1983 | 45-330 | | Manual | Rango dentro de un e.p.p. en 3 años, consecutivos, con 50 kg/ha de N por cosecha. |
| Brasilia | de Andrade y Thomas, 1984 | 41-165 | | Manual | Rango dentro de un e.p.p. |
| Goiânia (lat. 16° S) | Conde, et al. 1984a y 1984b. | | 288-339 | Manual | Rango de 32-38 días después del inicio de la floración en el e.p.p. |
| No especificado | Whyte et al., 1959 | | 30-90 anualmente | Manual | Rango probable de un e.p.p. |
| Colombia[c] | | | | | |
| Carimagua (lat. 3° N) | Ferguson, 1981 | 6-84 | | Manual | Rango |
| | | 39/año | | Manual | Promedio |
| Palmira (lat. 3° N) | Ferguson, 1981 | 8-377 | | Manual | Rango |
| | | 204/año | | Manual | Promedio de dos cosechas |
| Palmira | García y Ferguson, 1984 | 50 | | Manual | Promedio de cuatro cosechas |
| | | 26 | | Combinada | en diferentes años en grandes a.m. |
| Santander de Quilichao (lat. 3° N) | Ferguson, 1981 | 10-265 | | Manual | Rango |
| | | 135/año | | Manual | Promedio de dos cosechas |
| India | | | | | |
| Kanke (lat. 23° N) | Mishra y Chatterjee, 1968 | | 69-90 | Manual | Rango dentro de un e.p.p. con 0-28 kg/ha de N |
| Nigeria | | | | | |
| Shika (lat. 12° N) | Haggar, 1966 | | 25-75 | Manual | Rango dentro de un e.p.p. con 0-224 kg/ha de N |
| Varios (cinco localidades diferentes en tres países) | Ferguson et al., 1983 | 26-159 | | Manual | Rango en los e.p.p. de muchas localidades |

a. Resultados obtenidos de experimentos en pequeñas parcelas (e.p.p.) o en áreas de multiplicación de semilla (a.m.) en estaciones experimentales.

b. Los rendimientos se calculan por cosecha, a menos que se indique lo contrario. 'Cruda' se refiere a la semilla sin limpiar con un contenido indefinido de semilla pura. 'Pura' se refiere a las espiguillas sésiles que contienen una cariópside; este rendimiento se calcula después de un análisis del contenido de semilla pura en un peso definido de semilla cruda o limpia.

c. Datos tomados de diversas áreas de multiplicación durante un período de tres años consecutivos.

Cuadro 6. Resumen del rendimiento de semilla que se ha obtenido de *A. gayanus* en condiciones comerciales.[a]

| Localidad | Referencia[b] | Rendimiento de semilla[c] (kg/ha) | | Método de cosecha | Comentario |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pura | Cruda | | |
| Brasil | | | | | |
| Brasilia (lat. 15° S) | R. de Andrade | 49 | | Manual | Primer año en 9 ha. |
| | | 120 | | Manual | Segundo año en 3 ha. |
| Campo Grande (lat. 21° S) | P. Rayman | 30-40 | | Combinada | Rango de rendimiento para áreas extensivas durante el primero y el segundo año, en varias propiedades, de 1981 a 1985. |
| Colombia | | | | | |
| Valleldupar (lat. 10° N) | J. Jiménez | 90 | | Manual | Areas extersivas en algunas propiedades en 1985. |
| Nigeria | | | | | |
| Sin especificar | Bogdan, 1977 | | 20-100 | Manual | Posiblemente citando a Haggar (1966) |
| Panamá | | | | | |
| Sabana Grande (lat. 8° N) | P. Argel | 15 | | Manual | Se cultivaron 5 ha durante el primer año, aplicando 90 kg de 10-30-10. |
| Sona (lat. 8° N) | P. Argel | 88 | | Manual | Se cultivó 1 ha durante el primer año, aplicando 90 kg of 10-30-10. |
| Perú | Pérez et al., 1987 | 78 | | Manual | Rendimiento promedio de dos potreros de |
| Tarapoto (lat. 5° S) | | | | | 2 ha cosechados el primer año, uno en 1984 y otro en 1985. Bien abonados, incluyendo 80 kg/ha de N. |
| | | 81 | | Manual | Rendimiento promedio de tres potreros establecidos de 1 a 2 ha; fueron registrados en 1981, en 1982 y en 1983. |

(Continúa)

Cuadro 6. Continuación.

| Localidad | Referencia[b] | Rendimiento de semilla[c] (kg/ha) | | Método de cosecha | Comentario |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Pura | Cruda | | |
| Venezuela | | | | | |
| El Capitán (lat. 10° N) | D. García | 68 | | Manual | Se cultivaron 50 ha aplicando 50 kg/ha de N, el primer año, en 1984. |
| La Primavera (lat. 9° N) | D. García | 75 | | Manual | Se cultivaron 60 ha con alta fertilización, el primer año, en 1983. |
| La Primavera | D. García | 38 | | Manual | Se cultivaron 60 ha con alta fertilización, el segundo año, en 1984. |
| La Primavera | D. García | 10 | | Manual | Se cultivaron 20 ha sin fertilización, el primer año, en 1985. |
| La Rosa Grande (lat. 10° N) | D. García | 42 | | Manual | Se cultivaron 50 con alta fertilización, el primer año, en 1983. |
| La Rosa Grade | D. García | 37 | | Manual | Se cultivaron 50 ha con 50 kg/ha de N, el segundo año, en 1984. |

a. Datos tomados de áreas de pastura o de cultivo, en fincas o haciendas, manejadas y cosechadas para producir semilla que se vendería en el mercado libre.

b. Las referencias proceden de comunicaciones personales, si no se indica el año de publicación.

c. Los rendimientos se presentan por cosecha, a menos que se indique lo contrario. 'Cruda' se refiere a la semilla sin limpiar con un contenido indefinido de semilla pura. 'Pura' (i.e., espiguillas sésiles que contienen una cariópside) es semilla que se calcula después de un análisis del contenido de semilla pura en un peso definido de semilla cruda o limpia.

económicas se imponen. Asimismo, los rendimientos de semilla pura obtenidos de la cosecha manual se encuentran en el rango de 65-120 kg/ha, y han sido registrados en un amplio espectro de condiciones de cultivo. Se observó una sola cosecha con combinada cuyo rendimiento (30-40 kg/ha) es consistente con la reducción promedio de aproximadamente 50% que sufre aquélla si se la compara con la cosecha manual, según lo informaron García y Ferguson (1984).

El estado actual de la calidad compuesta de la semilla de *Andropogon* spp. es muy variable entre diferentes lotes de semilla, difícil de evaluar, frecuentemente lento, y se considera como una de las limitaciones para que se extienda la adopción de la gramínea (Ferguson et al., 1985). Para que, en tales circunstancias, se obtenga algún mejoramiento significativo, se requerirán las siguientes condiciones.

- Métodos de evaluación de los componentes individuales de la calidad, que sean uniformes y precisos (en especial, para el contenido de semilla pura).
- Instalaciones para pruebas de semilla a las que pueda acudir más fácilmente el usuario.
- Mayor conciencia de la calidad de la semilla entre los ganaderos, y precios de semilla que equivalgan progresivamente a la calidad compuesta de la semilla.
- Estándares mínimos de calidad cuya aplicación sea gradual.

Este último proceso evolucionará solamente si hay un consenso general, sobre la definición de los estándares fijados, entre las empresas de semillas, los ganaderos y las agencias reguladoras. Los estándares de mercadeo que actualmente se aplican a la semilla comercial son:

- un mínimo de 10% de semilla pura que germina, en Colombia y Brasil; se considera la definición de semilla pura del ISTA;
- un mínimo de 30% de semilla pura, 10% de germinación y 15% de otras semillas, en Queensland, Australia (Agricultural Standards Regulations, 1984); se emplea un procedimiento local que incluye una definición de semilla modificada o 'irlandesa'.

Hay volúmenes significativos de semilla que se comercializan ahora en varios países. De Andrade et al. (1985) estimaron ventas de 175, 422 y 496 toneladas en 1982, 1983 y 1984, respectivamente, en el mercado brasileño, que es el más grande. En 1985-1986 se produjeron en Colombia y Venezuela volúmenes de semilla del orden de 20 a 50 toneladas, y tanto en Panamá como en Perú esos volúmenes fueron de aproximadamente 1 tonelada.

En el futuro, la producción podría aumentar fácilmente en respuesta a la presión de la demanda, siempre y cuando los precios sean atractivos y motiven a los ganaderos y a las empresas de semillas a participar en la cadena de producción y mercadeo.

Los siguientes aspectos se consideran objeto de investigación aplicada: métodos alternativos de cosecha mecánica; medios sencillos para limpiar la semilla; procedimientos uniformes para estimar el porcentaje de semilla pura; y el desarrollo de índices compuestos para la calidad de la semilla.

## Resumen

El modo de reproducción de *Andropogon gayanus* es sexual, pero implica la polinización cruzada por medio del viento. La gramínea presenta una respuesta de floración a los días cortos, de tal manera que la sincronización en la floración está favorecida por las mayores latitudes. La madurez de cosecha ocurre aproximadamente 36 a 44 días desde el inicio de la floración, en cultivos para producción de semilla bien sincronizados. La densidad de las inflorescencias está influida negativamente por la edad del cultivo y positivamente por una mejor nutrición con nitrógeno. La altura de la inflorescencia en las poblaciones establecidas puede exceder de 2 m, y las inflorescencias pueden surgir de muchos nudos situados por encima de los primeros 50 cm de longitud del tallo. La unidad de dispersión es un par de espiguillas. Las espiguillas son pubescentes, con aristas largas, y pueden contener una cariópside o carecer de ella. En masa, las espiguillas tienden a adherirse y presentan malas características de fluidez.

El manejo de un cultivo para semilla tiende inicialmente al establecimiento rápido de una población de alta densidad, objetivo favorecido por una densidad de siembra alta, por la fertilización adecuada, y por la siembra estacional oportuna. Durante el rebrote, las poblaciones establecidas requieren una defoliación o precorte (corte anterior a la cosecha) de 6 a 8 semanas antes de la inducción floral para promover una altura de planta menor y más uniforme, y una madurez mejor sincronizada para la floración y la cosecha.

La cosecha de la semilla puede hacerse manualmente o con combinada. El beneficio de la semilla es difícil y generalmente se limita a la remoción de la paja larga por medios manuales. Es posible hacer un beneficio más completo de la semilla, pero con frecuencia no es económicamente factible. Los rendimientos de semilla son muy variables;el máximo rendimiento de semilla pura registrado es de aproximadamente 350 kg/ha. En condiciones comerciales y con cosecha manual, se han registrado rendimientos de semilla pura dentro de un rango de 65 a 120 kg/ha, en áreas grandes y en diversas condiciones de latitud y de precipitación. La cosecha con combinada resultará generalmente en un 50%, por lo menos, de disminución del rendimiento, si se compara con la cosecha manual.

La calidad de la semilla es extremadamente variable. En las localidades donde la floración presenta una mala sincronización, una alta proporción de cariópsides no está totalmente madura en el momento de la cosecha y esto reduce la viabilidad promedio de la semilla. La calidad compuesta de la semilla es más difícil de determinar que en las gramíneas que no producen paja o residuos. Sin embargo, se deben hacer evaluaciones de los componentes de calidad, y se deben aplicar estándares mínimos razonables a la semilla que se comercializa.

La oferta de semilla se ha desarrollado en los sitios donde los ganaderos o las empresas de semillas innovadores han tenido confianza en las proyecciones de la demanda. Ellos han logrado enfrentar una especie forrajera de crecimiento alto cuyas espiguillas, por sus características, son muy difíciles de manejar. La semilla se cosecha principalmente en áreas dedicadas a

pasturas y se comercializa a nivel regional y nacional. La demanda y la oferta están más desarrolladas en Brasil, Colombia y Venezuela. La oferta futura se presentará como respuesta a las fuerzas regionales de demanda. Cualquier cultivar nuevo de la gramínea requerirá certificación para conservar su identidad.

## Referencias


Agricultural Standards Regulations. 1984. Queensl. Gov. Gaz. 277:41.

Bogdan, A. V. 1977. Tropical pastures and fodder plants. Longman Group, Londres, Inglaterra. 475 p.

Bowden, B. N. 1963. Studies on *Andropogon gayanus* Kunth; 1: the use of *Andropogon gayanus* in agriculture. Emp. J. Exp. Agric. 31:267-273.

Brown, R. R.; Henry, J. y Crowder, W. 1981. Improved processing for high-quality seed of Big Bluestem, *Andropogon gerardi,* and Yellow Indian grass, *Sorghastrum nutans.* En: Smith, J. A. y Hays, V. W. (eds.). Fourteenth International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, E. U., junio 1981. Memorias. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 272-274.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1986. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1985. Cali, Colombia. 408 p.

———. 1985. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1984. Cali, Colombia. 274 p.

———. 1984a. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1982. Cali, Colombia. 366 p.

———. 1984b. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1983. Cali, Colombia. 375 p.

———. 1980. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1979. Cali, Colombia. 159 p.

Conde, A.; García, J. y Santos, G. 1984a. Determinação da maturidade fisiológica das sementes do capim *Andropogon.* Pesquisa em andamento, 6. Empresa Goiânia de Pesquisa Agropecuária (EMGOPA), Goiás, GO, Brasil. p. 1-4.

———; ——— y ———. 1984b. Influência da época de colheita y do período de armazenamento, em condições ambientais, na qualidade das sementes do capim *Andropogon.* Pesquisa em andamento, 7. Empresa Goiânia de Pesquisa Agropecuária (EMGOPA), Goiás, GO, Brasil. p. 1-8.

Cordero, J. M. y Oliveros, M. 1983a. Evaluación de temperatura y tiempo para conducir pruebas de germinación en semillas de *Andropogon gayanus.* Agron. Trop. (Maracay) 33:357-366.

——— y ———. 1983b. Efecto de varias condiciones de almacenamiento sobre la germinación de semillas de *Andropogon gayanus.* Agron. Trop. (Maracay) 33:177-189.

de Andrade, R. P.; Ferguson, J. E. y Seré, C. 1985. Seed industry survey of initial adoption of *Andropogon gayanus* in Brazil. Informe interno. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária en el Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Brasilia, Brasil.

——— y Thomas, D. 1984. Effects of cutting or grazing in the wet season on seed production in *Andropogon gayanus bisquamulatus* (Hochst.) Stapf. J. Appl. Seed Prod. 2:29-31.

———; ——— y Ferguson, J. E. 1983. Seed production of pastures species in a tropical savanna region of Brazil; II: grasses. Trop. Grassl. 17:59-64.

Eira, M. T. S. 1983. Comparação de metodos de quebra de dormância em sementes de capim *Andropogon.* Rev. Bras. Sementes 5(3):37-49.

Ferguson, J. E. 1981. Perspectivas da produção de sementes de *Andropogon gayanus.* Rev. Bras. Sementes 3:175-193.

———; Seré, C. y Vera, R. 1985. The release process and initial adoption of *Andropogon gayanus* in tropical Latin America. En: Fifteenth International Grassland Congress, Kyoto, Japón, agosto 1985. Memorias. Science Council of Japan and Japanese Society of Grassland Science, Nishi-nasuno, Toschigi-ken, Japón. p. 222-223.

———; Thomas, D.; de Andrade, R. P.; Souza-Costa, N. y Jutzi, S. 1983. Seed production potentials of eight tropical pasture species in regions of Latin America. En: Smith, J. A. y Hays, V. W. (eds.). Fourteenth International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, E.U., junio 1981. Memorias. Westview Press, Boulder, CO, E.U. p. 275-278.

Foster, W. H. 1962. Investigations preliminary to the production of cultivars of *Andropogon gayanus.* Euphytica 11:47-52.

García, D. A. y Ferguson, J. E. 1981. Desaristado mecánico de las semillas de *Andropogon gayanus.* En: Cuarto Seminario Nacional y Quinto Congreso Colombiano de Ingenieros Agrícolas, Bogotá, Colombia, 1981. Memorias. Cosmos, Bogotá, Colombia. p. 42-43.

——— y ———. 1984. Cosecha y beneficio de semillas de *Andropogon gayanus.* Serie boletines técnicos, no. 1. Programa de Pastos Tropicales, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 36 p.

Haggar, R. J. 1966. The production of seed from *Andropogon gayanus.* Proc. Int. Seed Test. Assoc. 31:251-259.

Hopkinson, J. M. y English, B. H. 1985. Immaturity as a cause of low quality in seed of *Panicum maximum.* J. Appl. Seed Prod. 3:24-27.

ISTA (International Seed Testing Association). 1985. International rules for seed testing 1985. Seed Sci. Technol. 13:409.

Larsen, A. L. 1980. Range grass analysis subcommittee. AOSCA (Assoc. Off. Seed Cert. Agencies) Newsl. 54:26-28.

Loch, D. S.; Harding, W. A. T. y Harvey, G. L. 1986. Improved handling of chaffy grass seeds through cone threshing. En: Fifteenth International Grassland Congress, Kyoto, Japón, agosto 1985. Memorias. Science Council of Japan and Japanese Society of Grassland Science, Nishi-nasuno, Toschigi-ken, Japón. p. 277-279.

Mendoza, A. O. 1981. Measurements of quality components in three tropical grasses. Tesis (M.Sc.). Mississippi State University, Starkville, MS, E.U.

Mishra, M. L. y Chatterjee, B. N. 1968. Seed production in the forage grasses *Pennisetum polystachyion* and *Andropogon gayanus* in the Indian tropics. Trop. Grassl. 2:51-56.

Pérez, R. C.; Ferguson, J. E. y López, W. 1987. Producción de semillas de tres especies forrajeras en Tarapoto, Perú. Pasturas Trop. Bol. 9(2):18-23.

Rayman, P. 1985. Experiences with *Andropogon* (Gamba grass) in Brasil. En: Queensland Seed Producers Notes. Queensland Department of Primary Industries, Walkamin, Qld., Australia. 28:10-12.

Sánchez, M. y Ferguson, J. E. 1986. Medición de calidad en semillas de *Andropogon gayanus* Rev. Bras. Sementes 8(1):9-28.

Shika Research Station. 1975. Annual report. Shika, Kaduna, Nigeria.

Tompsett, P. B. 1976. Factors affecting the flowering of *Andropogon gayanus* Kunth: responses to photoperiod, temperature and growth regulators. Ann. Bot. 40:695-705.

Whyte, R. O.; Moir, T. R. G. y Cooper, J. P. 1959. Grasses in agriculture. Agricultural series, no. 42. FAO, Roma.

# RESULTADOS OBTENIDOS CON *ANDROPOGON GAYANUS* EN LAS FINCAS DE LOS PRODUCTORES DE GANADO

Raúl R. Vera y Carlos Seré*

## Introducción

El objetivo final de la tecnología del manejo de pasturas es contribuir al desarrollo socioeconómico de los países. En las economías orientadas al mercado, la decisión de adoptar una tecnología la toma el productor individual de ganado fundado en el criterio de su propia utilidad; tal criterio comprendería la rentabilidad esperada, el riesgo percibido, y la compatibilidad con normas y costumbres.

Consecuentemente, para que se adopte la tecnología, ésta debe ser no sólo socialmente deseable sino además atractiva a nivel microeconómico, es decir, desde el punto de vista del productor individual.

La investigación en las fincas contribuye a la evaluación temprana de la viabilidad técnica y microeconómica de las tecnologías que se hallan en proceso de generación, y por ello hace posible el ajuste oportuno de esas tecnologías. Puede indicar también esa investigación, dentro de un marco de acción más amplio, las distorsiones que ocurran en los precios u otros factores (p.e., las normas político-legales) y sus posibles soluciones, las cuales facilitarían la adopción de las tecnologías socialmente deseables.

* Raúl R. Vera es zootecnista, sección de Sistemas de Producción de Ganado del Programa de Pastos Tropicales, CIAT, Cali, Colombia; Carlos Seré es economista agrícola, sección de Economía del mismo Programa.

La mayor parte de la investigación, a nivel de la finca, sobre la utilización de pasturas basadas en *Andropogon gayanus* se ha hecho en los Llanos Orientales de Colombia (Figura 1). Esta región se caracteriza por sus sistemas extensivos de producción de carne (Kleinheisterkamp y Habich, 1985), en los cuales el principal recurso forrajero es la sabana nativa. La vegetación natural, dominada por gramíneas (Blydenstein, 1967), es generalmente de muy bajo valor nutritivo, aun inmediatamente después de la quema (Paladines, 1975; CIAT, 1986; Lascano y Spain, 1986). La quema es la única práctica de manejo que puede aplicarse. Estos sistemas de producción son predominantemente extensivos y de baja carga (0.1-0.2 UA/ha).

Según estas consideraciones y dada la situación económica de estos sistemas de producción (Seré y Estrada, 1985) así como los altos costos relativos de los insumos (Rivas y Seré, 1984; 1985), las pasturas mejoradas se establecen en áreas pequeñas con el fin de suplementar la sabana nativa en que pasten determinadas categorías de animales, o de permitir la ceba de parte de los animales producidos en la finca. En 1979 se inició un programa de investigación a nivel de la finca para evaluar, en tales condiciones, el desempeño de pasturas asociadas, principalmente la asociación *A. gayanus/Stylosanthes capitata*. Simultáneamente, en una región agrícola marginal al sur del Valle del Cauca se evaluó, a nivel de la finca, el desempeño de pasturas de *A. gayanus* puro y asociado.

## Establecimiento de Pasturas en las Fincas

Previo acuerdo con los propietarios, las siembras se realizaron en terrenos preparados con la maquinaria disponible en las fincas. El Cuadro 1 presenta las características de los suelos en las áreas donde se establecieron las pasturas. La preparación consistía, en general, en la quema de la vegetación nativa, seguida por un pase con arado de disco y dos pases con rastra excéntrica de discos (offset). La semilla, que en 1979 era aún semilla experimental, fue suministrada por el CIAT sin costo, en tanto que los ganaderos aportaban los demás insumos. La siembra se hacía, en general, a voleo, mezclando en la aspersora-abonadora la semilla de la

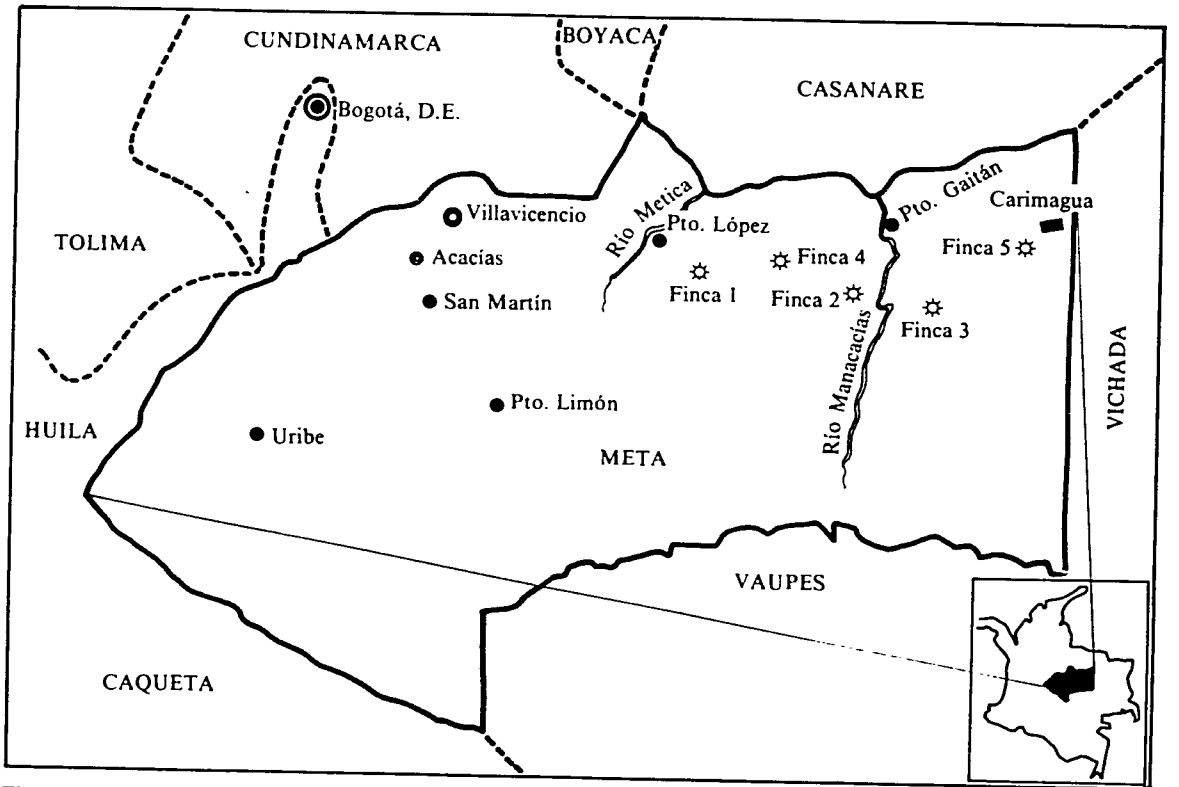



Figura 1. Mapa del departamento de Meta, Llanos Orientales de Colombia, en el cual se localizan las fincas estudiadas. Pto. = Puerto.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del suelo de las fincas elegidas, y áreas de éstas con pasturas establecidas, en los Llanos Orientales de Colombia, de 1979 a 1981.

| Finca no.[a] | Parámetros del suelo | | | | | *Brachiaria humidicola* | *Brachiaria decumbens* | *A. gayanus* + *S. capitata* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Arena (%) | Arcilla (%) | pH | P, Bray II (ppm) | Sat. Al (%) | (ha) | (ha) | (ha) |
| 1 | 38 | 38 | 4.5 | 2.2 | 94.0 | — | 25 | 134 |
| 2 | 56 | 23 | 4.2 | 1.8 | 88.7 | — | 25 | 50 |
| 3 | 28 | 43 | 3.6 | 2.2 | 94.9 | 45 | 50 | 50 |
| 4 | 17 | 47 | 3.7 | 2.4 | 92.9 | — | — | 45 |
| 5 | 12 | 38 | 4.4 | 2.5 | 87.6 | 80 | — | 80 |

a. La ubicación de las fincas aparece en el mapa de la Figura 1.
Sat. Al = saturación de alumirio.

gramínea con el fertilizante (escorias básicas con 15% de $P_2O_5$, a razón de 300 kg/ha); en caso contrario, era totalmente manual, y se hacía inmediatamente antes o después de la aplicación del fertilizante. En uno y otro caso, la fertilización se completó con una mezcla de 11 kg de $K_2O$, 6 kg de Mg y 11 kg de S por hectárea, aplicados en el fertilizante comercial Sulpomag.

Aproximadamente el 40% de las áreas sembradas inicialmente debieron resembrarse en algún grado, en particular las de la gramínea; a la luz de los conocimientos actuales, es probable que las siembras deficientes sean efecto de una combinación de sobrepreparación del terreno, de variabilidad en la calidad de la semilla, y de fuertes ataques de hormigas. Cuando estos ataques ocurrían, se hacían esfuerzos para controlarlos tratando los hormigueros con polvos insecticidas apropiados. Luego de la resiembra, todas las pasturas se establecieron adecuadamente.

## Registros

El seguimiento de la utilización de las pasturas, de la carga que soportaban, y de su composición botánica se hizo mediante visitas periódicas a las fincas, cuya frecuencia, en promedio, fue de 3 a 4 por año. En estas visitas se pesó todo el ganado y a las hembras se les practicó la palpación rectal a fin de evaluar su condición reproductiva. También se registró información sobre los cambios ocurridos en el inventario animal por muerte, venta y eventos similares, así como las fechas de parición y destete. Simultáneamente, se evaluaron las pasturas mediante un método de doble muestreo para estimar la disponibilidad del forraje y su proporción de gramínea y leguminosa; todos los datos presentados se refieren a materia seca (MS).

Se tomaron también muestras de tejido vegetal verde y se obtuvo su análisis químico, para evaluar el estado nutricional de las especies forrajeras presentes. En cada visita se comprobó la presencia o ausencia de suplementos minerales del ganado, y periódicamente se tomaron muestras para analizarlas. Una vez al año se tomaron muestras de suelo de cada potrero para análisis químico y físico.

## Metodología del Análisis Económico

El análisis parte del supuesto de que la ganadería extensiva es una actividad de baja rentabilidad y de bajo riesgo, cuyo atractivo reside en la posibilidad de apreciar el valor de la tierra, en la flexibilidad de la asignación de capital, en su calidad de fuente de crédito agrario subsidiado, y en otros aspectos.

La tecnología de pasturas mejoradas, como es el caso de *A. gayanus* asociado con leguminosas, representa una inversión adicional en el establecimiento de la pastura; requiere además inversiones en infraestructura, como cercas de alambre adecuadas y, fundamentalmente, más ganado a causa del aumento de carga.

La inversión en tecnología de pasturas mejoradas se agrega a la inversión inicial (que incluye la tierra) y compite, por ello, con una serie de inversiones alternas de mayor riesgo. Por eso, el análisis económico no debe considerar la rentabilidad total de la empresa, ya sea con tecnología introducida o sin ella, sino evaluar el atractivo de la inversión marginal requerida.

Los análisis se fundaron en precios constantes de finales de 1985. El principal criterio utilizado fue la tasa interna de retorno marginal. Vale la pena indicar que los precios relativos empleados se refieren a los Llanos Orientales, una región de estructura vial deficiente y muy alejada de los mercados y de los puertos; esta situación determina altos costos en los insumos y bajos precios de los productos. Se simularon también las mismas alternativas con precios relativos similares tanto a los de Venezuela como a los internacionales.

Se debe indicar que los resultados económicos sufren el efecto desfavorable de la alta saturación de aluminio de los suelos de esa región y, por consiguiente, del bajo nivel de los cationes restantes; en consecuencia, los requerimientos de fertilizantes son allí más elevados que en otras regiones de suelos ácidos (p.e., el Departamento del Cesar o la costa norte de Colombia). La ausencia de cultivos también afectó la evaluación económica.

## Utilización de las Pasturas Mejoradas

El principal sistema de producción de ganado de los Llanos Orientales de Colombia, y el más tradicional, es la operación extensiva de cría; el ganado de levante se ceba en el piedemonte llanero, una región más cercana al mercado de Bogotá (Seré y Estrada, 1985).

La investigación en las fincas se dirigió inicialmente a mejorar la productividad de los sistemas de cría existentes mediante el uso estratégico de pastos mejorados con vacas y novillas. La introducción de pastos mejorados ha creado además la posibilidad de cebar ganado en fincas dedicadas previamente sólo a la cría de ganado.

Las decisiones sobre el modo de utilización, la carga y el manejo dados a estas pasturas se tomaron en forma conjunta entre los ganaderos y los investigadores. No obstante, durante los tres primeros años esas decisiones estuvieron fuertemente influidas por los investigadores, excepto en la finca 3 (Cuadro 1). Las pasturas mejoradas se utilizaron con diferentes fines, incluyendo la ceba de novillos y la cría de hembras de remplazo. Estos casos diferentes se tratan por separado.

### Pasturas mejoradas para el hato de cría

En las fincas 1 y 2 (Cuadro 1), las pasturas introducidas se utilizaron para el hato de cría, parte del cual alternó entre la sabana y las pasturas sembradas. Se presenta información sobre la finca 1 solamente, porque sus datos se extienden a mayor número de años. Durante los cuatro primeros años de observación, se introdujeron en esta finca algunas prácticas de manejo animal que se consideraron a priori compatibles con la existencia de mejores recursos forrajeros; estas prácticas fueron la restricción de la 'monta' a los ocho meses del período lluvioso, la introducción de novillas de remplazo al hato de cría cuando alcanzaban un peso no menor de 270 kg, y el destete practicado de modo regular entre los 8 y los 10 meses de edad. Se dio prioridad de acceso a los pastos sembrados a las vacas lactantes

durante la estación de monta, excepto en la edad de destete; otras prácticas de manejo (época de apareo restringida, destete regular) fueron descontinuadas por la nueva administración de la finca. El administrador decidió también el número de animales de la finca así como el destino de éstos.

Entre 1979 y 1980, se establecieron en total 159 ha compuestas por 25 ha de la pastura *Brachiaria decumbens* CIAT 606/ *Desmodium ovalifolium* CIAT 350, 36 ha de *Andropogon gayanus* CIAT 621/ *Stylosanthes capitata* CIAT 1019, 58 ha de *A. gayanus* CIAT 621 puro sembradas en 1979 y, sembradas en 1980, 40 ha de *A. gayanus* CIAT 621/ *Stylosanthes capitata* CIAT 1019. A excepción de la pastura de *B. decumbens*/ *D. ovalifolium,* que rara vez se utilizó para el hato de cría y sufrió una degradación progresiva, el área disponible con pasturas mejoradas representó el 5% del área total de la finca. Con el trascurso del tiempo, el potrero de 58 ha de *A. gayanus* puro fue invadido por *S. capitata,* presumiblemente mediante la semilla trasportada en las heces; por tanto, a partir de 1983, este potrero se consideró como una mezcla.

Durante el período de evaluación 1979-1985, solamente se refertilizó el primero de los potreros de *A. gayanus*/ *S. capitata* con una mezcla de 5 kg de $K_2O$, 3 kg de Mg y 5 kg de S por hectárea; no se aplicó ninguna otra medida de mantenimiento ni de control de malezas. Una área pequeña, aproximadamente 20 ha, se quemó accidentalmente pero el incidente no tuvo consecuencias negativas para los componentes de la pastura.

## Peso y comportamiento reproductivo

Durante el período de observación considerado, el número de vacas de la finca aumentó regularmente (Figura 2) y se duplicó, prácticamente, al sexto año del estudio. Este resultado provocó un aumento sustancial en la carga de la finca (Cuadro 2). A pesar de este aumento considerable de la carga, y durante los dos primeros años de utilización de la pastura mejorada, se observaron aumentos de peso significativos en el hato de cría.

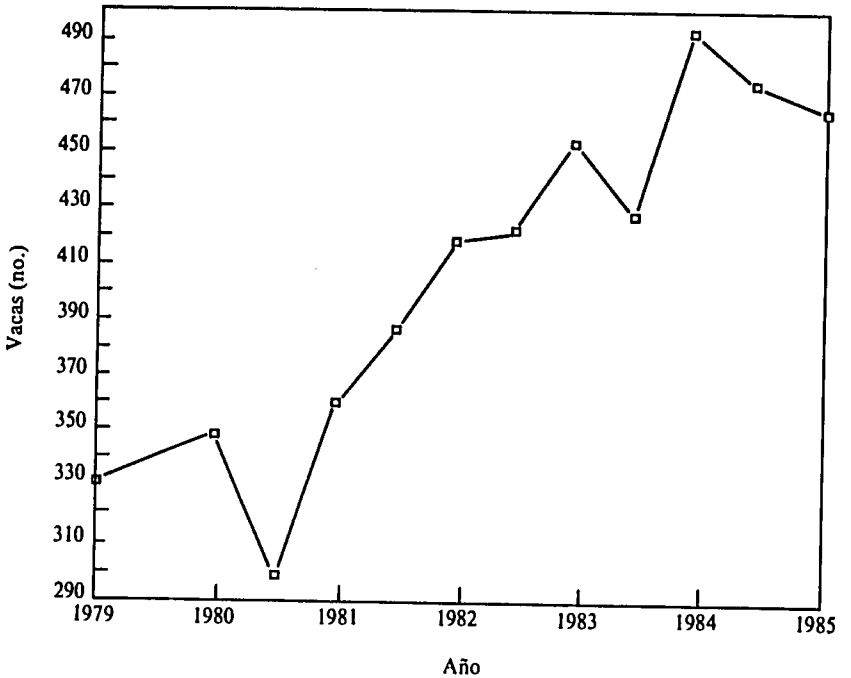



Figura 2. Número de vacas en la finca 1, a lo largo del período de observación.

Cuadro 2. Desempeño reproductivo y carga animal en la finca 1, en los Llanos Orientales de Colombia.

| Variable | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Carga (UA/ha) | 0.08 | 0.13 | 0.15 | 0.16 | 0.19 | 0.19 |
| Peso ajustado de las vacas[1] (kg) | 233 e | 292 d | 303 c | 301 c | 332 a | 328 b |
| Tasa de concepción[2] (%) | (49.8)[3] | 63.9 | 62.4 | 76.2 | 53.0 | 60.4 |
| Peso de destete, a los 277 días (kg) | (109)[3] | 119 | 118 | 142 | 148 | 143 |

1. Peso ajustado a la condición seca-vacía de 73 a 84 meses de edad. Promedios con diferente letra difieren significativamente ($P < 0.05$).

2. Se refiere a vacas que permenecieron en el hato durante el período 1979-1984; excluye las novillas.

3. Los datos se refieren al período 1977-1978 (Kleinheisterkamp y Habich, 1985).

La Figura 3 muestra la evolución anual del peso promedio de la vaca en tres condiciones fisiológicas diferentes, y el Cuadro 2 presenta el peso promedio de una vaca del hato, corregido por edad y por condición fisiológica según Amézquita y Rojas (1985). Dada la estrecha relación entre peso y desempeño reproductivo observada en estos sistemas de producción extensiva (Kleinheisterkamp y Habich, 1985; 1984), no es sorprendente que exista una tendencia hacia mejores tasas de concepción, parición y destete. Debido a inconsistencias en el registro de los datos en los dos últimos años, no fue posible hacer una estimación confiable de los porcentajes reales de parición y destete y, por ello, en el Cuadro 2 se presenta solamente la tasa anual de concepción, calculada según los resultados de la palpación rectal de los animales que permanecieron en el hato durante todo el

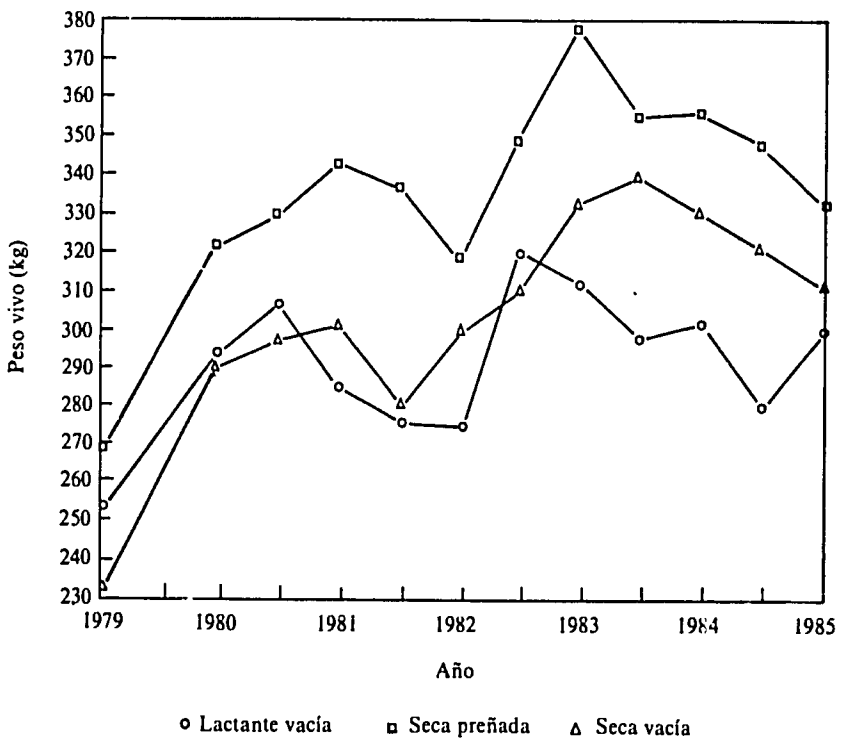



Figura 3. Peso promedio de las vacas, agrupadas según su estadó fisiológico, a lo largo del período de observación en la finca 1.

período considerado. Se excluyeron de este cálculo, en consecuencia, los animales que ingresaron al hato durante el período de observación, y se eliminaron así los sesgos introducidos por los animales cuya historia previa era diferente a la de aquéllos del hato estudiado.

Los resultados (Cuadro 2) sugieren que se lograron, efectivamente, aumentos importantes en la natalidad, gracias al uso estratégico de los pastos mejorados. La metodología empleada permite solamente hacer comparaciones antes y después de la introducción de tales pastos, quedando confundida dicha comparación con el efecto de los años. En el ecosistema considerado, es poco probable que el efecto de los años sea importante, debido a la estabilidad y repetibilidad de los parámetros climáticos de la región. Otro aspecto de la acción de los años en el desempeño reproductivo es el bien documentado efecto cíclico observado en los fenómenos reproductivos en años sucesivos (Kleinheisterkamp y Habich, 1985); es claro que, en esta finca 1, dicho efecto cíclico persistió a pesar de la introducción de los pastos mejorados. Con el fin de disminuir el efecto de enmascaramiento inducido por este fenómeno, los parámetros reproductivos se calcularon de nuevo por períodos de dos años consecutivos, en lugar de hacerlo anualmente como es la práctica común. Además, este último cálculo (Cuadro 3) hace más consistente la comparación con los resultados observados, en esta misma finca, por Kleinheisterkamp y Habich (1985) antes de la introducción de las pasturas mejoradas, y que se refieren al período de dos años comprendido entre 1977 y 1978.

Cuadro 3. Promedios bianuales ponderados de concepción en la finca 1, calculados empleando las vacas presentes (n = 202) durante todo el período de observación referido, 1977-1985.

| Período | Concepción (%) |
|---|---|
| 1977-1978 | 49.8[a] |
| 1980-1981 | 63.1 |
| 1982-1983 | 64.6 |
| 1984-1985 | 60.4 |

a. Tomado de Kleinheisterkamp y Habich, 1985 (Cuadro 15, finca 4).

Por último, el considerable aumento de peso de los terneros al destete (Cuadro 2) es consistente con el aumento de peso de las vacas lactantes (Figura 3) y confirma la tendencia hacia un mejor desempeño reproductivo del hato.

La situación observada en esta finca durante estos seis años representa, sin duda, sólo una de muchas posibles estrategias de desarrollo del hato de cría; una alternativa se considera más adelante (ver Análisis de sensibilidad ...) en la cual se conserva el tamaño del hato en tanto que se obtienen mayores ganancias individuales de peso y, por consiguiente, mejor desempeño reproductivo.

A pesar del aumento sustancial de la carga y del limitado control impuesto al acceso a los pastos que tiene el hato, la persistencia de las especies sembradas y la disponibilidad del forraje fueron muy satisfactorias (Cuadro 4), y no se observó ninguna invasión de malezas.

## Uso estratégico de la pastura mejorada en el hato de cría

En el Cuadro 5 se presentan los ingresos brutos marginales obtenidos y la contribución de las diferentes actividades a dicho ingreso. El pasto mejorado se utilizó, en un comienzo, para aumentar el peso de todo el hato de cría y para cebar las vacas de descarte. La venta de las vacas representa el 58% y el 33% de los ingresos brutos marginales en los dos primeros años, respectivamente. Desde el tercer año, el sistema se vuelve más

Cuadro 4. Disponibilidad de forraje y composición botánica de una pastura de *Andropogon gayanus/Stylosanthes capitata* en la finca 1, Llanos Orientales de Colombia.

| Variable | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|---|---|---|---|---|---|
| Disponibilidad de MS (kg/ha) | 1061±256 | 1713±585 | 1155±275 | 511 | 1470±200 |
| Gramínea (%) | 13 | 29 | 68 | 66 | 77 |
| Leguminosa (%) | 87 | 71 | 32 | 34 | 23 |
| Cobertura basal (%) | 35 | 39 | 22 | 31 | 32 |

Cuadro 5. Impacto estimado de los diferentes efectos de una pastura en el ingreso bruto marginal, en la finca 1.

| Efecto de la pastura | Porcentaje del ingreso en el año: | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6-11 | 12 |
| 1. Ceba de vacas | 58 | 33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2. Incremento de peso al destete | 24 | 12 | 30 | 20 | 33 | 22 | 0 |
| 3. Incremento de tasa de destete | — | 45 | 33 | 41 | 9 | 20 | 0 |
| 4. Reducción en mortalidad | 18 | 10 | 7 | 4 | 7 | 5 | 0 |
| 5. Terneros adicionales[a] | — | — | 18 | 37 | 33 | 0 | |
| 6. Aumento de peso de las vacas | — | — | — | — | — | — | 100 |
| 7. Interacciones (2. x 3. x 4. x 5.) | — | — | 11 | 18 | 14 | 20 | 0 |
| Ingreso bruto marginal (US$/finca) | 5,262 | 9,200 | 13,679 | 24,082 | 13,096 | 19,227 | 26,068 |

a. Por aumento de la carga.

estable de modo que las actividades relacionadas con la cría y el aumento de peso de los terneros contribuyen con el 93%, aproximadamente, de los ingresos brutos marginales. Los ingresos obtenidos de los terneros adicionales, por causa del aumento de carga, se convierten en el rubro más importante desde el quinto año, reflejando así la decisión del productor de aumentar la carga de la finca a partir del tercer año.

Con el sistema empleado por el ganadero se obtiene una rentabilidad marginal, sobre el sistema tradicional, de 36% anual. Esta tasa marginal es superior a la comunicada por Nores y Estrada (1978) en los análisis *ex ante* de simulación hechos en áreas pequeñas de pasturas mejoradas en los Llanos Orientales de Colombia, para hatos de cría. En esta finca, la pastura, con sólo una fertilización de mantenimiento, se comportó en forma sobresaliente durante los siete años de observaciones. Esto representa una gran diferencia respecto a las praderas fertilizadas cada dos años, un supuesto básico utilizado en las anteriores simulaciones *ex ante*.

## Análisis de sensibilidad para diversos arreglos económicos

Para determinar la viabilidad económica de esta estrategia en diferentes países de América Latina, se hizo un análisis de

sensibilidad de precios de insumos y productos en el que se utilizaron los precios internacionales, los de Colombia y los de Venezuela. En el Cuadro 6 se presentan estos precios, y en el Cuadro 7 el flujo de efectivo para años específicos y la tasa interna de retorno (TIR). Se observa una gran diferencia en el precio de los fertilizantes, especialmente en Venezuela, que incide sustancialmente en las tasas internas de retorno a pesar de que se emplea una tecnología de bajos insumos.

Cuadro 6. Variación de los precios de los insumos utilizados en el establecimiento de pasturas, en 1985.[a]

| Insumo | Precio internacional | Precio en Colombia | Precio en Venezuela |
|---|---|---|---|
| Escorias Thomas (US$/t) | — | 44 | — |
| Superfostato triple (US$/t) | 157 | — | 53 |
| Sulpomag (US$/t) | 101 | 287 | 48 |
| Otros | | | |
| Sal mineral (US$/t) | 157 | 250 | 94 |
| Drogas (US$/animal por año) | 4 | 5 | 3 |
| Ganado (US$/kg PV) | | | |
| • vacas | 0.62 | 0.62 | 0.62 |
| • novillas | 0.68 | 0.68 | 0.68 |
| • novillo gordo | 0.75 | 0.75 | 0.75 |

a. Los mismos precios se utilizaron para analizar las operaciones de levante de novillas y de ceba de novillos. PV = peso vivo.

Cuando se compara la estrategia de carga alta y ceba de vacas de descarte con la alternativa de mantener constante (330 vacas) el tamaño del hato —que resultaría en mayores pesos individuales y en mayor natalidad— se obtiene un tasa interna de retorno superior en este último sistema. No obstante, el flujo anual de efectivo difiere poco entre ambos sistemas una vez éstos se han estabilizado (US$14,700 y US$16,600, respectivamente). La mayor diferencia en la TIR entre ambos sistemas se explicaría por la inversión adicional, hecha en los primeros años, de 140 novillas para aumentar la carga en el primer sistema (carga alta y ceba de vacas).

Cuadro 7. Flujos de efectivo y rentabilidad marginal causados por el uso de la pastura asociada en el hato de cría.

| Variable económica | Nivel de precios (US$/año) | | |
|---|---|---|---|
| | Internacional | En Colombia | En Venezuela |
| Flujo de efectivo: | | | |
| Año 1 | -9,869 | -13,296 | -6,532 |
| Año 2 | 51 | -1,355 | 1,412 |
| Año 3 | 6,479 | 6,241 | 6,642 |
| Año 4 | -11,994 | -12,304 | -11,774 |
| Año 5 | 17,275 | 16,889 | 17,554 |
| Años 6-11 | 17,056 | 16,616 | 17,367 |
| Año 12 | 69,348 | 69,348 | 69,348 |
| TIR (% anual) | 45.7 | 36.6 | 61.1 |

La estructura de los aportes de las diferentes actividades cambia notoriamente; la ganancia de peso de los terneros al destete y la interacción [peso al destete x tasa de natalidad] proporciona la mayor parte de los ingresos brutos. Estos resultados sugieren que los estímulos para aumentar el peso de los terneros al nacimiento y al destete se presentarán sólo cuando los terneros destetos inicien la ceba de inmediato sin pasar por un período de crecimiento lento; este último sistema es tradicional en los Llanos Orientales de Colombia.

## Pasturas mejoradas para novillas de remplazo

En los sistemas extensivos predominantes en los Llanos Orientales de Colombia, el crecimiento de las novillas de remplazo levantadas en condiciones de sabana es, generalmente, muy pobre (Kleinheisterkamp y Habich, 1985); por consiguiente, su edad al primer parto raramente es inferior a los cuatro años. Se estableció entonces un experimento en dos fincas para hacer un seguimiento de la ganancia de peso vivo de las novillas que pastoreaban pasturas de *A. gayanus* solo o lo hacían en combinación con la sabana, o también cultivos puros de *B. humidicola* CIAT 679. Se emplearon, como testigo negativo, grupos de novillas sujetas al manejo habitual dado por el ganadero. Las novillas que ocupaban la sabana (grupo testigo)

formaban parte de hatos mayores manejados por el respectivo ganadero; por consiguiente, no es posible cuantificar con precisión la carga a que estuvo sometida esa sabana. Sin embargo, puesto que fueron manejadas de manera tradicional, constituyen un grupo testigo muy representativo de las dos fincas consideradas.

En la primera finca estudiada (finca 4), además del grupo testigo y del que se mantuvo desde el destete en la pastura *A. gayanus/S. capitata,* se escogió otro grupo de animales que, destetados en la pastura mejorada, pasaron luego a la sabana. Un tercer grupo se mantuvo en la pastura mencionada hasta que los animales alcanzaron los 300 kg de peso vivo, el peso requerido para la monta, y luego volvieron a la sabana. Un cuarto grupo constaba de animales 'volantes' que pastorearon la pastura asociada durante el período lluvioso, y la sabana durante la estación seca. Este grupo permitió realizar ajustes de carga estacionales en la pastura mejorada.

Los datos presentados se refieren al período comprendido entre noviembre de 1981 y noviembre de 1985. Las curvas de crecimiento de los animales (Figura 4) muestran claramente la superioridad de las ganancias de peso en la asociación que, aunque modestas en términos absolutos (300 g/animal por día), duplican las registradas en la sabana. En consecuencia, se observaron diferencias muy notorias entre los grupos respecto a dos parámetros: edad a la concepción y edad al primer parto (Cuadro 8). El desempeño reproductivo a la primera concepción (Cuadro 9) fue similar en todos los tratamientos considerados aunque, como ya se indicara, dicha concepción ocurrió a edades diferentes. Las diferencias en eficiencia reproductiva se hicieron más notorias en la segunda concepción (Cuadro 9). Sin embargo, debe llamarse la atención sobre el excelente desempeño del grupo de novillas que alternó regularmente el pastoreo entre la sabana y la pastura mejorada, resultado que sugiere que el acceso restringido y estacional a esta última permitiría suficientes ganancias compensatorias de peso.

Bajo el régimen de pastoreo utilizado, con ajustes de carga al principio y final de la estación seca, la asociación persistió sin signos de degradación, si bien se caracterizó por una contribución

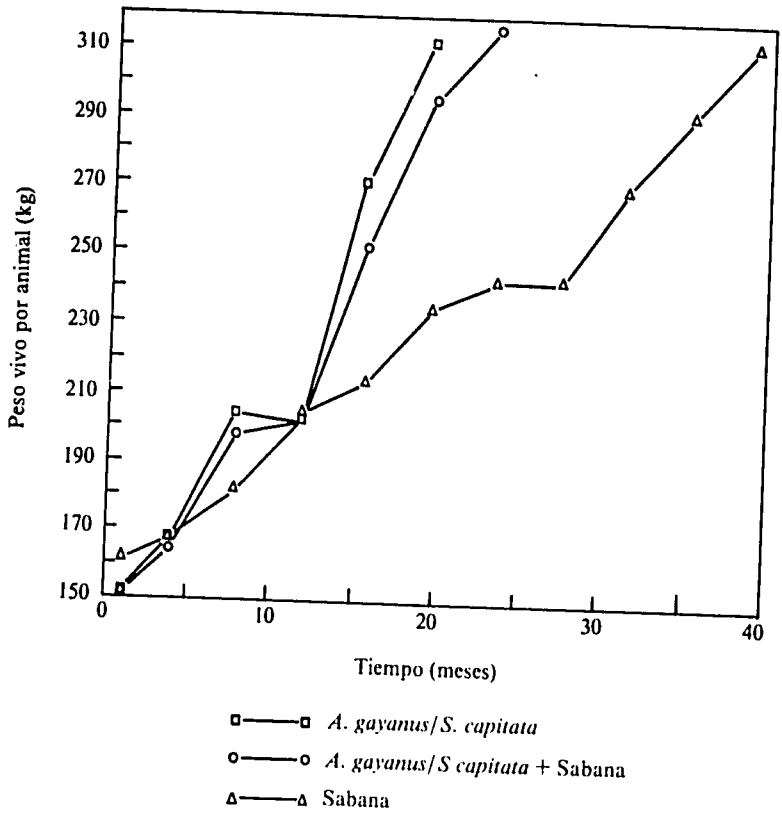



Figura 4. Curvas de crecimiento, hasta los 300 kg de peso vivo, de tres grupos de novillas mantenidas tanto en la pastura asociada *A. gayanus/S. capitata* como en la sabana, en la finca 4, de 1981 a 1985.

relativamente baja de la leguminosa al forraje en oferta, excepto durante el primer año de pastoreo (Cuadro 10). Como en el resto de los casos aquí considerados, la población de la leguminosa fue mayor que la sugerida por los datos de disponibilidad registrados en el Cuadro 10 a causa del gran número de plántulas por unidad de área. Durante el período de observación considerado, la pastura recibió una refertilización con 150 kg/ha de escorias básicas (21 kg/ha de $P_2O_5$); esta decisión fue tomada por el propietario de la finca.

En la segunda finca considerada (finca 5) se comparó el desempeño de tres grupos de novillas que pastoreaban la sabana

Cuadro 8. Edad de ocurrencia de diferentes eventos reproductivos de las novillas, según el manejo recibido, en la finca 4.

| Tratamiento | Animales (no.) | Edad (meses)[1] | | | Intervalo entre primero y segundo parto (meses) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Primer parto | Segundo parto | Agosto, 1986 | |
| Sabana (testigo) | 17 | 54 b | — | 69 | — |
| *A. gayanus/S. capitata*[2] | 15 | 54 b | — | 69 | — |
| *A. gayanus/S. capitata*[3] | 40 | 44 b | *65* b | 74 | *21* |
| Sabana (50%) + *A. gayanus/ S. capitata* (50%)[4] | 20 | 39 a | 58 a | 74 | 19 |
| *A. gayanus* + *S. capitata* (testigo positivo) | 40 | 39 a | 58 a | 75 | 19 |

1. Medias seguidas por letras diferentes difieren significativamente ($P < 0.05$).
2. Destetadas en la pastura mejorada y trasladadas a la sabana.
3. Mantenidas en la pastura mejorada hasta obtener 300 kg de PV. Las cifras en itálicas indican datos preliminares.
4. Mantenidas en la sabana durante la época seca y en la pastura mejorada durante la época húmeda.

Cuadro 9. Desempeño reproductivo de las novillas sometidas a diferentes tratamientos, en la finca 4.

| Tratamiento[a] | Primera concepción (%) | Primer parto (%) | Segunda concepción (%) | Segundo parto (%) | Tercera concepción[b] (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| Sabana | 82 | 82 | — | — | — |
| *A. gayanus/S. capitata* | 82 | 82 | — | — | — |
| *A. gayanus/S. capitata* | 95 | 95 | 40 | 7 | — |
| Sabana (50%) + *A. gayanus/ S. capitata* (50%) | 95 | 95 | 84 | 79 | — |
| *A. gayanus* + *S. capitata* | 97 | 85 | 89 | 89 | 17.5 |

a. Ver notas 2, 3 y 4 al pie del Cuadro 8.
b. Datos tomados hasta agosto de 1985.

Cuadro 10. Evolución de la disponibilidad del forraje (medido como materia seca), de la composición botánica, y de la cobertura de una mezcla de *Andropogon gayanus-Stylosanthes capitata*, en la finca 4, Llanos Orientales de Colombia, en 1982-1985.

| Parámetros de la pastura | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|---|---|---|---|---|
| Disponibilidad de MS (kg/ha) | 2346±120 | 1685±231 | 976±184 | 1110±240 |
| Gramínea (%) | 55 | 87 | 97 | 88 |
| Leguminosa (%) | 45 | 13 | 3 | 12 |
| Cobertura basal (%) | 96 | 18 | 32 | 46 |

(testigo) y potreros de *Brachiaria humidicola* y *A. gayanus/S. capitata*. En razón de varias dificultades en el manejo de *B. humidicola*, el grupo de animales respectivo estuvo sujeto a una alternancia irregular entre ese pasto y la sabana, impuesta por el ganadero. Como en la finca 4, el grupo testigo que pastoreaba la sabana formó parte del hato de remplazo de la finca y recibió el manejo tradicional. Los resultados observados son similares a los registrados en la finca 4, tanto en términos de edad al primer parto (Cuadro 11), como en tasas de concepción y parición (Cuadro 12). En forma semejante, el Cuadro 13 muestra la evolución de la disponibilidad de forraje y la composición botánica del forraje en oferta a lo largo del período de observación. Como ocurrió en la finca 4, la pastura estuvo

Cuadro 11. Edad al parto de las novillas de la finca 5. Datos tomados hasta agosto de 1986.

| Tratamiento | Animales (no.) | Edad (meses) | | | Intervalo entre primero y segundo parto (meses) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Primer parto[a] | Segundo parto | Agosto, 1986 | |
| Sabana | 15 | 47.4 b | — | 69 | — |
| *Brachiaria humidicola* | 80 | 47.3 b | — | 69 | — |
| *A. gayanus/S. capitata* | 65 | 42.0 a | 56 | 69 | 14 |

a. Medias seguidas por letras distintas difieren significativamente ($P < 0.05$).

Cuadro 12. Tasas de concepción y de parición de las novillas que pastoreaban tres tipos de pastura en la finca 5. Datos tomados hasta agosto de 1985.

| Tratamiento | Tasas (concepción y parición) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Animales (no.) | Primera preñez (%) | Primer parto (%) | Segunda preñez (%) | Segundo parto (%) |
| Sabana | 15 | 86 | 86 | — | — |
| *Brachiaria humidicola* | 80 | 75 | 52 | — | — |
| *A. gayanus/S. capitata* | 65 | 97 | 97 | 45 | 32 |

Cuadro 13. Evolución del rendimiento medido en materia seca (MS), de la composición botánica, y de la cobertura de una mezcla de *Andropogon gayanus/Stylosanthes capitata* en la finca 5, Llanos Orientales de Colombia.

| Parámetros de la pastura | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|---|---|---|---|---|---|
| Disponibilidad de MS (kg/ha) | 1200±126 | 907±120 | 942±180 | 690±138 | 980±280 |
| Gramínea (%) | 65 | 71 | 80 | 85 | 86 |
| Leguminosa (%) | 35 | 29 | 20 | 15 | 14 |
| Cobertura basal (%) | 25 | 25 | 28 | 22 | 32 |

dominada por la gramínea, aunque las estimaciones de disponibilidad de forraje subestiman la contribución de la leguminosa sometida a pastoreo continuo. Durante el período de observación, la pastura no fue refertilizada.

## Análisis económico de la pastura mejorada utilizada por novillas de remplazo

Los aspectos económicos de los diversos sistemas mediante los cuales se logra reducir a 38 meses la edad al primer parto se discutirán a continuación. La eficiencia económica se estima con la tasa interna de retorno marginal, al comparar cada uno de los sistemas con el sistema tradicional de cría de novillas en sabana nativa exclusivamente. Los experimentos planteados para medir estas diferencias sólo duraron cuatro años y se requiere un tiempo adecuado para determinar la influencia del sistema de

levante en el comportamiento biológico de la vaca adulta, especialmente respecto a la natalidad, la mortalidad de adultos y terneros, el peso al destete de las crías, y la duración de su vida productiva. En el Cuadro 14 se presentan los principales parámetros técnicos empleados para hacer la comparación entre los diferentes sistemas de levante discutidos aquí. Los resultados económicos indican lo siguiente.

1. La alternativa de reducir la edad al primer parto en diez meses, utilizando pasto mejorado desde el destete hasta la edad de monta, no parece económicamente atractiva cuando se compara con el comportamiento de las novillas criadas en sabana nativa exclusivamente. Los resultados iniciales indican que la única ventaja que ofrecen las pasturas mejoradas se presenta a la edad del primer parto, y que el comportamiento de la vaca adulta es similar al de la vaca que pastorea la sabana nativa, tanto en peso como en comportamiento reproductivo; este anáiisis, sin embargo, supone que la vida productiva de las vacas del hato de cría es similar, independientemente del tratamiento recibido, lo cual es claramente discutible.

Cuadro 14. Parámetros técnicos de los diferentes sistemas empleados con las novillas de remplazo.

| Parámetro | En sabana | En *A. gayanus/S. capitata* | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Hasta la monta | En 50% del tiempo | Permanente |
| Peso inicial de la novilla al destete (kg)[a] | 140 | 140 | 140 | 140 |
| Peso a la monta (kg)[a] | 305 | 317 | 317 | 340 |
| Edad al primer parto (meses)[a] | 51 | 41 | 38 | 38 |
| Intervalo entre partos (meses) | 24[b] | 22[b] | 18.8[b] | 17.6[a] |
| Peso de la vaca adulta (kg)[b] | 320 | 320 | 320 | 365 |
| Peso del ternero desteto (kg)[b] | 130 | 130 | 150 | 165 |
| Mortalidad de adultos (% anual)[b] | 2.4 | 2.4 | 2.0 | 1.8 |
| Mortalidad de terneros (% anual)[b] | 7.0 | 7.0 | 6.0 | 5.0 |
| Carga en el pasto mejorado (an./ha) | | | | |
| • hasta la monta[a] | 0 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| • de vaca adulta[a] | 0 | 0 | 0.5 | 0.9 |

a. Parámetros observados.

b. Parámetros estimados.

2. La utilización del pasto mejorado en un 50% del tiempo (durante la época de lluvias) presenta los mejores resultados económicos. Su rentabilidad es mejor que la del sistema tradicional de sabana y también que la del uso exclusivo y permanente del pasto mejorado. La tasa interna de retorno marginal es del 22% anual, que es inferior a la del uso estratègico de la pastura en sistemas de cría (36%).

   Los datos biológicos indican que, en este sistema, el pasto no se usa de modo realmente estratégico (períodos de tiempo muy cortos) y los resultados obtenidos son muy similares a los que produce la utilización de pasturas mejoradas en forma permanente. Si éstas pudieran utilizarse durante períodos más reducidos de tiempo, la proporción de pasto mejorado por novilla disminuiría de 0.5 a 0.3 ha/novilla, y la rentabilidad marginal obtenida sería de 43%, un valor similar a los comunicados anteriormente.

3. Si el comportamiento de la pastura fuera similar al de la finca 4, y sólo se aplicara una refertilización de mantenimiento en los 12 años de vida que, se supone, tendrá la pastura, la rentabilidad marginal obtenida sería de 24% anual. Esto sugiere que la carga utilizada es el factor principal que debe enfatizarse en un sistema de uso estratégico de pasturas mejoradas.

4. Resultados anteriores confirman tanto la menor eficiencia económica (19%) de utilizar la pastura mejorada en forma permanente para el hato de cría, como la reducción que sufre la TIR marginal a medida que se utilizan más de 2600 $m^2$ por vaca, efecto que se había estimado inicialmente. Los datos económicos son un fiel reflejo de los datos biológicos porque sólo se obtiene un 6% de aumento en la eficiencia reproductiva cuando se aumenta en un 80% el área de pastura mejorada por vaca, es decir, de 0.5 vacas/ha a 0.9 vacas/ha. Sin embargo, estos resultados contrastan con el desempeño reproductivo observado en condiciones experimentales (CIAT, 1986).

5. La inversión inicial en pasturas sólo se recupera después de cuatro años, lapso en el cual el flujo de efectivo es negativo y

ya se ha realizado la primera refertilización de mantenimiento conforme a los supuestos utilizados en el presente análisis. Esta situación implica que las inversiones en pasturas mejoradas para levante de novillas requieren una financiación de largo plazo para que puedan ser ejecutadas por el ganadero.

Los resultados anteriores explican por qué los ganaderos prefieren ofrecer la pastura mejorada a otras categorías animales (vacas de descarte, novillos) que generan un flujo de efectivo superior.

## Ceba de novillos y vacas de descarte

La ceba no es una actividad tradicional en la altillanura, a menos que se disponga de pasturas sembradas. En tres de las cinco fincas cooperadoras, las pasturas de *A. gayanus/S. capitata* fueron utilizadas por los propietarios respectivos para la ceba de novillos adultos o de vacas de descarte —o de ambos. A diferencia de lo que ocurre con las novillas de levante, los investigadores se limitaron en este caso a registrar el desempeño de animales y pasturas, y consideraron responsabilidad del ganadero la decisión sobre la entrada y salida de animales y sobre la carga de las pasturas.

En la finca 2, tanto la pastura de *A. gayanus/S. capitata* como otra de *Brachiaria decumbens,* contemporánea de aquélla, fueron utilizadas ocasionalmente para la ceba. Ambas fueron establecidas simultáneamente y con igual fertilización a la siembra. A causa de las condiciones extremas de la textura del suelo (ver Cuadro 1), las dos pasturas tuvieron dificultades en relación con su manejo y con su persistencia. *A. gayanus* desapareció casi totalmente de la asociación en el tercer año a causa del sobrepastoreo, pero luego de un período de descanso de cuatro meses, la gramínea se reestableció, a comienzos de la época lluviosa, a partir de la semilla almacenada en el suelo. Durante el mismo período de observación (cinco años), la pastura de *B. decumbens* fue sometida a dos renovaciones mecánicas que implicaron su pérdida para el pastoreo durante 3 a 4 meses en cada caso. El Cuadro 15 presenta un resumen de las

Cuadro 15. Ganancias de peso de los novillos en dos pasturas diferentes de la finca 2, en 1985.

| Variable | Tipo de pastura | |
|---|---|---|
| | *A. gayanus/ S. capitata* | *B. decumbens* |
| Tiempo de pastoreo (días) | 166 | 180 |
| Peso inicial (kg) | 374 | 286 |
| Peso final (kg) | 491 | 399 |
| Ganancia/an. por día (kg) | 0.706 | 0.628 |
| Ganancia/ha por día (kg) | 0.988 | 0.697 |
| Ganancia/ha por año (kg) | 177.8 | 125 |
| Animales (no.) | 22[a] | 20[b] |
| Carga (kg PV/ha) | 594 | 381 |

a. En 16 hectáreas.
b. En 18 hectáreas.

ganancias de peso y de otros parámetros registrados en esta finca; se observa en él que la asociación produjo ganancias individuales de peso mayores que la pastura de *B. decumbens* solo, a pesar de que la carga empleada en la primera fue mayor.

A diferencia de lo observado en las fincas antes mencionadas, en este caso la contribución de la leguminosa fue mucho mayor durante todo el período de observación (Cuadro 16), resultado que se atribuye a la textura del suelo.

En otras dos fincas, la asociación *A. gayanus/S. capitata* fue utilizada sistemáticamente para la ceba. Los Cuadros 17 y 18 presentan esta información que cubre cuatro años consecutivos. En ambos casos la ceba fue netamente estacional, es decir, se realizó durante el período lluvioso, al final del cual los animales fueron vendidos. La pastura utilizada para este fin en la finca 5 fue la misma destinada al levante de novillas mencionado anteriormente; en la finca 3, en cambio, la pastura se destinó exclusivamente a la ceba a partir de 1982, pero en los dos años anteriores la pastura había sido utilizada muy irregularmente por el hato de cría. La Figura 5 ilustra la evolución de esta última pastura en términos de su composición botánica y del forraje en oferta, y señala el notorio efecto que tuvieron en la disponibilidad del forraje los fuertes veranos de 1981 y 1985.

Cuadro 16. Evolución de la disponibilidad de forraje (medido como materia seca), de la composición botánica, y de la cobertura de una mezcla de *Andropogon gayanus-Stylosanthes capitata* en la finca 2, Llanos Orientales de Colombia.

| Variable | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 |
|---|---|---|---|---|---|
| Disponibilidad de MS (kg/ha) | 1420±602 | 1004±612 | 760±230 | 1096±178 | 740 |
| Gramínea (%) | 55 | 48 | 46 | 58 | 70 |
| Leguminosa (%) | 45 | 52 | 54 | 42 | 30 |
| Cobertura basal (%) | 32 | 47 | 23 | 41 | 39 |

Cuadro 17. Ganancias de peso de novillos que pastoreaban la mezcla *Andropogon gayanus-Stylosanthes capitata* en la finca 3, durante cuatro años consecutivos.

| Variable | 1982 | 1983 | 1984 | 1985[a] |
|---|---|---|---|---|
| Tiempo de pastoreo (días) | 269 | 285 | 287 | 111 |
| Peso inicial (kg) | 284 | 312 | 306 | 337 |
| Peso final (kg) | 424 | 493 | 496 | 443 |
| Ganancia/an. por día (kg) | 0.522 | 0.635 | 0.590 | 0.950 |
| Ganancia/ha por día (kg) | 0.898 | 0.971 | 0.708 | 1.083 |
| Ganancia/ha por año (kg) | 242 | 277 | 285 | 122 |
| Carga (an./ha) | 1.72 | 1.53 | 1.40 | 1.14 |
| Animales (no.) | 86 | 77 | 70 | 57 |
| Carga (kg PV/ha) | 660 | 658 | 561 | 445 |

a. Datos tomados hasta agosto de 1985.

En los análisis económicos anteriores se comparó el sistema de cría en que se emplea pasto mejorado con el sistema alterno de sabana que predomina en la zona. En el caso presente se compara la ceba en que se emplea la asociación *A. gayanus/S. capitata* con la ceba en *Brachiaria decumbens*, gramínea introducida en la región en 1976.

Cuadro 18. Ganancias de peso de los novillos y las vacas de descarte que pastoreaban la mezcla *Andropogon gayanus-Stylosanthes capitata* en la finca 5, Llanos Orientales de Colombia, de 1982 a 1985.

| Variable | Novillos | | | | Vacas |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1982 | 1983 | 1984 | 1985[a] | 1984 |
| Tiempo de pastoreo (días) | 183 | 218 | 193 | 119 | 93 |
| Peso inicial (kg) | 225 | 344 | 315 | 330 | 285 |
| Peso final (kg) | 344 | 464 | 441 | 417 | 337 |
| Ganancia/an. por día (kg) | 0.484 | 0.550 | 0.648 | 0.735 | 0.544 |
| Ganancia/ha por día (kg) | 0.741 | 0.880 | 1.300 | 0.979 | 0.816 |
| Ganancia/ha por año (kg) | 136 | 192 | 251 | 117 | 76 |
| Carga (an./ha) | 1.53 | 1.60 | 2.00 | 1.35 | 1.50 |
| Carga (kg PV/ha) | 436 | 646 | 756 | 504 | 467 |
| Animales (no.) | 23[b] | 32[c] | 40[c] | 27[c] | 90[d] |

a. Datos tomados hasta agosto de 1985. b. En 15 hectáreas.
c. En 20 hectáreas. d. En 60 hectáreas.

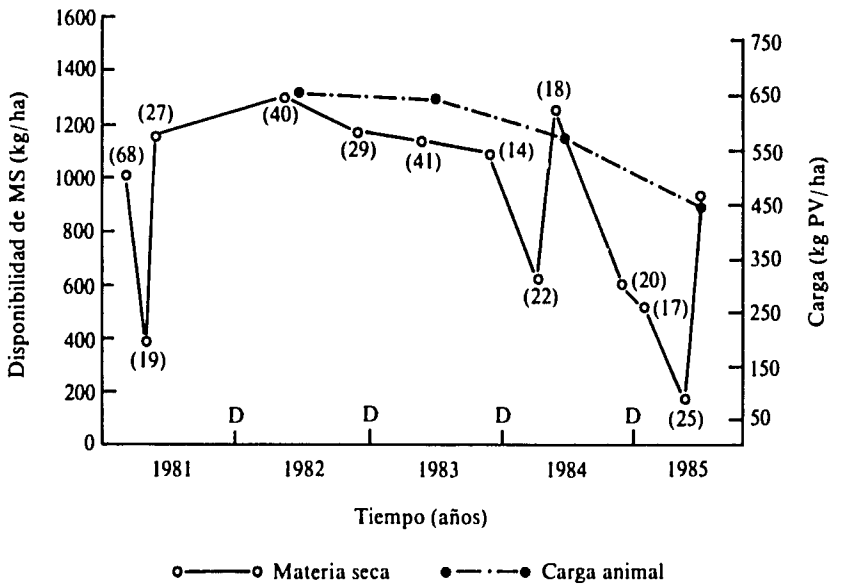



Figura 5. Disponibilidad de materia seca, y carga animal por hectárea en una asociación *Andropogon gayanus/Stylosanthes capitata*, en la finca 3, de 1981 a 1985. Las cifras entre paréntesis indican porcentaje de leguminosa en la pastura. D = diciembre.

Los resultados económicos (Cuadro 19) indican lo siguiente:

- Las mezclas de gramíneas y leguminosas soportan una carga mayor y en ellas los aumentos por animal son superiores. Estas dos características de la asociación contribuyen a una tasa de retorno marginal muy elevada (106%) pero dada la escasa diferencia, en términos absolutos, entre el establecimiento de una asociación y el de una pastura de sólo *Brachiaria*, el valor

Cuadro 19. Comparación económica de la ceba de novillos en asociaciones de gramíneas y leguminosas, y en cultivos puros de gramíneas.

| Variable | Novillos cebados en: | |
|---|---|---|
| | *A. gayanus*/ *S. capitata* | *B. decumbens* |
| Tiempo de pastoreo (días/año) | 270 | 270[a] |
| Peso inicial de los novillos (kg) | 309 | 309 |
| Carga (an./ha) | 1.44 | 1.25 |
| Producción (g/día) | 706 | 628 |
| Precio del novillo flaco (US$/kg) | 0.78 | 0.78 |
| Precio del novillo gordo (US$/kg) | 0.75 | 0.75 |
| Costos de establecimiento (US$/ha) | 113.75 | 95.00 |
| Fertilización de mantenimiento (US$/ha) | 24.05 | 4.37 |
| Tasa interna de retorno, TIR (% anual)[b] | | |
| • total | 40.89 | 36.64 |
| • marginal | — | 106.71 |
| Valor presente neto, VPN (1% mensual)[c] | | |
| • total | 471.5 | 372.9 |
| • marginal | — | 98.6 |

a. Cada tercer año, el tiempo de pastoreo se reduce en tres meses porque la pastura requiere descanso luego de su recuperación mediante rastra excéntrica (offset).

b. Definición de rentabilidades (R):
R. total: inversión en ganado, pasturas mejoradas y costos variables por animal, sin incluir la tierra ni la infraestructura de la finca.

R. marginal: inversión adicional requerida para establecer, y utilizar, una pastura asociada en comparación con la pastura de una gramínea pura.

c. Unidad: un novillo cebado anualmente durante los 15 años de vida útil de la pastura. La tasa de descuento del 1% mensual se emplea para ajustar el VPN.

presente de los beneficios percibidos (al 1% por mes) es de sólo US$15/animal por año.

- Hay dos factores que determinan la diferencia en los costos de establecimiento y de mantenimiento de la asociación y de la gramínea sola. El primero es la esperanza razonable de que el costo de la semilla de la leguminosa descienda, en términos reales, a medida que avanza el proceso de su adopción; el segundo es la necesidad de refertilizar la asociación. Si bien este análisis asumía la necesidad de refertilizar cada segundo año, la evidencia empírica indica que las asociaciones persisten en ausencia de dicha fertilización. En realidad, la mayor parte de los adoptadores tempranos no practican la refertilización mencionada.

## Utilización de *A. gayanus* en las fincas del sur del Valle del Cauca

*Andropogon gayanus* ha sido sometido a un número limitado de ensayos a nivel de la finca en el sur del Valle del Cauca, Colombia, una región cuyos suelos, del orden de los Ultisoles, son ácidos (pH 4.1-4.6) y muy pobres (2-4 ppm) en fósforo (Revelo, 1971; Sánchez e Isbell, 1979). La región posee un régimen bimodal de lluvias, en que el promedio de precipitación anual fue de 1700 mm en los cuatro años del período de observación considerado (Ramírez, 1983). Como ocurre en los Llanos Orientales, las ganancias de peso individuales obtenidas en la vegetación nativa son inferiores a los 200 g diarios, aunque la capacidad de carga es muy superior (Escobar et al., 1971).

En esta región se hicieron observaciones sobre la ganancia de peso de los novillos en pasturas de *A. gayanus* solo y de *A. gayanus*/*C. pubescens* CIAT 438 durante cuatro años consecutivos (Tergas et al., 1982; Ramírez, 1983). La carga aplicada fue de 2.5 animales/ha, pero a los seis meses se elevó a 3.3 animales/ha. Las ganancias individuales de peso fueron semejantes (Cuadro 20) al rango observado normalmente en los Llanos Orientales, y fue claro el efecto de la leguminosa acompañante en el logro de un mejor desempeño animal. Esta

Cuadro 20. Ganancias de peso de los novillos en dos pasturas de una finca situada al sur del Valle del Cauca, Colombia, de 1979 a 1982.[a]

| Pastura y variables | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 |
|---|---|---|---|---|
| *A. gayanus* | | | | |
| Período de pastoreo, PP (días) | 187 | 230 | 245 | 327 |
| Ganancia diaria (g) | 732 | 587 | 595 | 465 |
| Ganancia por PP y por ha (kg) | 342 | 446 | 481 | 502 |
| Ganancia diaria por ha (kg) | 1.84 | 1.94 | 1.96 | 1.54 |
| *A. gayanus/C. pubescens* | | | | |
| Período de pastoreo, PP (días) | — | 167 | 245 | 327 |
| Ganancia diaria (g) | — | 652 | 629 | 505 |
| Ganancia por PP y por ha (kg) | — | 359 | 509 | 545 |
| Ganancia diaria por ha (kg) | — | 2.15 | 2.08 | 1.67 |

a. La carga era de 2.5 an./ha en 1979, y de 3.3 an./ha entre 1980 y 1982.

mejoría fue especialmente notoria durante la estación seca (Ramírez, 1983) en la cual las pérdidas de peso fueron 40% menores en la asociación que en la gramínea pura. Estos datos son consistentes con las diferencias comunicadas sobre el contenido de proteína bruta de *A. gayanus* solo y del mismo pasto asociado (Ramírez, 1983).

## Conclusiones

Los resultados biológicos observados a lo largo de seis años de experimentación en las fincas en que se ensayó la asociación *A. gayanus/S. capitata* indican claramente la viabilidad técnica y económica de la misma. La diferencia de rentabilidad en favor de la asociación mejorará en la medida en que se logren reducciones reales del precio de la semilla, así como una reducción en los niveles de fertilización tanto en la que se hace a la siembra como en la de mantenimiento. Hay evidencia a nivel de la finca de que esto es factible.

Los ensayos a nivel de la finca demostraron también los riesgos altos que se corrían durante el período de establecimiento dados

los conocimientos y las metodologías de que se disponía en esa época. Desde entonces, el desarrollo de técnicas mejoradas (ver capítulo 'Establecimiento y Desarrollo...') ha permitido reducir esos riesgos que, dada su importancia, merecen un mejor análisis a nivel de la finca. Los mismos ensayos han demostrado que las pasturas basadas en *A. gayanus*/*S. capitata* han sido persistentes y productivas aun en condiciones de manejo subóptimas, tales como quemas accidentales, ausencia de fertilización de mantenimiento, pérdida y recuperación de sus componentes por sobrepastoreo. Aun en tales condiciones, esta tecnología sería más atractiva en otras regiones por razones económicas y climáticas, tal como lo sugieren Seré y Ferguson (ver capítulo 'Liberación de...'); no obstante, como lo demuestran los análisis hechos en los Llanos Orientales, ese atractivo depende del uso que se le asigne a las pasturas en el sistema de producción y de los recursos disponibles de la finca.

En términos más generales, el alto costo de los recursos financieros y del tiempo de experimentación con las pasturas y el ganado a nivel de la finca —así como las posibilidades limitadas de extrapolación de resultados— exigen sin duda que se complemente la estrategia con otras herramientas, tales como el modelaje bioeconómico y los estudios tempranos de adopción; de este modo, se acelerará el proceso de evaluación de la tecnología y aumentará la eficiencia de generación de esa tecnología. Es deseable también desarrollar metodologías de evaluación a nivel de la finca más eficientes y de menor costo (o de mayor cubrimiento espacial); se sugiere, no obstante, que esas metodologías serán más factibles a medida que se acumule la información y aumente la experiencia sobre los sistemas de producción de interés en la región.

## Agradecimientos

Los autores agradecen a Silvio Guzmán, a Raúl Botero, a Rubén Darío Estrada, a Tomás Romero y a Arnulfo Rodríguez su efectiva colaboración en la recolección y análisis de la información aquí presentada.

## Resumen

La investigación de las pasturas de *A. gayanus* en las fincas se ha usado como una etapa avanzada del proceso de evaluación de pasturas en los Llanos Orientales de Colombia. Este capítulo describe el enfoque de esa investigación y los resultados observados durante el período 1979-1985, desde el punto de vista tanto técnico como económico.

Las pasturas contenían *A. gayanus* solo o sembrado en asociación con *S. capitata;* casi todas se sembraron en fincas cuyo desempeño bioeconómico había sido previamente sometido a seguimiento.

Las siembras se hicieron en suelos preparados con la maquinaria disponible en las fincas, y fueron fertilizados, por hectárea, con 45 kg de $P_2O_5$, 11 kg de $K_2O$, 5 kg de Mg, y 11 kg de S. Mediante un acuerdo previo con los finqueros, las pasturas se usaron para evaluar diferentes categorías animales. Se describe aquí tanto la información obtenida como la metodología analítica empleada.

Se observó que la incorporación de un área muy pequeña (5.5%) de pastura de gramínea-leguminosa en una finca para cría produjo un gran incremento en la capacidad de gestación, e incrementos más modestos en el desempeño de vacas y terneros; esto originó tasas de retorno marginal competitivas. Estas últimas mejorarían mucho si se emplearan los precios internacionales de los insumos.

Aun cuando la cría de novillas de remplazo fue el uso menos atractivo, económicamente hablando, de los pastos, los beneficios biológicos de tal sistema fueron grandes. Asumiendo que las utilidades del sistema se percibieran cada cuatro o más años, la cría de novillas sería factible si se dispusiera de financiamiento a largo plazo. En contraste, la ceba de novillos viejos (de 3 o más años) y de vacas de remplazo demostró ser muy rentable. En relación con el tema, debe notarse que la pastura de gramínea/leguminosa hizo posible un cambio de sistema muy significativo: de la operación de cría de terneros se pasó al sistema de engorde de vacas y terneros.

Se concluye que este seguimiento de las fincas a largo plazo ha demostrado la factibilidad de la asociación *A. gayanus/S. capitata,* y ha proporcionado información detallada sobre la diferente rentabilidad de los varios usos que se pretende dar a esa asociación. No obstante, los resultados económicos mejorarán mucho más si se obtienen reducciones en los precios de la semilla y en las tasas de la fertilización de mantenimiento. Se sugiere finalmente que se investiguen más estos dos aspectos.

## Referencias


Amézquita, M. C. y Rojas, A. 1985. Metodología de procesamiento y análisis estadístico de la información. En: Vera, R. R. y Seré, C. (eds.). Sistemas de producción pecuaria extensiva: Brasil, Colombia, Venezuela. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 1-26.

Blydenstein, J. 1967. Tropical savanna vegetation of the Llanos of Colombia. Ecology 48:1-15.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1984. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1983. Cali, Colombia. 375 p.

———. 1986. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1985.Cali, Colombia. 408 p.

Escobar, G.; Ramírez, A.; de Pieri, M. y Gómez, V. 1971. Comportamiento de novillos cebú en pastoreo continuo y rotacional en pasto trenza. Bol. Téc. ICA (Colombia) 15:76-81.

Kleinheisterkamp, I. y Habich, G. 1985. Colombia; 1: estudio biológico y técnico. En: Vera, R. R. y Seré, C. (eds.). Sistemas de producción pecuaria extensiva: Brasil, Colombia, Venezuela. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 213-278.

Lascano, C. y Spain, J. M. 1986. Animal nutrition on rangelands of the tropical American savannas. En: Kalmbacher, R. S.; Coleman, S. S.; Lewis, C. E. y Tanner, G. W. (compos.). Proceedings of Tropical American Lowland Range Symposium. Memorias. Kissimmee, FL., E.U. p. 21-28.

Nores, G. A. y Estrada, R. D. 1978. Evaluación económica de sistemas alternativos de cría y engorde en los Llanos Orientales Colombianos. Trabajo presentado en el Taller sobre Pastos y Forrajes Tropicales, abril, 1978, Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Paladines, D. 1975. El manejo y la utilización de las praderas naturales en el trópico americano. En: Potencial para la producción de ganado de carne en América tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 23-44.

Ramírez, A. 1983. Mejores rendimientos en carne con *Andropogon* asociado. Pastos Trop. Bol. Inf. 5(3):5-7.

Revelo, C. F. 1971. Estudio de fertilidad y acidez en los suelos del sector Cali-Jamundí. Informe CVC 71-22. Corporación Autónoma Regional del Cauca (CVC), Cali, Colombia. 106 p.

Rivas, L. y Seré, C. 1984. Análisis de precios de insumos y productos ganaderos: 1983. Trabajo presentado en la Segunda Reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales, julio 1983, Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

——— y ———. 1985. Análisis de precios de insumos y productos ganaderos: 1984. Trabajo presentado en la Tercera Reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales, septiembre 1985, Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

Sánchez, P. A. e Isbell, R. F. 1979. Comparación entre los suelos de los trópicos de América Latina y Australia. En: Tergas, L. E. y Sanchez, P. A. (eds.). Producción de pastos en los suelos ácidos tropicales. Memorias. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 25-58.

Seré, C. y Estrada, R. D. 1985. Colombia; 2: análisis económico. En: Vera, R. R. y Seré, C. (eds.). Sistemas de producción pecuaria extensiva: Brasil, Colombia, Venezuela. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 279-335.

Tergas, L. E.; Ramírez, A.; Urrea, G. A.; Guzmán, S. y Castilla, C. 1982. Productividad animal potencial y manejo de praderas en un Ultisol de Colombia. Prod. Anim. Trop. (República Dominicana) 7:1-8.

# LIBERACION DE *ANDROPOGON GAYANUS* Y EVIDENCIA INICIAL DE SU ADOPCION E IMPACTO EN AMERICA TROPICAL

Carlos Seré y John E. Ferguson*

## Introducción

El objetivo final de todo proceso de investigación agropecuaria aplicada es generar tecnología útil para los productores. Para lograrlo, la tecnología propuesta debe ser apropiada a los sistemas de producción de ganado; además, debe hacerse conocer de manera efectiva, y ponerse a disposición de los productores. Sólo si se dan estas condiciones es posible esperar que los ganaderos decidan probar la tecnología y, eventualmente, incorporarla definitivamente a su sistema de producción.

En general, se acepta que la nueva tecnología o el cultivar propuestos para un sistema de producción son atractivos para el productor si aumentan los niveles de producción o reducen tanto costos como riesgos a nivel de la finca —o si lo[illegible]an ambas cosas. Si el proceso de adopción es importante, sus efectos se sentirán en el sector agropecuario y, por ende, en la economía regional o nacional.

El proceso de desarrollo de un cultivar que se desea liberar y su adopción generalizada en una región toman varios años, aun tratándose de cultivos anuales. Puede esperarse además que una especie forrajera perenne como *Andropogon gayanus,* destinada a sistemas extensivos de producción pecuaria en áreas de frontera agrícola, se difunda con mucha más lentitud.

* Carlos Seré es economista agrícola, sección de Economía del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia; John E. Ferguson es agrónomo, sección de Producción de Semillas del mismo Programa.

*A. gayanus* fue liberado comercialmente en 1980 en Brasil y Colombia, en 1982 en Perú y Venezuela, en 1983 en Panamá y en 1987 en México. Aunque es posible que los estudios de adopción e impacto parezcan prematuros, los autores consideran que las experiencias ganadas en la liberación de un cultivar ayudan a percibir ciertas tendencias. Este conocimiento haría más eficiente, en otras regiones, el proceso de liberación y difusión de *A. gayanus* y de otros cultivares de gramíneas y leguminosas.

## El Proceso de Liberación en Varios Países

El proceso formal de liberación consiste en la transición organizada que confiere a una accesión de germoplasma —considerada sobresaliente por uno o más de sus caracteres según evaluaciones sistemáticas— el status genético de cultivar. Además, este proceso facilita el suministro de semilla comercial. Una perspectiva general del proceso de liberación, que es particularmente complejo y dinámico en los nuevos cultivares de especies forrajeras, fue descrita por Ferguson (1985) en términos de sus componentes y de su secuencia de eventos. Aunque es relativamente fácil dar un nombre a un cultivar, es mucho más difícil desarrollar una estrategia para la producción y distribución adecuada de la semilla del nuevo cultivar en el mercado. Este proceso requiere tiempo, calificándose de efectiva la liberación de un cultivar sólo cuando se logra colocar en el mercado una cantidad inicial de semilla comercial.

Quienes tomaron parte en la liberación de *A. gayanus* tuvieron poca información previa, porque les faltaba experiencia en la liberación formal de cultivares forrajeros en sus países. El proceso de liberación se cumplió de manera independiente en cada país. En Colombia y Brasil se escribieron propuestas para iniciar la fase de revisión de información dentro del proceso de liberación; en Colombia se practicó además, como estrategia, una fase de preliberación —mientras se hacía la multiplicación de semilla básica— para estimular un debate técnico. En Panamá, y sólo en este país, más de una institución tomó la decisión de liberar el cultivar. Las experiencias con *A. gayanus* sugieren la

conveniencia de una comisión nacional que coordine los diversos componentes y fases del proceso de liberación.

La multiplicación de semilla básica recibió el énfasis apropiado. En Colombia y Brasil, el Programa de Pastos Tropicales y la Unidad de Semillas del CIAT hicieron una amplia multiplicación de semilla básica mediante un acuerdo previo logrado durante la fase de revisión. Esta semilla se vendió luego a las instituciones nacionales que organizaban la liberación. Por su parte, las instituciones nacionales también multiplicaron semilla básica adicional.

Durante 1980-1986, la accesión denominada CIAT 621 fue liberada formalmente en Colombia, Brasil, Venezuela, Perú y Panamá, y se libera actualmente en México (Cuadro 1). Es importante anotar que a esta sola accesión se le han asignado seis nombres diferentes como cultivares nacionales (Carimagua 1, Planaltina, San Martín, Sabanero, Llanero y Veranero), todos los cuales tienen el mismo origen genético. Es preferible mantener un solo nombre para un cultivar particular, pero es también natural que cada país desee darle a éste un nombre propio.

Cuadro 1. Datos sobre el proceso de liberación de la accesión CIAT 621 de *Andropogon gayanus* en varios países.

| País | Nombre del cultivar | Liberación decidida en: | | Fuente de semilla básica | Liberación efectiva en año: |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Institución | Año | | |
| Colombia | Carimagua 1 | ICA | 1980 | CIAT | 1981 |
| Brasil | Planaltina | EMBRAPA/ CPAC | 1980 | CIAT y EMBRAPA | 1981 |
| Venezuela | Sabanero | FONAIAP | 1982 | CIAT | 1984 |
| Perú | San Martín | INIPA | 1982 | INIPA y CIAT | 1984 |
| Panamá | Veranero | IDIAP, Universidad de Panamá, Banco Nacional de Panamá | 1983 | CIAT y local | 1985 |
| México | Llanero | INIFAP | 1987 | Local y CIAT | — |

Ferguson et al. (1985) llamaron la atención sobre esa situación para evitar confusiones en la identificación de los cultivares. Hoy en día, los nombres del cultivar son poco usados en el mercado, y el nombre más utilizado es 'Andropogon'.

La accesión CIAT 621 es una introducción heterogénea. Esta condición, combinada con una reproducción sexual por polinización cruzada (Foster, 1962), con la sensibilidad al fotoperíodo (Tompsett, 1976), y con la ausencia de certificación de la semilla, crea la posibilidad de que ocurra, con el tiempo, un sesgo genético (genetic shift) entre lotes de semilla procedentes de diferentes países.

Las instituciones nacionales hicieron algunas variaciones en la fase verdadera de la liberación. Esta comprendía principalmente la distribución de la semilla básica, los días de campo, y la publicación de boletines informativos. Por su parte, el CPAC en Brasil distribuyó pequeñas muestras de semilla a muchos ganaderos. En Colombia, el ICA vendió semilla básica a las empresas semillistas y a los ganaderos interesados; de ahí en adelante este instituto no intervino más en la liberación, y el mercado de semilla comercial se desarrolló por la acción de las fuerzas de oferta y demanda. En Brasil y Venezuela, una institución nacional dio asistencia técnica a los primeros productores de semilla mediante contratos de 1 a 2 años de duración.

El lapso entre la distribución inicial de semilla básica y la liberación efectiva (es decir, hasta la disponibilidad de semilla comercial en el mercado) fue generalmente de dos años. La decisión de iniciar, en Colombia y Brasil, una producción comercial de semilla en pequeña escala antes de la fase verdadera de liberación, aceleró el proceso.

## Participación de la Industria Semillista en la Difusión y Adopción de *A. gayanus*

*A. gayanus* era desconocido para la industria de semillas existente y para los clientes potenciales, es decir, los ganaderos. Sin embargo, era otra gramínea introducida de Africa y esto generó expectativas.

Aunque había una buena cantidad de semilla básica, ésta no se pudo distribuir directamente a los productores de semilla que tenían experiencia, porque eran pocos en número y algunos no demostraron mucho interés por el cultivar. La mayor parte de la semilla básica se distribuyó a los ganaderos interesados en evaluar personalmente el potencial forrajero del cultivar. Se desarrolló así, gradualmente, un grupo de multiplicadores de semilla.

Tres tipos de entidades tuvieron una participación significativa en la generación de una oferta comercial de semilla de *A. gayanus:*

1. Los adoptadores iniciales, es decir, los ganaderos innovadores que fueron los primeros en sembrar el pasto. Una vez establecidas sus pasturas vieron la posibilidad de cosechar la semilla. Esta práctica fue particularmente atractiva dados los elevados precios iniciales del cultivar, su alt· tasa de producción de semilla, y la facilidad con que ésta se cosechaba. La cosecha se hacía generalmente a mano aunque en Brasil se utilizaron también cosechadoras combinadas.

   La mayoría de los ganaderos innovadores utilizaron la semilla cosechada para hacer más siembras del pasto en sus propias fincas (autoabastacimiento de semillas). Algunos vendieron semilla a sus vecinos o a empresas de semillas. Esta actividad condujo a la reducción paulatina de los precios. A medida que el precio descendía en el mercado y que mayor área de sus fincas se sembraba con este cultivar, el interés de estos multiplicadores se redujo.

2. Empresas de semillas ubicadas cerca de las regiones de adopción inicial. Estas empresas produjeron semilla de *A. gayanus* mediante contratos de participación con los adoptadores iniciales. Su tarea principal era ejecutar la cosecha, el acondicionamiento, el almacenamiento, la distribución, la promoción, y la venta de la semilla.

   Es interesante notar que estas empresas eran generalmente pequeñas y de reciente fundación. Se pueden clasificar en dos tipos:

- *Empresas distribuidoras de insumos.* Estas empresas están en estrecho contacto con los adoptadores tempranos y están ubicadas en la región apta para el uso del pasto; viendo el comportamiento de éste decidieron incluir semillas de *A. gayanus* entre sus productos.

- *Pequeñas empresas semillistas.* Son empresas de ámbito regional que pudieron observar tempranamente el comportamiento de *A. gayanus,* y decidieron incluirlo entre los materiales producidos y comercializados por ellos. Estas empresas contaban con cierta experiencia en el manejo de semilla de otras gramíneas forrajeras como *Panicum maximum* y *Brachiaria* spp., y disponían de la infraestructura necesaria.

3. Otros promotores iniciales de *A. gayanus.* Además de los ganaderos y semillistas de tipo regional antes mencionados, se observó que algunos consultores e investigadores, aunque pocos en número, tuvieron un rol muy significativo en el proceso de difusión del cultivar. Su labor fue notable, particularmente si se recuerdan las limitadas actividades de los servicios de extensión y de otras entidades públicas en las etapas finales de la liberación del cultivar. Vale la pena destacar la contribución hecha al proceso de difusión por un programa de televisión rural en Brasil, en que se entrevistó a investigadores del centro que había liberado el cultivar y se mostraron pasturas establecidas en fincas de la región.

En resumen, la ausencia de una actividad oficial de promoción determinó que, en las etapas iniciales de difusión, *A. gayanus* fuera manejado por ganaderos y pequeñas empresas semillistas de las regiones con capacidad para adoptarlo. La facilidad de cosechar la semilla de este cultivar, la baja relación peso/volumen de la semilla, y la dificultad para limpiarla mecánicamente explican la ventaja comparativa de este tipo de empresas en relación con las grandes empresas nacionales o multinacionales.

## Estudios de Adopción e Impacto

Los estudios de adopción son un instrumento eficiente para documentar el grado de éxito logrado por una actividad de

investigación. Son también un instrumento valioso para identificar las razones que llevan a la adopción, los ajustes que requiere el sistema de producción, y las limitaciones del cultivar que tal vez requieran esfuerzos adicionales de investigación.

Dado el alto costo y la larga duración de los experimentos sobre ganadería y pasturas, los autores consideran que la evaluación del comportamiento de una tecnología a nivel de la finca es muy importante para las entidades de investigación y extensión.

Las formas típicas de multiplicación de *A. gayanus* dificultan los estudios de adopción, porque además de su fácil producción en las fincas, el libre intercambio o comercialización entre regiones vecinas, por fuera de los canales comerciales formales, entorpece la cuantificación de las áreas sembradas. Tampoco es posible estimar esas áreas según el volumen del producto vendido en el mercado, ya que, como especie forrajera, es un producto intermedio de la producción de carne y leche.

Otra dificultad reside en que es un cultivo perenne de persistencia variable, lo que implica la necesidad de cuantificar las tasas de degradación. Pero dado el carácter reciente de la liberación del cultivar no fue posible obtener esta información mediante encuestas.

La técnica convencional de usar muestreos al azar para estimar las tasas de adopción y caracterizar a los adoptadores es costosa, y su efectividad se reduce cuando se analizan procesos incipientes de adopción, dadas las bajas tasas de adopción que se observan; es decir, hay que encuestar a un gran número de los que no adoptan el pasto para obtener un número suficiente de adoptadores que permita hacer inferencias sobre las características de éstos. La alternativa es seguir una metodología basada en un muestreo dirigido de adoptadores tempranos. Estos muestreos se inician con la obtención de un listado completo de los que compran semilla en las casas comerciales. En el curso de la encuesta se obtienen más nombres de adoptadores tempranos, tanto de otros adoptadores tempranos, como de extensionistas y de otros informantes familiarizados con el material.

El objeto de estas encuestas es determinar las características de los adoptadores tempranos, los mecanismos de difusión del material, los usos del cultivar en el sistema de producción, y las opiniones del productor en cuanto a las ventajas y los inconvenientes del material. No pretenden cuantificar la tasa de adopción. Una variable particularmente interesante es el área ocupada en la finca por el cultivar, tanto en unidades físicas como en porcentaje, y los factores que determinaron el tamaño de esa área.

A continuación se presentan, en forma resumida, algunos estudios de adopción e impacto que se hicieron siguiendo, en líneas generales, esta metodología.

## Adopción de *A. gayanus* en Colombia, 1983

Este primer estudio ejecutado a fines de 1983 se comunicó en detalle en los informes anuales de 1983 y 1984 del Programa de Pastos Tropicales (CIAT, 1984; CIAT, 1985). El Cuadro 2 presenta la evolución del área de *A. gayanus* en 57 fincas que adoptaron tempranamente este cultivar en Colombia durante el período 1979-1983. Lo que más llama la atención es la movilización de *A. gayanus* fuera de los Llanos Orientales, particularmente hacia la costa norte, manifestada en mayores áreas sembradas con este cultivar y en el interés por producir su semilla en esa región.

Cuadro 2. Evolución del área sembrada con *Andropogon gayanus* en 57 fincas de adopción temprana en Colombia, en 1979-1983.

| | Area sembrada (ha) en: | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Región | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 |
| Llanos Orientales | 5 | 191 | 560 | 1682 | 2087 |
| Magdalena medio | 8 | 36 | 205 | 705 | 1013 |
| Costa norte | 29 | 129 | 624 | 1208 | 1902 |
| Total | 42 | 356 | 1389 | 3595 | 5002 |

Lo que los productores esperaban de *A. gayanus* se relacionaba claramente con los problemas de las regiones: forraje para la época seca en la Costa Norte, y pastura adaptada a los suelos pobres en la región del Magdalena Medio donde la época seca no es tan severa. En los Llanos Orientales, en cambio, no se encontró un patrón definido de las ventajas esperadas del cultivar.

Resulta interesante observar que la habilidad de *A. gayanus* para asociarse con las leguminosas —uno de sus principales méritos desde la perspectiva de los investigadores— fue mencionada una sola vez en el estudio de 1983. Este resultado refleja el escaso conocimiento que los ganaderos tenían del papel de las leguminosas en las pasturas.

## Adopción e impacto de *A. gayanus* en la costa norte de Colombia

La primera encuesta había revelado buena adaptación de *A. gayanus* en la costa norte de Colombia, especialmente en el Departamento del Cesar. Una visita a esta región reveló que unos pocos empresarios producían, en grandes fincas, de 60 a 70 toneladas de semilla al año. Parte de ésta se vendía a comerciantes de semilla en los Llanos Orientales y en Venezuela pero la mayor cantidad se empleaba en la costa norte y, en particular, en el Departamento del Cesar.

Este resultado condujo a una encuesta de adoptadores tempranos en 1985. Se obtuvieron listas de compradores de semilla en las principales firmas productoras. Se tomó una muestra al azar entre las personas que compraron menos de 200 kg y se incluyeron todos los compradores de más de 200 kg. La encuesta contenía preguntas sobre las características generales de la finca, el manejo de las pasturas, en especial las de *A. gayanus*, y sobre los planes futuros de los compradores respecto a este cultivar. Se visitaron lotes de *A. gayanus*, se tomaron muestras de suelo, y se hicieron las siguientes medidas: profundidad del suelo, tamaño de la planta (diámetro de las matas madres), y densidad de plantas tanto de *A. gayanus* y otras gramíneas como de leguminosas y malezas (número de plantas en

un trayecto de muestreo de 5 m). En total, 66 fincas fueron encuestadas y se analizaron 1103 trayectos de muestreo de 5 m.

La Figura 1 muestra la distribución de las fincas encuestadas en el Departamento del Cesar, clasificadas por el tamaño del área en que *A. gayanus* se había establecido. Sin duda, la adopción se ha concentrado en la parte norte del departamento.

Las fincas se clasificaron en tres categorías según el área sembrada con *A. gayanus* que tenía cada finca al momento de la encuesta. El tamaño de las fincas y el uso que dan a la tierra difieren notoriamente entre las categorías (Cuadro 3). Estos datos indican claramente un mejor desempeño de la tecnología en las fincas más grandes, donde hay generalmente una mayor proporción de tierras marginales y donde el uso de la tierra en ganadería tiene mayor importancia relativa. Sin embargo, aun las fincas más grandes incluyen cultivos comerciales y de subsistencia en los suelos más fértiles.

La producción animal en el Departamento del Cesar comprende un importante sistema de producción de doble propósito (carne y leche) y la ceba de novillos. La importancia relativa del doble propósito es mayor en las fincas pequeñas (Cuadro 4) donde hay menos *A. gayanus* y más de otras pasturas

Cuadro 3. Uso del suelo en las fincas que adoptan a *A. gayanus* en el Departmento del Cesar, Colombia.

| Variable de encuesta | Categoría de la finca[a] | | |
|---|---|---|---|
| | (1-20 ha) | (21-50 ha) | ( > 50 ha) |
| Fincas encuestadas (no.) | 37 | 18 | 11 |
| Area (ha) con: | | | |
| • *A. gayanus* | 8 | 35 | 182 |
| • *P. maximum* + *H. rufa* + *D. aristatum* | 126 | 438 | 570 |
| • Sabanas | 98 | 30 | 225 |
| • Otros pastos y barbechos | 112 | 66 | 114 |
| • Cultivos | 23 | 105 | 67 |
| Area total de la finca (ha) | 367 | 674 | 1158 |

a. Los paréntesis contienen el área sembrada con *A. gayanus* (rangos, en hectáreas) en cada categoría.

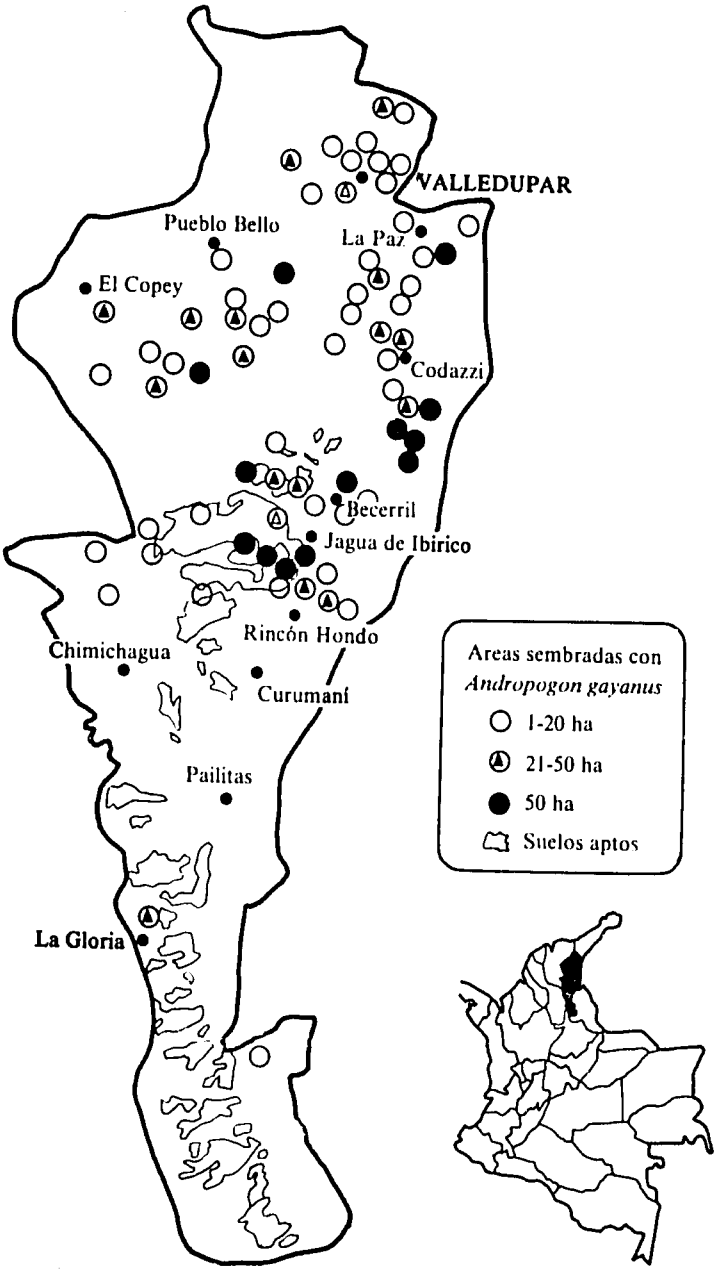



Figura 1. Localización de las fincas encuestadas en el Departamento del Cesar, Colombia.

Cuadro 4. Inventario ganadero de las fincas que adoptan a *A. gayanus* en el Cesar, Colombia.

| Animales | Categoría de la finca:[a] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | (1-20 ha) | | (21-50 ha) | | ( > 50 ha) | |
| | Epoca seca | Epoca húmeda | Epoca seca | Epoca húmeda | Epoca seca | Epoca húmeda |
| Vacas de doble propósito (no.) | 107 | 112 | 117 | 127 | 402 | 409 |
| Novillos (no.) | 56 | 83 | 178 | 199 | 506 | 528 |
| Total, en hato | 348 | 381 | 607 | 654 | 1306 | 1423 |

a. Los paréntesis contienen el área sembrada con *A. gayanus* (rangos, en hectáreas) en cada categoría.

(Cuadro 3). Sin embargo, el número absoluto de vacas de doble propósito se incrementa sustancialmente en la categoría en que se siembran más de 50 ha de *A. gayanus*.

Para ilustrar el proceso de adopción temprana, se construyó un árbol diagramático de decisión que indicaba el número de agricultores que continuaban sembrando *A. gayanus* una vez que lo habían ensayado, y el promedio de área sembrada por aquéllos que continuaban expandiendo el área útil de la finca (Figura 2). Este análisis se hizo para cada año desde la fecha de la liberación original del cultivar. Los datos de 1985 no figuran porque la encuesta se realizó antes de que terminara la época de siembra. El primer año es atípico porque el ganadero que introdujo el material en la región encontró un buen mercado para su semilla y continuó expandiendo el área sembrada para incrementar la producción de semilla. En los años siguientes, el número de finqueros aumentó y ya hay 20 con áreas sembradas relativamente significativas. Estas áreas iniciales tienden a aumentar en tamaño con el tiempo, lo que refleja la confianza creciente en la tecnología, un menor precio de la semilla, y una amplia oferta de la misma.

Al mismo tiempo, un número significativo de personas que sembraban por primera vez abandonaban esa pastura, mientras que los verdaderos adoptadores aumentaban rápidamente el tamaño de su pastura. Este resultado parece indicar que un gran

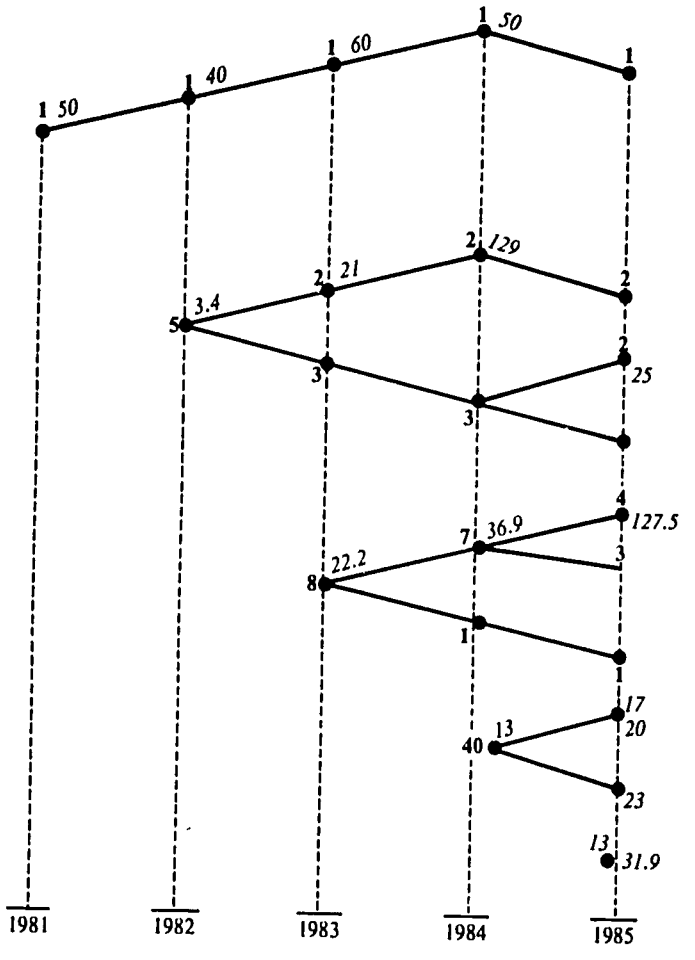



Figura 2. Secuencia de adopción de *A. gayanus:* número de adoptadores (cifra en negrita) que continuaron ampliando el área sembrada con *A. gayanus* (cifra en bastardilla) en el Departamento del Cesar, Colombia. Un ejemplo aclarará el diagrama: en 1982, cinco finqueron sembraron, cada uno, en promedio, 3.4 ha con *A. gayanus.* Al año siguiente, dos de estos cinco ganaderos ampliaron el área sembrada hasta tener cada uno, en promedio, 21 ha con *A. gayanus;* los otros tres no lo sembraron este año, ni en 1984 (año en que los dos primeros sembraron , en promedio, 129 ha). En 1985, dos de los tres últimos ganaderos sembraron de nuevo la gramínea, a un promedio de 25 ha cada uno; el tercero de éstos decidió no sembrarla, y lo mismo hicieron los dos primeros.

número de productores ensayaron un nuevo cultivar de gramínea que prometía adaptarse bien a los suelos pobres. Muchos hallaron que el pasto no era apto para las condiciones de su finca y otros, después de sembrarlo varios años, cubrieron con el nuevo material toda la tierra de la finca apropiada para éste, y luego descontinuaron las siembras. Este fenómeno es importante en la adopción de praderas que, por ser perennes, se comportan de modo diferente al de los cultivos anuales.

Las grandes variaciones en calidad observadas en los lotes de *A. gayanus* indicaban la necesidad de un análisis de regresión para explicar los principales factores que afectaban la expansión del área sembrada. En el Cuadro 5 se presenta el análisis realizado en todos los lotes muestreados, con excepción de los sembrados en 1985: a la fecha del estudio, éstos se hallaban en fase de establecimiento, por lo cual sus datos sobre cobertura del pasto no podían evaluarse. Los siguientes son los principales resultados de ese análisis:

- Los suelos mal drenados tienen un efecto muy negativo.
- Los lotes en que se sembró antes un cultivo tienen un mayor índice de cobertura.
- Incrementos en el porcentaje de arena del suelo producían mayores índices de cobertura de *A. gayanus.*
- La profundidad del suelo ejerce un efecto que no es lineal: los suelos superficiales tienen un efecto negativo notorio en los lotes de *A. gayanus.*
- La salinidad afecta negativamente a *A. gayanus,* aun en niveles bajos (menos de 1 mmho/cm).
- Hay alta correlación positiva entre los índices de aluminio y los índices de cobertura, que confirman la adaptación del pasto a los suelos ácidos.
- *A. gayanus* reacciona negativamente a las siembras tardías.

Aunque ninguna variable de manejo, como el régimen de pastoreo, la carga o el control de malezas, se incluye en el

Cuadro 5. Modelo explicativo de la cobertura de *A. gayanus* en los suelos del Departamento del Cesar, Colombia, hasta 1985.

| Variables independientes[a] | Media | Rango | Coeficiente de regresión ($\beta$) | Significancia ($\alpha$) |
|---|---|---|---|---|
| 1. Constante | | | -101.786 | — |
| 2. VB[b] (dummy): suelo mal drenado | | | -159.811 | 0.001 |
| 3. Densidad de siembra (kg/ha) | 10.72 | 4-25 | 6.131 | 0.001 |
| 4. VB[b] (dummy): uso previo del lote (cultivos) | | | 97.952 | 0.001 |
| 5. Arena (%) | 43.39 | 4.3-78 | 2.261 | 0.001 |
| 6. Raíz cuadrada de la profundidad del suelo (cm) | 3.75 | 1-8.36 | 46.309 | 0.001 |
| 7. Salinidad (mmho/cm) | 0.47 | 0-3.75 | -72.620 | 0.003 |
| 8. Salinidad al cuadrado | 0.72 | 0-14.06 | 6.622 | 0.390 |
| 9. Aluminio (meq/100 g suelo) | 0.04 | 0-1.30 | 385.361 | 0.001 |
| 10. VB[b] (dummy): siembras tardías | | | 105.284 | 0.001 |
| Observaciones (no.) | | | 982 | |
| Coeficiente de determinación múltiple ($R^2$) | | | 0.431 | |

a. La variable dependiente es el índice de cobertura de *A. gayanus* (cm/5 m de trayecto de muestreo).
b. VB = variable binaria.

análisis, este modelo explica el 43% del total de la varianza encontrada y muestra la importancia de las características del suelo y del manejo en los distintos niveles de productividad de esta gramínea.

Un segundo modelo se empleó para las fincas con más de 10 ha de *A. gayanus,* que confirmó básicamente los resultados del primer modelo y elevó el coeficiente de determinación a 54% (Cuadro 6).

La información anterior se usó para desarrollar un modelo de regresión que permitiera explicar cuánta área, por finca, se sembraba con *A. gayanus* (Cuadro 7). El aluminio ejerció nuevamente su influencia en el área sembrada, y lo mismo hizo la disponibilidad de áreas de sabana dentro de la finca. Estos resultados indican que hay áreas arenosas e infértiles sin vegetación arbórea, que serían aptas para sembrar *A. gayanus* aunque esté presente en ellas el Al. Finalmente, el número de años en que el ganadero ha sembrado el cultivar estaba directamente relacionado con el área sembrada. Esto refleja la influencia de la limitada disponibilidad de semilla en los primeros años y la capacidad de los finqueros de producir su propia semilla cuando desean expandir el área sembrada con *A. gayanus.* Los factores mencionados anteriormente explican el 60% de la varianza total observada en el área sembrada con *A. gayanus* en las fincas.

La estrecha relación hallada entre las características del suelo, de una parte, y el comportamiento de *A. gayanus* y su mayor cobertura a nivel de finca, de la otra, llevó a clasificar las muestras de suelo tomadas para la siembra de *A. gayanus* en 'potenciales' si en el suelo había aluminio, 'no aptas' cuando se detectaba salinidad, e 'intermedias' cuando no se encontraba ni aluminio ni salinidad en el suelo. Se compararon muestras de suelo en parcelas 'fértiles' donde crecían pasturas de *Panicum maximum* y *Dichantium aristatum.* Aun los suelos potenciales son sustancialmente más ricos en fósforo, potasio, calcio y magnesio que los suelos típicos de los Llanos Orientales de Colombia, cuya saturación de Al es alta y donde se encuentra sólo una cuarta parte de los nutrimentos esenciales (Cuadro 8).

Cuadro 6. Modelo explicativo (fincas > 10 ha) de la cobertura de *A. gayanus* en suelos del Departamento del César, Colombia, en 1985.[a]

| Variables independientes[b] | Media | Rango | Coeficiente de regresión ($\beta$) | Significancia ($\alpha$) |
|---|---|---|---|---|
| 1. Constante | | | -96.047 | — |
| 2. VB[c] (dummy): suelo pobremente drenado | | | -163.608 | 0.001 |
| 3. Densidad de siembra (kg/ha) | 10.75 | 4-25 | 2.433 | 0.238 |
| 4. VB[c] (dummy): uso previo del lote (cultivos) | | | 193.048 | 0.001 |
| 5. Raíz cuadrada de la profundidad del suelo (cm) | 3.89 | 1-8.36 | 65.364 | 0.001 |
| 6. Salinidad (mmho/cm) | 0.24 | 0-2.35 | -252.572 | 0.001 |
| 7. Salinidad al cuadrado | 0.23 | 0-5.52 | 184.173 | 0.004 |
| 8. Aluminio (meq/100 g suelo) | 0.07 | 0-1.30 | 396.995 | 0.001 |
| 9. Sodio (meq/100 g suelo) | 0.11 | 0-5.90 | -247.831 | 0.001 |
| 10. Descanso (días) | 32.96 | 0-180 | 2.573 | 0.001 |
| Observaciones (no.) | | | 585 | |
| Coeficiente de determinación múltiple ($R^2$) | | | 0.543 | |

a. Excluye las siembras de 1985.
b. La variable dependiente es el índice de cobertura de *A. gayanus* (cm/5 m de trayecto de muestreo).
c. VB = variable binaria.

Cuadro 7. Modelo explicativo del área sembrada con *A. gayanus* por finca en el Departamento del Cesar, Colombia, en 1985.

| Variable independiente[a] | Coeficiente de regresión ($\beta$) | Significancia ($\alpha$) |
|---|---|---|
| 1. Constante | -0.397 | - |
| 2. Aluminio (meq/100 g suelo) | 137.077 | 0.025 |
| 3. Areas en sabana (ha) | -0.134 | 0.086 |
| 4. Número de años sembrando *A. gayanus*, al cuadrado | 14.608 | 0.000 |
| 5. Area en sabana, al cuadrado (ha) | 8.655 | 0.101 |
| Observaciones (no.) | | 66 |
| Coeficiente de determinación múltiple ($R^2$) | | 0.596 |

a. La variable dependiente es el área sembrada (ha) con *A. gayanus* en cada finca.

Cuadro 8. Suelos de las fincas en que se siembra *A. gayanus*, en el Departamento del Cesar, Colombia.

| Variable | Suelos del Cesar | | | | Suelos de los Llanos Orientales |
|---|---|---|---|---|---|
| | Apto | Intermedio | No apto | Fértil | |
| Muestras (no.) | 9 | 39 | 47 | 32 | (18)[a] |
| pH | 5.08 | 5.77 | 6.86 | 6.29 | 4.50 |
| P (ppm) | 11.07 | 35.68 | 103.00 | 74.10 | 1.60 |
| K (meq/100 g) | 0.16 | 0.29 | 0.53 | 0.43 | 0.08 |
| Ca (meq/100 g) | 1.51 | 5.60 | 15.22 | 9.47 | 0.10 |
| Mg (meq/100 g) | 0.32 | 1.19 | 2.69 | 2.19 | 0.02 |
| Saturación de Al (%) | 24.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 93.30 |

a. Perfiles de 0-20 cm representativos de esa región (Proyecto ETES).

Esta diferencia contribuye a explicar por qué *A. gayanus* no es fertilizado en la costa norte de Colombia. La reducción en los costos, comparada con los requerimientos de fertilización para el establecimiento de la gramínea en los Llanos, es una de las razones de la elevada tasa de adopción de ésta en el Cesar.

El ICA suministró un mapa de Colombia producido por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) que permitía

identificar unidades de suelo que contenían aluminio. Este mapa identificó 200,000 ha de suelos alumínicos en la parte plana del Departamento del Cesar y 400,000 ha en toda la costa norte (Figura 3). Superponiendo este mapa a la información sobre la adopción de *A. gayanus* en el Cesar, se observó que las mayores áreas sembradas con esta gramínea (más de 50 ha) se hallaban sobre esos suelos con aluminio, particularmente en el centro del departamento. El análisis de los patrones de precipitación, en especial la duración y la severidad de la época seca, conducen a la hipótesis de que *A. gayanus* compite ventajosamente con otros pastos, especialmente con *B. decumbens,* cuando se presentan

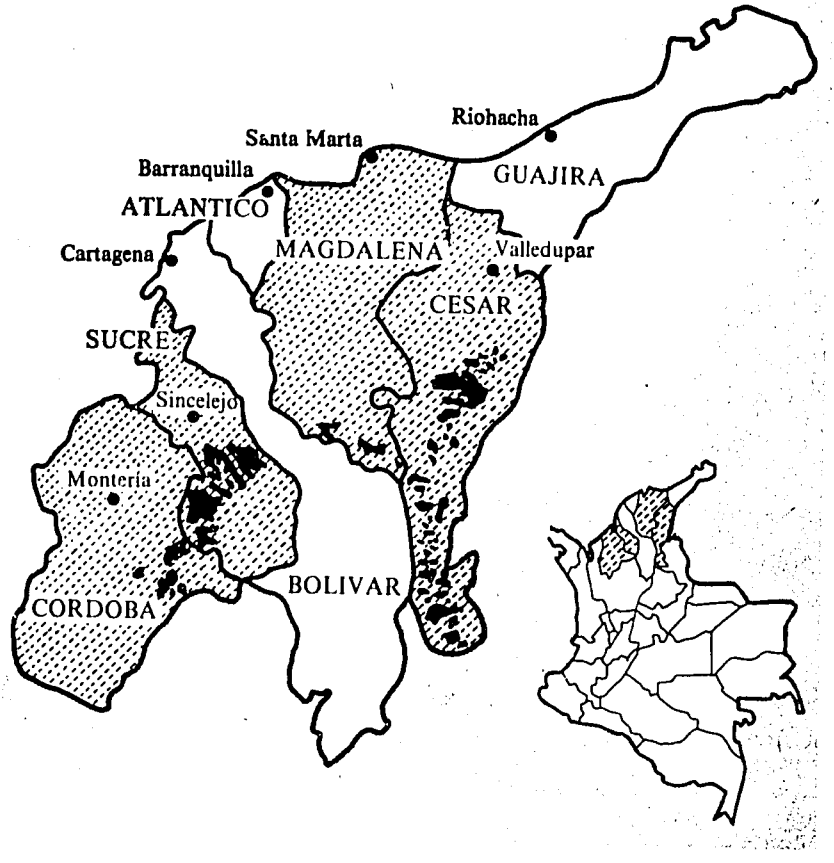



Figura 3. Areas potenciales ( ) para la siembra de *Andropogon gayanus* en la costa norte de Colombia.

períodos secos de cinco meses o de mayor duración. En el sur del Cesar, la época seca no es tan larga, por lo cual *A. gayanus* se adapta mejor a las condiciones de la región central del Cesar (Estrada, 1986).

En términos del esfuerzo de investigación, el impacto de esta gramínea en la costa norte de Colombia se considera un beneficio adicional derivado de la labor principal de desarrollar germoplasma para los suelos ácidos e infértiles de América tropical.

Para cuantificar la magnitud de esta adopción potencial en el Cesar, se hicieron los siguientes supuestos:

| | |
|---|---|
| 1. Area potencialmente apta para la siembra de *A. gayanus* (ha) | 109,000 |
| 2. Tamaño promedio de la finca (ha) | 1,158 |
| 3. Fincas potencialmente aptas (no.) | 95 |
| 4. Area promedio de suelos aptos por finca (ha) | 407 |
| 5. Límite superior del número de fincas que adoptan (70% de 3.) | 66 |
| 6. Límite superior del área (ha) apta por finca (70% de 4.) | 284 |

El mayor impacto esperado viene del incremento en la carga tanto en la época húmeda como en la seca y del incremento de peso vivo por animal (Cuadro 9). Para hacer una comparación, se presentan los valores correspondientes a gramíneas establecidas en los Llanos, tanto solas como en asociación. Los supuestos sólo consideran el impacto hecho en fincas similares a las que hoy tienen más de 50 ha con *A. gayanus;* no se consideran los beneficios obtenidos por otras fincas que siembran este cultivar cuando en ellas el beneficio derivado de *A. gayanus* es menor.

Los costos de establecimiento se limitan al de la semilla y al de una mínima preparación del terreno, lo que representa una inversión por hectárea muy inferior a la que se hace en los Llanos. De modo semejante, los costos de mantenimiento son inferiores a los requeridos en los Llanos Orientales (Cuadro 10).

Cuadro 9. Impacto físico de *A. gayanus* en el Cesar comparado con el de las gramíneas (tanto en monocultivo como en asociación) de los Llanos Orientales de Colombia, durante las épocas seca (ES) y lluviosa (EL) del año.

| Variables | Impacto en Cesar *A. gayanus* | | Impacto en Llanos Orientales | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Gramínea pura | | Asociación | |
| | EL | ES | EL | ES | EL | ES |
| Del pasto nativo: | | | | | | |
| Carga (UA/ha) | 1 | 0 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| Producción (kg/UA) | 100 | 0 | 75 | 0 | 75 | 0 |
| De la pradera establecida: | | | | | | |
| Carga (UA/ha) | 1.5 | 1 | 1.5 | 1.0 | 8 | 1 |
| Producción (kg/UA) | 150 | 45 | 130 | 25 | 150 | 25 |
| Carga marginal (UA/ha) | 0.5 | | 1.3 | | 1.6 | |
| Producción marginal (kg/ha) | 170 | | 205 | | 280 | |
| Persistencia (años) | 15 | | 15 | | 15 | |

Cuadro 10. Costos de establecimiento y de mantenimiento de *A. gayanus* en el Cesar comparados con los de las gramíneas (tanto en monocultivo como en asociación) de los Llanos Orientales de Colombia.

| Práctica agrícola | Costo[a] en Cesar *A. gayanus* | | Costo[a] en Llanos Orientales | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Gramínea pura | | Asociación | |
| | (US/ha) | (%) | (US$/ha) | (%) | (US$/ha) | (%) |
| En establecimiento | | | | | | |
| Preparación | 9.42 | 30 | 10.43 | 11 | 10.43 | 11 |
| Siembra | 21.70 | 70 | 36.21 | 39 | 42.41 | 43 |
| Fertilización | 0 | 0 | 45.88 | 50 | 45.88 | 46 |
| Total | 31.12 | 100 | 92.52 | 100 | 98.72 | 100 |
| En mantenimiento | | | | | | |
| Fertilización[b] | 0 | 0 | 22.94 | 100 | 22.94 | 100 |
| Control malezas[c] | 6.20 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 6.20 | 100 | 22.94 | 100 | 22.94 | 100 |

a. Tasa de cambio: 1 US$ = 161.29 Col$.
b. Cada tres años.
c. Cada año.

La inversión por hectárea (en pastura, en ganado adicional, etc.) representa cerca de US$145 en el Cesar y entre US$340 y US$440 en los Llanos. El flujo de caja durante los primeros 15 años es

más alto en los Llanos (Cuadro 11), pero la tasa interna de retorno marginal es sustancialmente más alta en el Cesar (78% por año) que en las dos alternativas de los Llanos (33% y 39% por año).

Cuadro 11. Flujo de inversión (Fl) en pasturas de *A. gayanus* en el Cesar, comparado con el de las gramíneas (en monocultivo y en asociación) de los Llanos Orientales de Colombia.

| Rubro | Fl en Cesar[a] | Fl en Llanos Orientales[a] | |
|---|---|---|---|
| | *A. gayanus* (US$/ha) | Gramínea pura (US$/ha) | Asociación (US$/ha) |
| Inversión | | | |
| En pasturas | 31.12 | 92.51 | 98.71 |
| En novillos, marginal | 106.95 | 241.80 | 297.60 |
| En otros | 7.75 | 6.45 | 7.94 |
| Total | 145.82 | 340.76 | 404.25 |
| Ingreso neto | | | |
| Año 1 | 113.46 | 121.27 | 166.28 |
| Año 3 | 113.46 | 98.33 | 143.34 |
| Año 15 | 220.41 | 363.07 | 463.88 |
| TIR (%) | 77.79 | 33.25 | 39.22 |

a. Tasa de cambio: 1 US$ = 161.29 Col$.

Para determinar el impacto de la tecnología a nivel regional, se supuso que las fincas la adoptaban según el siguiente esquema:

| Año | Fincas que Adoptan (%) |
|---|---|
| 1 | 1.5 |
| 2 | 3.0 |
| 3 | 7.5 |
| 4 | 16.0 |
| 5 | 22.0 |
| 6 | 22.0 |
| 7 | 16.0 |
| 8 | 7.5 |
| 9 | 3.0 |
| 10 | 1.5 |

Se hicieron también los siguientes supuestos respecto a las áreas sembradas por finca y por año:

| Año | Area sembrada (ha) |
|---|---|
| 1 | 4 |
| 2 | 50 |
| 3 | 80 |
| 4 | 80 |
| 5 | 20 |

Al nivel agregado se compararon cuatro alternativas (Cuadro 12). Con el mismo nivel de adopción del Cesar, en los Llanos Orientales se necesitará un número muy superior de novillos para la ceba. Si se expresa el número adicional de novillos requeridos como porcentaje de los novillos disponibles en la región en 1981, se obtienen los siguientes valores: 5% para el Cesar, 1% para la costa norte, 16% para la tecnología de gramínea pura en los Llanos, y 20% para la tecnología de asociación de gramíneas y leguminosas en esta misma región.

Cuadro 12. Impacto de la adopción de *A. gayanus* en el Cesar y en la costa norte de Colombia, comparado con el de las gramíneas (en monocultivo y en asociación) de los Llanos Orientales de Colombia.

| Variable | En Cesar | En costa norte | En Llanos Orientales | |
|---|---|---|---|---|
| | *A. gayanus* | *A. gayanus* | Gramínea pura | Asociación |
| Fincas (no.) | 66 | 121 | 66 | 66 |
| Areas sembradas con *A. gayanus* (ha) | | | | |
| Año 5 | 1982 | 2244 | 1982 | 1982 |
| Año 10 | 16554 | 26106 | 16554 | 16554 |
| Año 15 | 18744 | 34578 | 18744 | 18744 |
| Novillos adicionales requeridos (no.) | | | | |
| Año 5 | 991 | 1122 | 2576 | 3171 |
| Año 10 | 8277 | 13053 | 21520 | 26486 |
| Año 15 | 9372 | 17289 | 24367 | 29990 |

Estos datos indican claramente que, mientras la adopción sea factible y no afecte el precio del ganado en la costa norte, lo contrario podrá ocurrir en los Llanos Orientales.

En el Cuadro 13 se presenta el impacto agregado de las cuatro alternativas en términos de la producción adicional de carne y del flujo de efectivo, a través del tiempo y a los precios constantes de 1985. Si se considera la producción de la costa norte de Colombia como un beneficio adicional de la investigación en los Llanos y no se consideran esfuerzos de extensión diferentes a los que hacen los productores de semillas (ya incluidos en el precio de la semilla pagado por los ganaderos), la tasa interna de retorno corresponde a la obtenida a nivel de la finca. El mayor valor presente neto (a una tasa de descuento del 10%) corresponde a la alternativa de *A. gayanus* en toda la costa norte, seguida por las asociaciones en los Llanos, por *A. gayanus* en el Cesar y, finalmente, por las gramíneas en los Llanos Orientales. Sin embargo, a causa de los diferentes valores de la inversión inicial, este criterio no es apropiado y se obtiene un ordenamiento

Cuadro 13. Impacto de adopción de *A. gayanus* en el Cesar y en la costa norte de Colombia, comparado con el de las gramíneas (en monocultivo y en asociación) de los Llanos Orientales de Colombia.

| Variable | En Cesar | En costa norte | En Llanos Orientales | |
|---|---|---|---|---|
| | *A. gayanus* | *A. gayanus* | Gramínea pura | Asociación |
| Fincas (no.) | 66 | 121 | 66 | 66 |
| Producción de carne (t) | | | | |
| Año 5 | 336 | 381 | 408 | 557 |
| Año 10 | 2814 | 4438 | 3410 | 4651 |
| Año 15 | 3186 | 5878 | 3861 | 5267 |
| Promedio | 1707 | 2945 | 2068 | 2821 |
| Flujo de efectivo[a] (miles US$) | | | | |
| Año 5 | -81 | -106 | -318 | -362 |
| Año 10 | 1250 | 1625 | 812 | 1312 |
| Año 15 | 2125 | 3875 | 2125 | 3000 |
| VPN (10%) | 6250 | 11250 | 5062 | 7500 |
| TIR (%) | 78 | 78 | 33 | 39 |

a. VPN = valor presente neto; TIR = tasa interna de retorno.

diferente cuando se utiliza como criterio la tasa interna de retorno. En tal caso, el Cesar y la costa norte, con 78% por año, superan ampliamente la tasa interna de retorno de 39% de la asociación y la de 33% de la gramínea pura en los Llanos Orientales.

De la información suministrada podemos concluir lo siguiente:

- Aunque esta tecnología ha sido desarrollada para suelos ácidos e infértiles, *A. gayanus* puede hacer impacto en otros nichos muy específicos, como los suelos moderadamente ácidos de la costa norte que contienen Al.

- Como puede esperarse de una tecnología que utiliza pocos insumos externos, su funcionamiento depende mucho de los recursos naturales, particularmente del suelo y del clima. Como estos recursos son muy variables en las fincas ensayadas en el Cesar, la adopción no es uniforme sino muy selectiva.

- La rápida adopción inicial en el Cesar puede explicarse por las siguientes razones: el bajo costo de oportunidad de la tierra marginal, el gran impacto en la producción de forraje, el bajo costo de establecimiento, la abundante existencia de ganado en las fincas, y el papel complementario de *A. gayanus* respecto a otros pastos establecidos en las tierras más fértiles de la misma finca.

- La alta tasa interna de retorno lograda (78% por año) es un fuerte incentivo para la adopción, la cual se ha realizado sin intervención del sector oficial y en años en que los precios del ganado eran bajos y las condiciones socioeconómicas no eran propicias para la inversión en pasturas.

## *Andropogon gayanus* en el Centro de Brasil

**Encuesta a la industria de semilla de pastos tropicales.** En cooperación con el Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) de EMBRAPA y de la Sección de Semillas del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, se realizó una encuesta a los principales productores y distribuidores de semilla de pastos tropicales para establecer el grado de difusión de *A. gayanus* en Brasil (de Andrade et al., 1985).

Los principales aspectos de importancia económica de esa encuesta fueron:

- El volumen de semilla de *A. gayanus* manejado por los grandes productores de semilla fue de 175 t en 1982, 422 t en 1983 y 496 t en 1984.

- El precio de la semilla de *A. gayanus* descendió rápidamente en términos reales desde US$13.63/kg en 1982 a US$1.58/kg en 1985.

- Los estimativos de la importancia que tiene la producción de semilla de *A. gayanus* para uso propio y para comercio directo con otros ganaderos variaron dentro de un amplio rango. La mediana de la participación del sector semillista formal en el volumen total de semilla producida fue estimada en 65%.

- Utilizando esta información y la tasa promedio de siembra obtenida en la encuesta, el área sembrada en Brasil se estimó en cerca de 170,000 ha.

- Las principales áreas adoptadoras eran la región que comprende Mato Grosso, Goiás y Minas Gerais. Areas de menor importancia eran el Pantanal y el nordeste.

**Adopción temprana e impacto de *A. gayanus* en el Cerrado.** En 1984, el centro de EMBRAPA en el Cerrado (CPAC) contrató un estudio sobre la adopción de la tecnología generada por EMBRAPA para esa región del Cerrado. El estudio de adopción fue realizado por la Universidad Nacional de Brasilia. Según estudios agroecológicos de CPAC, la región geoeconómica de Brasilia (20 millones de ha) fue estratificada en zonas homogéneas y se tomaron muestras en los 11 municipios considerados representativos de las principales zonas agroecológicas. En estos municipios se seleccionaron al azar 450 propietarios. Esta encuesta incluía dos preguntas sobre *A. gayanus:* una investigaba si el agricultor conocía el material y la otra si lo estaba utilizando en su finca. Se consideraron usuarios todos los que tenían algún área sembrada incluyendo pequeñas parcelas de prueba.

Conteos preliminares indicaron que el 85% de los encuestados conocían el pasto y que el 25% lo estaban utilizando. Partiendo de esta señal evidente de una amplia adopción, se planeó entre CPAC y CIAT un estudio más detallado sobre el proceso de adopción y sobre el uso actual de *A. gayanus*.

Utilizando como marco censal la encuesta realizada por la Universidad Nacional de Brasilia, se seleccionaron 60 usuarios de *A. gayanus* estratificados según la frecuencia de uso del pasto en cada uno de los 11 municipios, así como 40 agricultores que lo conocían (pero no lo habían adoptado) y 20 que no lo conocían.

La encuesta fue diseñada para reconocer las características generales de la finca, obtener información detallada sobre la adopción y el uso de *A. gayanus*, y determinar tanto el impacto de la gramínea en el sistema de producción de la finca como la intención que hubiera en ella de expandir el área sembrada con este pasto. A los que no lo utilizaban se les hicieron las mismas preguntas sobre las características generales de la finca, y otras específicas sobre las principales razones que los persuadían a no utilizar este material. La encuesta ya terminó y se inició su análisis en 1986; sus resultados se usarán para determinar el impacto de esta tecnología.

## Nivel de adopción de *A. gayanus* en el trópico latinoamericano

Durante la reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pasturas Tropicales (RIEPT) en octubre de 1985, se realizó un sondeo sobre la difusión de *A. gayanus* en los países tropicales de América Latina. A los participantes se les pidió estimar el área que al presente se ha sembrado con *A. gayanus* en su estado o departamento y en todo el país, especificando en ese estimativo las siembras puras y las asociaciones con leguminosas. Se les preguntó además sobre sus intenciones de sembrar en 1986 tanto siembras puras como asociaciones.

El Cuadro 14 muestra que hasta 1985 habían sido establecidas cerca de 300,000 ha, 93% de las cuales se hallan en Brasil. Extensiones importantes se hallan en Colombia y Venezuela,

Cuadro 14. Uso de *A. gayanus* en los países de América Latina, 1985.[a]

| País | Existencia en 1985 (ha) | | Siembra programada para 1985 (ha) | |
|---|---|---|---|---|
| | Solo | Asociado | Solo | Asociado |
| Bolivia | 100 | 0 | 450 | 0 |
| Brasil | 268000 | 0 | 66000 | 0 |
| Colombia | 7600 | 300 | 3400 | 300 |
| Costa Rica | 1 | 1 | 8 | 5 |
| Guatemala | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Guyana | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Honduras | 15 | 0 | 8 | 0 |
| México | 22 | 0 | 75 | 0 |
| Nicaragua | 245 | 0 | 150 | 0 |
| Panamá | 1032 | 50 | 1085 | 0 |
| Paraguay | 1000 | 0 | 1500 | 0 |
| Perú | 120 | 5 | 220 | 0 |
| Venezuela | 11100 | 200 | 17900 | 500 |
| Total | 289237 | 556 | 90797 | 805 |

a. Basado en una encuesta hecha a los investigadores de la RIEPT en octubre de 1985.

países donde las sabanas de suelos ácidos e infértiles ocupan un área sustancial.

La adopción de *A. gayanus* se está acelerando en América Central donde hay más de 1000 ha sembradas en Panamá y se inicia la siembra del pasto en Nicaragua, Honduras y Costa Rica, y también en México. Prácticamente todas las áreas en que se ha establecido el pasto son cultivos puros.

Los planes de expandir el área sembrada en 1986 representan el 31% del área ya establecida a nivel regional. Esta cifra enmascara la notable diferencia entre Brasil y Colombia, de un lado, donde el cultivar fue liberado primero con tasas de crecimiento de 25% y 45%, respectivamente, y el resto de los países, del otro, donde esas tasas fueron de 100%. La intención de expandir la gramínea indica una fuerte tendencia hacia la siembra de *A. gayanus* como pastura pura sin asociarla con leguminosas.

Esta encuesta enseña que *A. gayanus* es una gramínea valiosa que contribuye a la producción de forrajes en América tropical. Sin embargo, también señala que las leguminosas forrajeras tropicales aún constituyen el mayor desafío para los programas de investigación en pastos tropicales del continente.

## Resumen

*Andropogon gayanus* CIAT 621 es el primer cultivar forrajero liberado en América del Sur que ha salido del esfuerzo colaborativo de los programas agropecuarios nacionales y del Programa de Pastos Tropicales del CIAT. Considerando muchos casos, es también el primer cultivar forrajero formalmente liberado por instituciones nacionales en América tropical. La experiencia adquirida en esta tarea producirá ciertamente efectos positivos en el proceso de liberación a que sean sometidos en el futuro los nuevos cultivares.

Se hizo un notable esfuerzo para disponer de suficiente semilla básica que permitiera una amplia difusión inicial de *A. gayanus*. Esto facilitó el proceso de difusión de ganadero a ganadero, aunque pudo suscitar un efecto negativo en los semillistas comerciales. *A. gayanus*, una gramínea de fácil cosecha, no requiere necesariamente un tratamiento adicional y tiene una baja relación peso/volumen que la hace inapropiada para el trasporte a gran distancia y para el almacenamiento prolongado. Sin embargo, las leguminosas forrajeras, cuya cosecha manual es difícil y que probablemente necesiten inoculación o escarificación (o ambas operaciones), requerirán una mayor participación del sector semillista comercial.

La adopción de *A. gayanus* ocurre rápidamente en varias regiones, particularmente en el Cerrado y en ciertas áreas de la costa norte de Colombia, pero en los Llanos Orientales colombianos ese proceso es lento. Esta variabilidad en las tasas de adopción llevó a los investigadores a desarrollar metodologías cuantitativas para identificar los factores asociados con la adopción de *A. gayanus* a nivel de la región. En este capítulo se

presenta un análisis econométrico de estos factores, que afectan la adopción de la gramínea en la costa norte de Colombia. Esta información sirve para estimar *ex ante* el beneficio económico que produciría la difusión potencial de ese cultivar en esa región. Este tipo de análisis retroalimenta la labor de los investigadores y extensionistas.

Los resultados de éste y de otros estudios sugieren que *A. gayanus* se adapta particularmente bien a las regiones más secas dentro del ecosistema de sabana. En esas condiciones, su ventaja principal es su tasa alta tanto de crecimiento como de capacidad de carga en la época de lluvias. Además, *A. gayanus* permite reducir el efecto de la época seca, porque hace un uso eficiente de la humedad residual del suelo al inicio de esa época y experimenta una rápida recuperación con el inicio de las lluvias; por ello puede ser pastoreado aproximadamente un mes después de iniciadas las lluvias, tiempo que es de dos meses para otras gramíneas, como *B. decumbens*.

En el cerrado brasileño es evidente el interés de los ganaderos por diversificar los recursos forrajeros de sus fincas. En general, *A. gayanus* no sustituye a otros pastos sembrados; las áreas de pastos sembrados se encuentran en lotes donde antes había pastos naturales, y se han extendido directamente (costa norte de Colombia) o después de un ciclo de cultivo de uno a dos años (cerrado brasileño).

La baja agresividad inicial y el porte erecto de *A. gayanus*, así como su escasa cobertura del terreno, son los aspectos negativos más frecuentemente indicados por los ganaderos. Esta última característica hace a *A. gayanus* apto para asociarse con algunas leguminosas, y facilitará su adopción en un rango mucho más amplio de ecosistemas y de sistemas de producción. Este resultado se obtendrá cuando los finqueros tengan acceso a semillas de cultivares de leguminosas adaptadas, compatibles y persistentes, las cuales incrementarían la productividad de *A. gayanus* en la asociación con ellas de modo significativo, es decir, por encima del nivel obtenido en las pasturas de gramínea pura sembradas actualmente.

# Referencias


CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1984. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1983. Cali, Colombia. 362 p.

——. 1985. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1984. Cali, Colombia. 274 p.

de Andrade, R. P.; Ferguson, J. E. y Seré, C. 1985. Seed industry survey of initial adoption of *Andropogon gayanus* in Brazil. Informe Interno. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) at the Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Brasilia, FD, Brasil.

Estrada, A. 1986. Caracterización de fincas adoptadoras del pasto *Andropogon gayanus* en el Departamento del Cesar, Colombia. Tesis. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.

Ferguson, J. E. 1985. An overview of the release process for new cultivars of tropical forages. Seed Sci. Technol. 13:741-757.

——; Seré, C. y Vera, R. R. 1985. The release process and initial adoption of *Andropogon gayanus* in tropical Latin America. En: Fifteenth International Grassland Congress, Kyoto, agosto 1985. Memorias. Science Council of Japan and Japanese Society of Grassland Science, Kyoto, Japón. p. 222-223.

Foster, W. H. 1962. Investigations preliminary to the production of cultivars of *Andropogon gayanus*. Euphytica 11:47-52.

Tompsett, P. R. 1976. Factors affecting the flowering of *Andropogon gayanus* Kunth; responses to photoperiod, temperature and growth regulators. Ann. Bot. 40:695-705.

# PRIORIDADES EN LA INVESTIGACION DE *ANDROPOGON GAYANUS*

José M. Toledo, Raúl Vera, Carlos Lascano, y Jillian Lenné*

Este capítulo es un resumen de la investigación que se recomendó para mejorar los conocimientos sobre el manejo y la utilización de *Andropogon gayanus.*

Las siguientes recomendaciones son el resultado de las discusiones sostenidas en la reunión de trabajo que antecedió a esta publicación. Se han ordenado en este capítulo según el tipo de institución dedicada a la investigación básica sobre especies forrajeras.

## Recomendaciones Para las Universidades y Otras Instituciones de Investigación

1. Estudios para entender los mecanismos de resistencia de *A. gayanus* a los cercópidos (salivita o 'cigarrinha').
2. Estudios para entender los mecanismos anatómicos, fisiológicos, y microbiológicos (especialmente las micorrizas) de *A. gayanus,* responsables de su amplia capacidad de adaptación a los suelos cuya acidez y fertilidad natural son variables.
3. Estudios anatómicos de la gramínea que esclarezcan la relación de la distribución de sus tejidos con la cinética de su digestión en los rumiantes.

* Agrónomo de pasturas y coordinador, zootecnista, especialista en nutrición animal, y fitopatóloga, respectivamente, del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia.

## Recomendaciones Para el Programa de Pastos Tropicales del CIAT

1. Recolección, caracterización y evaluación de *A. gayanus* con el fin de ensanchar la base genética de esta especie. Esta actividad incluiría las variedades botánicas reconocidas como tales.

2. Proseguir los estudios de caracterización genética de *A. gayanus.* Debe dilucidarse si el carácter 'vigor de la plántula' es susceptible de mejoramiento genético. La hipótesis de que las plantas de *A. gayanus* de porte bajo son más compatibles con las leguminosas debe probarse.

3. Realizar estudios de ecofisiología aplicada que sirvan para formular estrategias de manejo. Estas deben incluir evaluaciones de la tasa de extracción de agua del perfil del suelo, tasas de crecimiento, senescencia, dinámica de las reservas energéticas, así como ciertos factores que afectan su compatibilidad con las leguminosas.

4. Emprender estudios sobre el reciclaje de nutrimentos en las pasturas de *A. gayanus,* tanto en monocultivo como en asociación con leguminosas, con el propósito de cuantificar tanto las necesidades de fertilización de mantenimiento de la gramínea y de sus asociaciones, como la extracción que una y otras hacen de los nutrimentos del suelo y la conservación de éstos en el suelo.

5. Estudiar la relación entre los factores de manejo del pastoreo y la persistencia y productividad de las pasturas de *A. gayanus,* puras y asociadas con las leguminosas, en diversos suelos.

6. En regiones con períodos secos prolongados, estudiar las estrategias de manejo del pastoreo que permitan una eficiente utilización de la tolerancia de *A. gayanus* a la sequía; p.e., pastoreo al final del período de lluvias, pastoreo diferido, y otras.

7. Evaluar el potencial de producción de leche de las pasturas puras y asociadas de *A. gayanus.*

## Recomendaciones Para las Instituciones Nacionales que Participan de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT)

1. Hacer estudios sobre ajustes de la fertilización para el establecimiento de *A. gayanus.*

2. Estudiar el establecimiento de pasturas de *A. gayanus* en áreas potencialmente aptas para producir malezas, como los trópicos húmedos.

3. Extender los ensayos bajo pastoreo (ERD) para medir el potencial de producción animal de las pasturas de *A. gayanus* asociadas con las leguminosas.

4. Desarrollar investigación aplicada que, de una parte, identifique zonas, a nivel nacional, con alto potencial de producción de semilla de la gramínea, y de otra, que optimice la productividad y la calidad de la semilla.

5. Validar, a nivel de la finca, el potencial de productividad de las asociaciones de *A. gayanus* con leguminosas.

6. Realizar estudios de adopción en países donde *A. gayanus* es un cultivar comercial.

# INDICE


Accesiones
  CIAT 621, 39, 48, 64
  origen, 169, 172
  recolección, 229, 390 (ver Variedad)
Adaptación, 28, 39, 41, 65, 106, 157
  a condiciones de baja fertilidad, 88, 105, 250
  a ecosistemas de sabana, 172, 184, 261, 386
  a factores bióticos, 167
  a factores edáficos, 101, 155, 167, 240
  a regiones secas de India, 172
  a tipos de suelos, 106, 155, 389
  a toxicidad de Al, 108, 155
  en época seca, 386
  en localidades de Australia, 180

Adopción, 385, 391
  de cultivar, 357
  en América Central, 384
  en América Latina tropical, 383-385
  en Brasil, 381, 382
    encuesta a usuarios, 383
    impacto en producción, 383
  en fincas, 364, 367
    de Costa Norte (Colombia), 365, 366
      impacto esperado, 376, 377, 379, 380
    de Magdalena Medio (Colombia), 365
      en Cesar (Colombia), 368, 381
      por categorías, 366
    esquema por finca, 378
    estudios de, 362
    expansión en 1986, 384
    por adoptador inicial, 361, 363
      encuesta a, 365, 382
      proceso de, 368, 369
      según recursos naturales, 381
    supuestos para, 376
    tasas de, 363, 374
      variables, 385
  Adoptador temprano (ver Adopción)
  Africa tropical, 9, 29, 360
    información sobre plagas, 218
      propias, 219
      similares de América, 221
    punta retorcida en, 198
    quemas en sabanas, 82
  Agresividad
    radicular, índice (IAR), 91
    y baja palatabilidad, 101
  Agua disponible, 53, 65
    del suelo (humedad), 79, 82
      competitividad por, 82
    índice de, 63, 65
    uso eficiente de, 63, 78, 81
  Alogamia, 16, 22, 31, 35
  Altura de la planta, 2, 3, 48, 52, 55, 175
    bajo sombra, 84
    de porte bajo, 34
    en establecimiento, 60, 61

heredabilidad de, 26
para semilla, 298
Aluminio (Al)
área sembrada y, 372
concentración foliar de, 110
detección con hematoxilina, 108
en mapa de Colombia, 374
excluido por raíz, 155
porcentaje de saturación de, 132
en Llanos Orientales, 328
tolerancia a, 108, 155
toxicidad a, 112
América tropical
enfermedades en, 209
insectos plaga en, 212-215, 221
introducciones de *A. gayanus*, 168, 191
producción de semilla, 310
*Andropogon tectorum*, 15, 168
hongos y nematodos de, 192
Animal fistulado, 287
Antibiosis (ver Plagas, resistencia a)
Análisis de conglomerados, 55, 58, 61
Análisis de pureza, 304
Análisis económico, 328, 385
costos, 350
de experimentación, 352, 363
de establecimiento, 376, 377
de ceba de novillos, 349
flujo de efectivo, 336, 337, 344
ingreso bruto marginal, 334, 335
estructura del, 337
inversiones, 328, 344, 345
flujo de (en Cesar), 378
por hectárea, 377
precios, 336
rentabilidad, 328, 335, 344
tasa interna de retorno marginal (TIR), 328, 336, 342, 344, 349, 353
en Cesar (Colombia), 378, 380, 381
valor presente neto (VPN), 380
viabilidad económica, 335-337, 342, 347, 349
Arista
longitud, 1, 2
remoción de, 302
Asociación, 127, 177-182, 223, 255, 259, 261, 273
carga soportada en, 349
con *C. pubescens* CIAT 438, 92, 94, 350
con leguminosas, 89, 283, 391
en fincas, 330, 346
con *S. capitata*, 99, 324, 330
y novillas de remplazo, 338, 339
desempeño reproductivo de, 341, 342
para ceba, 345, 346
dominio de gramínea en, 342
expansión de *A. gayanus* en, 384
pastoreo en, 99, 339
producción de leche en, 289
sobrepastoreo en, 345
Atributos agronómicos, 24, 25
Australia, estándar de mercado, 316
Autopolinización, 22, 31
Azufre (S)
disponibilidad de, 136, 138, 139
en hojas con *S. flava*, 212
en suelos meteorizados, 136
en tejido vegetal, 122, 123
fuentes de, 122
interacción con Ca y Mg, 138
niveles críticos de, 122, 123
relación N:S, 122

Balance hídrico (Bh), 69, 70, 73
Biomasa, 48, 59, 73
acumulación en sombra, 87
arquitectura de, 94
para crecimiento rápido, 101
producción, 39-42,
total en oferta, 94, 95
Bouyucos, 79

*Brachiaria*
*decumbens* CIAT 606, 69
agua del suelo y, 79
bajo pastoreo, 345
en asociación, 91
en época seca, 376
en fincas, 330
en sequía, 75, 77
hormigas cortadoras y, 218
micorriza y, 145
para ceba de novillos, 349
respuesta al K, 133
respuesta al N, 127-129
susceptibilidad al salivita, 223
ecotipos, 64
*humidicola*
ganancia de peso y, 283
resistencia a la quema, 82
respuesta al P, 132
Brasil, 16, 17
aplicación de N, 299
cosecha mecánica en, 300, 311
EMBRAPA/CPAC, 287, 381, 382
evaluación en CPAC, 169, 170
floración en, 296
precorte en, 298
primeras pasturas en, 311
punta retorcida en, 208
semilla en, 307, 313, 314
pura que germina, 316
ventas de, 317

Cal
dolomítica, 126
producción con, 124
respuesta al P y, 124, 131
suministro de Ca y, 124, 155
Calcio (Ca)
antagonismo con bases, 124
concentración crítica, 118
en tejidos, 271, 273
extracción diferencial, 125
requerimiento bajo, 125
Calidad nutricional, 273, 274, 290
en asociación con leguminosas, 290
mejoramiento de, 29
Características agronómicas, 172-173
Carga animal, 93, 345
en adopción, 376
en asociaciones en Cerrado, 287
en Carimagua, 99, 282
en estrategia de producción, 336
en fincas, 330
en Ultisol, 282, 350
Carimagua (CNIA), 23
ciclos de selección en, 33, 34
evaluación de accesiones, 169
floración en, 29
Cariópside, 8, 31, 239, 304, 305
tamaño de, 306
Ceba (ver Producción animal)
*Centrosema pubescens*, 260 (ver Leguminosas...)
con *A. gayanus*, 97, 98
con *P. maximum*, 98
en producción de leche, 289
rebrote en sombra, 92
Cerrados, 241 (ver Brasil)
difusión en, 386
suelos de, 250
CIAT-Quilichao (ver Quilichao)
Clima, 173, 246, 261
de localidades, 49-51
en períodos lluviosos, 11, 93
en períodos secos, 11, 78, 106
por altitud, 11, 12
Cobertura del suelo, 48, 52
medias (de grupo), 60, 61
Compatibilidad
bajo pastoreo, 92
con leguminosas, 89, 98
de raíces, 91, 100
palatabilidad relativa y, 101
índice relativo de (ICR), 89, 91
Competencia
entre raíces, 98
por nutrimentos, 98, 257
y deficiencia de K, 98
y desarrollo inicial lento, 112, 239

Componentes Principales, 53
análisis de, 53, 57, 58, 61
Comportamiento agronómico, 17, 48, 55, 61, 65, 128
en corte y pastoreo, 173-182
Corportamiento reproductivo, 330
Composición química, 266-273
factores de, 266
fibra, 270
fibra neutra indigerible, 270
minerales, 271
calcio, 271, 273
fósforo, 271, 273
Concentración crítica (ver Requerimiento nutricional)
Condiciones edáficas, 12, 17, 239, 261 (ver Suelos ácidos)
Consumo voluntario, 28
componentes de, 274
de clones 'hojosos', 278, 279
de ovinos y bovinos, 276
forraje ofrecido y, 277
niveles de, 94
Contenido foliar
de Fe, 115
de micronutrimentos, 141
de Mn, 115, 141
de S, 139
Control de malezas
en sitio de siembra, 258
Correlación
coeficientes de Pearson, 53, 54
de variables del suelo, 54, 57
genotipo-densidad, 33
Corte del pasto
como defoliación, 99
de uniformidad, 48, 52, 84
en *A. gayanus* asociado, 99
periódico, 48
Crecimiento
compensatorio, 79
curvas de, 69
después del rebrote, 70
inicial lento, 131
sombreamiento y, 84
tasa de, 112
de pasturas, 94
tasa relativa de (TCR), 71, 79, 84
Cruzamiento
natural, 3
policruzamiento, 33, 34
Culmo tereticaule, 5
Cultivares
cv. Carimagua 1, 169, 282
cv. Planaltina, 34, 169, 282
cv. San Martín, 282
de Australia, 170
de tipo enano, 184

Defoliación, 100, 102, 217
falso gusano ejército y, 217, 238
por corte y pastoreo, 167
*S. capitata* y, 99
Desaristador, 302
con agitación, 303
Descriptor
ambiental, 56
del suelo, 58
Desecación de tejidos, 75, 78
Desempeño animal, 35
Difusión, 385
potencial, 386
tendencia, 386
Digestibilidad
baja, 273
in vitro de materia seca (DIVMS), 26, 266, 269
de hojas y tallos, 270
en gramíneas, 271
en pastoreo, 272
Discos excéntricos (ver Siembra, equipo)
Distribución natural, 9, 10, 14
DIVMS (ver Digestibilidad)

Ecofisiología, 390
Ecosistemas
áfido amarillo y, 212
de ambiente homogéneo, 48, 55, 65
del Cerrado, 241
de los Llanos Orientales, 240
estabilidad climática, 333

del trópico americano, 39
Empresas semillistas, 361
tipos, 362
ventajas, 362
Encalado (ver Cal)
Endogamia, 31
Endogonaceae, 142
Enfermedades, 198, 200, 227
ausencia de, 31, 192
bacterias, 211
control cultural, 222
por el pastoreo, 222
por la quema, 222
control genético, 221, 222
hongos patógenos, 192, 193-196, 210, 211
carbones, 197
en la semilla, 198
*Cercospora*, 197
en América tropical, 199-202
*Myriogenospora*, 198, 199-200, 208, 236, 237
dispersión, 207
síntomas, 207
*Puccinia*, 197, 235
parásito *E. carucis*, 195, 197
*Ramularia*, 197
*Rhynchosporium oryzae*, 52, 55, 199
*Rhynchosporium* sp., 199, 203, 207
*Sphaceloteca*, 197
trasportados por semilla, 210
*Fusarium*, 210
*Rhizopus*, 210
*Uredo*, 197, 235
índice de tolerancia a, 52, 55
mancha foliar (*Rhynchosporium*), 199, 203-207, 208, 236
royas, 197
movilidad, 198
Ensayos 'multilocacionales', 39
*Entrophospora colombiana* (ver Micorriza)
Escaldado (ver Enfermedades, mancha foliar)
Espiguilla, 1, 2, 6
arista de, 1, 2
con cariópside, 305
en beneficio de semilla, 301, 317
en cosecha, 299
glabra, 1, 2
llena, 30
pedicelada, 2, 8, 302
pilosidad de, 1
pubescente, 1
sésil, 1-3, 6, 302, 304
Estomas, 8
comportamiento, 74-76, 101
Estrés hídrico, 30
Evaluación
a nivel de la finca, 352, 363
de asociaciones en Brasil, 287
de calidad de semillas, 316
del crecimiento, 71
de pasturas, 353
de *Rhyncosporium* sp., 203
en pastoreo, 33
en varios sitios, 173
en viveros, 32
por adaptación al medio, 39, 41-47
por producción de biomasa, 39, 41-47
procedimientos efectivos de, 35
sistemática de forrajeras, 39, 390

Fertilización
adicional, 330, 339, 344, 350
de mantenimiento, 390
niveles, 351, 353
con P, 250, 251, 253
de establecimiento, 175, 253, 327, 391
época para, 259
precios, 336
residual, 254, 255
Fitomejoramiento, 169
bloque de recombinación, 32
comportamiento reproductivo y, 22, 33
métodos, 31

Floración, 22, 184, 298
altitud y, 184
comportamiento de, 30
en el campo, 170-171, 296
en CPAC (Brasil), 170
estación lluviosa y, 171
fotoperíodo y, 29, 170, 295-296, 311, 317
número de macollas y, 171
precocidad y, 23
precorte y, 298
tardía (para selección), 27, 28, 34
temperatura para, 170
Forraje
calidad, 28, 156, 272
nitrógeno para, 126
producción de, 156
rendimiento, 28
Forrajeras
estado nutricional, 327
estratégicas, 329, 333, 338, 352, 353
persistencia, 334
Fotoperíodo, 311, 317
floración y, 295, 296
sensible al, 360
Fotosíntesis, 78, 81, 85, 101
eficiencia fotosintética, 81, 84
intercambio de $CO_2$, 74
N en tejidos y, 86
nivel metabólico y, 75
radiación solar y, 78, 92
ruta $C_4$ y, 78
sistema fotosintético, 71
tasa fotosintética, 84
máxima, 78
Fósforo (P)
aprovechable, 132
deficiencia de, 111
disponibilidad baja, 111, 113
en tejidos, 271, 273
extracción del suelo
con micorrizas, 154, 250
diferencial, 112, 113, 131
eficiente, 111
fuentes de, 120
fosfatos solubles, 253
roca fosfórica, 253
termofosfatos, 253
índice de contenido, 58, 64, 68
interacción Al-P, 111, 131
nivel en Carimagua, 98, 120, 147
requerimientos de, 120, 131
respuesta al, 98-99, 131-133, 175
tolerancia a bajo nivel, 111, 120, 131
valores críticos, 120

Ganancia de peso, 273, 280, 283, 346-348, 350
al destete, 334
con *B. decumbens*, 283
de novillas, 338, 339
de novillos, 346-348, 350
de vacas de descarte, 348
en América Latina, 280, 281
en asociación, 285, 286, 288, 338
en Brasil, 287
en época seca, 286, 289
en Nigeria, 280, 281
en pasto nativo, 350
hojosidad y, 278
palatabilidad y, 274
Germoplasma, 358, 390
colecciones, 16
silvestre, 31
Glumas, 7

Habitat, 12-14
Hato de cría, 329, 330
análisis *ex ante* de, 335
Heredabilidad
de altura de planta, 26
de contenido de PC, 28
de rendimiento de forraje, 23
en sentido amplio, 23, 24, 26
Hibridación interespecífica, 32
Hojas, 3, 4, 8
abundancia de, 29
contenido de S, 139
difusión de gases en, 75
en relación hoja:tallo, 71
lámina foliar, 8
manchas por hongos, 192
peso relativo (PFR), 71

selectividad en consumo, 277
sombra de, 84, 87, 88
Hojosidad, 34, 91, 169, 274, 290
de accesiones en Brasil, 169
en latitud baja, 29
en relación hoja:tallo, 28, 30
por mejoramiento, 169, 279
variabilidad en, 277
*Hyparrhenia rufa*
crecimiento, 69
en sequía, 75, 77
IAR (ver Agresividad)
ICR (ver Compatibilidad)
Inflorescencia
altura, 317
origen, 317
Insectos chupadores (ver Plagas)
Insumos mínimos, 105
en fertilización, 114
Interacción genotipo-ambiente, 23, 26, 32, 33
International Seed Testing Association (ISTA), 305
Investigación tecnológica, 323, 328, 363, 381
en Llanos Orientales, 325, 326, 329, 334, 342
en Valle del Cauca, 324, 350

Leche (ver Producción animal)
Leguminosas tropicales, 386 (ver Asociación)
compatibles, 184, 390
efecto de micorrizas, 151, 154
efecto en PC, 273
en asociación, 177, 179
agresivas, 183
bajo pastoreo, 181, 285
en siembra rala, 260
poco persistentes, 178, 183
según fertilidad, 256
sin aplicar cal, 257
en investigación, 385
introducción, 273
producción de, 385
y calidad de la pastura, 273
Liberación, 358
de accesión CIAT 621
heterogénea, 360
nombres diferentes, 359
primera en América tropical, 385
en Brasil, 358, 360
con televisión, 362
en Colombia, 358
empresas semillistas, 360
preliberación, 358
en Panamá, 358
fase verdadera, 360
proceso formal, 358, 359
coordinación del, 359
Localidades
agrupamiento, 58, 59-61
agua y suelo de, 61-62

Llanos Orientales, 240
ceba de terneros en, 337
fincas en, 325, 326
flujo de inversión, 378
hatos de cría en, 335
precios en, 328
suelos típicos, 372
uso de pasturas en, 324
vegetación natural, 324
Lluvias (ver Precipitación)

Macollas, 3, 88
rebrote uniforme, 297, 298
Madurez de cosecha, 295, 317
Magnesio (Mg)
nivel en suelo, 119
requerimiento bajo, 118
respuesta débil a, 126
Mancha foliar (ver enfermedades)
control por pastoreo, 223
en arroz, 203
en calidad del forraje, 206
en Villavicencio (Colombia), 203-205
por *Curvularia* y *Helminthosporium*, 210
Manejo (ver Pastoreo)

Manejo por defoliación (ver Producción de semilla)
Manganeso (Mn)
antagonismo con Fe y, 114
distribución natural, 114
tolerancia a, 115, 155
diferencial, 114
toxicidad de, 112
Materia seca, 64, 81, 115, 125, 128, 139, 245
digestibilidad, 266
producción de, 63, 81
aplicando Ca, 125
aplicando N, 128
aplicando P, 131, 137
con cortes, 82
efecto de K y P en, 135, 136
eficiencia de producción, 64
inoculando con micorriza, 144, 146, 149, 154
sin riego, 79
rendimiento, 52, 55, 59, 175
después de quema, 82
en corte, 176
en crecimiento (gramíneas), 71
en mezclas con leguminosas, 183
en pasturas monoespecíficas, 176
según labranza, 245
tasa de producción (ver rendimiento)
Materia verde
en base seca (MSV), 93, 96
y aceptabilidad relativa, 274
*Melinis minutiflora*
aceptabilidad en floración, 274
Micorriza
absorción de nutrimentos y, 142, 145
dependencia de, 143-144
hongo de, 111, 143, 156, 157, 389
endofitas nativas, 143, 146, 147, 148, 152
*Entrophospora colombiana* (M4), 152
enzimas de, 142
hifas de, 142
hospedantes de, 152, 153
ocurrencia en Oxisoles, 143-145
P del suelo y, 144, 145, 152
producción de MS y, 150
respuesta a inoculación con, 144, 146, 148, 153
en campo, 147
universal, 152
roca fosfórica y, 149, 157
simbiosis, 250
vesículo-arbusculares (MVA), 142
Micronutrimentos, 117, 121, 122, 141, 157, 254
Boro (B), 140-142
Cobre (Cu), 140-142
disponibilidad relativa, 138, 140, 142
Manganeso (Mn), 140-142
niveles críticos, 117, 120, 122, 155
rango de valores, 140
Zinc (Zn), 140, 141, 142
contenido foliar, 141
efecto en MS, 141
Morfología (ver Variedad botánica)
MSV (ver Materia verde)

Nematodos, 192
en Carimagua (Colombia), 209
'decadencia lenta', 209
en Planaltina (Brasil), 208
hospedante en Nigeria, 192, 198, 199
Nigeria, 3, 11, 13, 14, 16
floración en, 22, 296
producción comercial, 309, 314
Nitrógeno (N), 126
aplicación oportuna, 129
de leguminosas, 127
en hojas con *S. flava*, 212
en *P. maximum*, 86
en producción de semilla, 299
en tejido vegetal, 129
fuentes de, 130
requerimientos críticos de, 119
condiciones para, 120
respuesta al, 127, 129, 296

uso eficiente del, 128, 130
Nivel crítico (ver Concentración crítica)
Nutrimentos
concentración crítica, 155
dosis de, 158
extracción del suelo, 127
reciclaje de, 390

Palatabilidad, 274, 275
de leguminosas, 101
relativa, 100
Panicoide, 8
*Panicum maximum* 604
agua del suelo y, 79
deficiencia de P y, 112
efecto de micorrizas, 150
en sequía, 75, 77
niveles críticos
de Mg, 119
de S, 123
proteína cruda, 266
punta retorcida y, 208
rendimiento en Brasil, 180
resistencia a la quema, 82
respuesta al N, 127-129
respuesta al P, 131-132
interacción K-P, 134
mediante micorriza, 145
semilla pura, 306
sombreamiento y, 84
tasa fotosintética, 78
tolerancia al Al, 108
Panícula, 6
racimos emergidos, 33
Parental
clon, 26, 34
control, 32
Pastoreo
de variedad sintética, 34
en ensayos ERD, 391
manejo del, 390
continuo, 282
en región seca, 390
rotacional, 282, 283, 288
régimen ajustado de, 338
selectivo, 29
tolerancia al, 88
y competencia en asociación, 99
Pasturas
arquitectura, 96
calidad, 273, 285, 288
variaciones en, 370
cobertura, 347, 370
modelo explicativo, 371, 372, 373
composición
botánica, 94
en fincas, 330, 346-348
degradación, 282, 363
establecimiento, 241, 255, 391
costo, 241, 242, 350
después de cultivo anual, 254, 255
época de, 246
limitantes del, 257, 260
riesgos del, 351
mejoradas, 333, 344
persistencia de, 338, 352, 390
rendimiento en el tiempo, 342, 390
seguimiento de, 327, 335, 353, 354
suplementos, 324
tecnología de, 323, 328
de bajos insumos, 336
PC (ver Proteína cruda)
Plagas, 213-215, 228
áfido amarillo, 212, 217, 237
depredadores de, 212
barrenadores del tallo, 216, 220
*Diatrea* spp. 216
*Elasmopalpus* spp. 216
chupador de hojas
*Daldina bicarinata*, 216, 220
chupadores de flores, 221
comedores de flores, 221
comedores de follaje, 216
*Chrysomelidae*, 220
*Mocis latipes*, 216, 217, 221, 238
enemigos naturales, 216
*Spodoptera frugiperda*, 216, 221
control biológico, 223
hongos entomófagos, 223
control cultural, 222
de hormigas, 21 , 22. 246, 261

por asociación con leguminosas, 223
por siembra temprana, 261
control genético, 221, 225, 226
diversidad genética, 227
esclerenquima en tallo, 223
hábito erecto, 224
tricomas en tallos, 224
control químico, 260, 327
del arroz, 220
depredadores, 221
falso gusano ejército, 217
hormigas cortadoras de hojas, 217, 220, 238
*Acromyrmex* spp., 217, 220, 260
*Atta* spp., 217, 220, 260
con carga animal alta, 217
en establecimiento, 217
en Llanos Orientales, 218, 240
índice de tolerancia, 52, 55
langosta, 218
migratoria africana, 220
moscas, 218
parásitos, 221
salivita, 52, 55, 191, 212, 216, 228, 389
*Aeneolamia*, 173
*Cercopidae*, 212, 389
control integrado, 223
*Deois*, 173, 216
resistencia a, 223, 224
*Zulia*, 173
termitas, 218
preferencia, 220
Poblaciones segregantes
originales, 33
sintéticas, 31, 32, 33
Policruzamientos, 33, 34
Polinización
abierta, 26, 34
cruzada, 16, 191, 360
eólica, 295
Poliploides, 3
en hibridación, 32
en Nigeria, 168
Potasio (K), 121, 254
aplicación, 155
deficiencia
cerca de *A. gayanus*, 98
progresiva, 121
en suelos tropicales, 133, 136, 254
feldespatos de, 149, 151
niveles, 121, 136
reciclaje, 121
respuesta al, 133, 134, 136
de *S. capitata*, 98, 99
y microrrizas, 150, 151
Potencial hídrico, 75, 77, 78
Potencial osmótico, 75
Precipitación, 173, 174
fuera de época, 175
Preferencia relativa
en *C. pubescens*/gramíneas, 98
Preparación del terreno (ver Siembra)
Presión de pastoreo
en asociaciones, 97, 181
niveles de, 93
y malezas (MS), 96
Producción animal, 279, 281, 286
de ceba (o levante), 324, 329
de novillos, 345, 349, 379, 381
de terneros, 337
de doble propósito, 366
leche, 289
de hembras de remplazo, 329
desempeño reproductivo y, 330, 333, 338, 341, 344
edad para, 340, 342, 343
destete y, 329, 330
tasa de, 332
estrategias de, 336
extensiva, 324
de cría, 329
'monta' (apareamiento) y, 329, 330
novillas de remplazo y, 329, 337, 339, 353
novillos y, 337
en sabana nativa, 342
número de vacas y, 330, 331
parámetros de, 343
peso de vacas y, 332

sistemas de, 344
atractivos, 357
tecnología útil y, 357
Productividad animal, 265, 272, 280, 290
en asociaciones, 284, 285, 288
en bosque tropical lluvioso, 289
en Cerrados de Brasil, 287
en Llanos Orientales, 283, 331, 337
en pasturas asociadas, 288
Programa de Pastos Tropicales (CIAT), 26
encuesta en Brasil, 381
liberación de cultivar CIAT 621, 385
multiplicación de semilla, 359
pureza de semilla en, 305
Propagación vegetativa, 31
Proteína cruda (PC), 266-270
calidad y, 273
contenido de, 28, 120, 266, 351
del rebrote, 267
en desempeño animal, 29
fertilización nitrogenada y, 268, 270, 273
porcentaje en hojas, 26
reducción en madurez, 266, 289
*Pueraria phaseoloides*, 260
Punta retorcida (ver Enfermedades, *Myriogenospora*)

Quema
de árboles, 241
en manejo de pasturas, 324
reacción a, 167
resistencia a, 82
Quilichao, 23, 26, 29
ciclos de selección en, 34
drenaje de suelo en, 73
fisiología de gramíneas en, 69
nivel de Mn, 114

Raquis, 1, 2, 6
Raíces
absorción de P y, 111
cordadas, 6
en sequía, 6
fibrosas, 5, 6, 108
fúlcreas, 5, 108
profusas, 82
rizosfera y, 143
tolerancia a suelos ácidos y, 108, 155
verticales, 5, 6, 108
Rebrote
al inicio de lluvias, 82
con riego, 84
en sequía más riego, 79
Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (ver RIEPT)
Rendimiento
altura de planta y, 175
bajo pastoreo, 178
en asociación con leguminosas, 181
en Australia, 179
en Carimagua (Colombia), 181
en CPAC (Brasil), 180
en suelo fértil, 181
bajo sombreamiento, 86
cortes y, 99
de forraje, 23, 28
de materia seca, 70-71, 175
de semilla, 30, 312-314
después de aplicar N, 127
en asociación, 177, 179
con poco P, 257
en bosque talado, 178
en sabana africana, 173
P aprovechable y, 132
sistema de pastoreo y, 283
Rentabilidad
baja, 328
esperada, 323
marginal, 333
Requerimiento nutricional
crítico, 114, 116, 120, 122
de Ca y Mg, 119
de K en hojas, 121, 155
de S, 121-123
externo e interno, 115
de Al, Ca y Mg, 116, 118

de N, P y K, 119
en establecimiento de pastos, 105
RIEPT
en difusión de *A. gayanus*, 383
ensayos regionales B, 48
objetivo, 39

Sabanas (ver Ecosistemas)
isohipertérmicas, 240
isotérmicas. 241
Salivazo (ver Salivita)
Salivita (ver Plagas)
Selección (ver Fitomejoramiento)
criterios apropiados, 35
de plantas espaciadas, 33
recurrente, 32, 35
Semilla
bacterias en, 210
beneficio, 301
de otras especies, 303, 304
desaristado, 302, 311
operaciones, 301
secamiento, 302
trillado ligero, 300, 310
caída al suelo, 300
calidad de, 30, 303, 308, 316, 318, 391
componentes de, 307, 308
clases de, 297
básica, 361, 385
multiplicación de, 359
clasificada, 297, 303, 309
cruda, 297, 302, 303, 311
pura 'ajustada', 305
pura, 300, 301, 304, 306
comercial, 302, 315, 356, 361
demanda, 318, 319, 365
pequeña escala, 360
cosecha de, 299, 310, 313, 314, 318
apilado y sudado, 300, 310
con combinada, 300, 311, 316
con mecanización, 300
manual, 299, 301, 310, 361
costo, 350, 351
distribución
a ganaderos, 361
en mercado, 358, 361, 382
en Brasil, 382
en Colombia, 312, 317
fertilización de mantenimiento, 298
germinación de, 306, 307
hongos en superficie de, 198
tratamiento, 198
irlandesa, 308, 316
latencia de, 306
lote de, 304, 306
sesgo genético, 360
mezcla con fertilizante, 247
multiplicación de, 310
método ajustado, 305, 318
precios, 361, 368, 382
producción de, 296, 309, 391
densidad de siembra, 297, 318
en fincas grandes, 365
precorte, 298, 310
prácticas culturales, 296
pura que germina (SPG), 296
que trasporta hongos, 210, 211
rendimiento, 312-314
retención de, 24, 30
viabilidad de, 306
Senegal, 9, 11
clones de, 22
Sesgo genético (ver Semilla, lote de)
Siembra
área sembrada, 363, 364, 368
en Brasil, 382
factores adversos, 370
modelo explicativo, 374
supuestos por finca, 379
cantidad de semilla, 248, 258
densidad de, 318
en Carimagua, 258, 259
época, 246, 248, 249, 258
equipo, 246
abonadora, 247
dispersor con brazo, 247
fertilización en, 298
con fósforo, 252-253
con potasio, 254
para semilla, 297, 310
patrones de, 248, 249, 258
a voleo, 324

preparación del terreno, 247
profundidad, 247, 248
rala, 257, 259, 261
resiembra, 327
tasas de, 258
*Sipha flava* (ver Plagas, áfido amarillo)
Sistemas de labranza, 261
mínima, 244
en siembra rala, 258
ninguna, 244
reducida, 243
tradicional, 242
Sombra, 82-84, 86-88, 91
artificial (mallas), 83
de diferente biomasa, 91
efecto en hojas, 84, 87
entre plantas, 91
*Stylosanthes capitata*
en suelos arenosos, 101
ganancia de peso y, 285, 287
rendimiento con *A. gayanus*, 99
respuesta al K y, 99-100
vigor en asociación, 178
Sudado (ver Semilla)
Suelos ácidos, 12-14, 106
análisis. 118
cationes, 54, 57, 58, 65
acidez y, 118
relación Ca/K, 58, 61, 64
conductividad eléctrica, 79-80
de fincas de Cesar, 374
con Al, 375
distribución, 107
fertilidad, 65, 105
complejo bajo, 106
disponibilidad de Ca y Mg y, 133
drenaje, 370
índice de, 57, 63-65, 106
fertilización
con azufre, 133, 135, 139
con fósforo, 131
con nitrógeno, 127, 129
con potasio, 133, 135
modificación, 329
muestras de, 372
Oxisoles, 157, 254
micorriza en, 143-145
parámetros para, 117
preparación, 138, 240-244, 258
en Llanos Orientales, 324
profundidad, 370
roturación con discos, 241
salinidad, 370
sobrepreparación, 241, 327
textura, 57, 58, 64, 65, 245
arcilloarenosos, 172
especies adaptadas y, 101
francos, 101
pesados, 101
sistema de labranza, 245

Ultisoles, 157
variables, 48-51, 54, 57, 62, 64
combinadas, 53
descriptores, 58
Suplemento mineral, 327

Tasa
de concepción, 331, 332, 340, 342
efecto cíclico, 332
de parición, 332
fotosintética, 78
neta de asimilación (TNA), 71
efecto de ambiente en, 73
uso de reservas y, 73
TIR (ver Análisis económico)
Tolerancia
al Al, 108, 172
a la sequía, 75, 81, 167, 172, 274
al Mn, 114
al pH bajo, 172
Toxicidad
del Al, 108, 112, 155
del Mn, 112, 114, 115, 116
Traspiración
$CO_2$ y, 74
estomas y, 75

Vaina foliar, 5
Valle del Cauca (Colombia), 350
Valor alimenticio, 28, 34
Variabilidad genética, 35

Varianza
de área sembrada, 372
de descriptores, 56
de localidades, 56
total, 57
Variedad
botánica, 1
anatomía, 8
distribución, 9
morfología, 3, 108
origen, 105
recolección de germoplasma, 16, 39
suelos y, 12
taxonomía, 1
vigorosa, 2
sintética, 26
var. *bisquamulatus*, 9, 12, 16, 39, 69, 167, 172
Vigor
competitividad y, 29
de la plántula, 31, 239, 240, 390
de progenies, 27

Yurimaguas (Perú), 288