

Establecimiento y Renovación de Pasturas

VI Reunión del Comité Asesor de la RIEPT



Memorias

Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales
Veracruz, México 1988

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se dedica al alivio del hambre y de la pobreza en los países tropicales en desarrollo, mediante la aplicación de la ciencia al aumento de la producción agrícola, conservando, a la vez, los recursos naturales.

El CIAT es uno de los 16 centros internacionales de investigación agropecuaria auspiciados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agropecuaria Internacional (GCIAT).

El presupuesto básico del CIAT es financiado por 25 donantes, entre los que figuran gobiernos de países, organizaciones para el desarrollo regional e institucional y fundaciones privadas. En 1997, los siguientes países son donantes del CIAT: Alemania, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Colombia, Dinamarca, España, los Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Japón, Noruega, el Reino Unido, Suecia y Suiza. Las entidades donantes son el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial, el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), el Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD), la Fundación Ford, la Fundación Nippon, la Fundación Rockefeller, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), y la Unión Europea (UE).

La información y las conclusiones contenidas en esta publicación no reflejan necesariamente los puntos de vista de los donantes.



Foto portada:

Establecimiento de una asociación de *Brachiaria decumbens* y *Desmodium ovalifolium* en CIAT-Quilichao, Colombia.

ISBN 958-9183-26-3

Establecimiento y Renovación de Pasturas

**Conceptos, experiencias y enfoque
de la investigación**

**Red Internacional de Evaluación
de Pastos Tropicales**

Sexta Reunión del Comité Asesor

Editores:

Carlos E. Lascano y

James M. Spain

Centro Internacional de Agricultura Tropical
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

Publicación CIAT No. 178
ISBN 958-9183-26-3
Tiraje: 500 ejemplares
Impreso en Colombia
Diciembre, 1991
Reimpresión, julio 1997

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1991. Establecimiento y renovación de pasturas: Conceptos, experiencias y enfoque de la investigación. Lascano, C. y Spain, J. (eds.). Sexta reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Veracruz, México, noviembre de 1988. Cali, Colombia. 426 p.

1. Pastizales — Siembra. 2. Pastizales — Factores climáticos. 3. Pastizales — Suelos. 4. Pastizales — Costos. 5. Pastizales — América tropical. 6. Pastos — Enfermedades. 7. Pastos — Plagas. 8. Pastos — Semillas. I. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Comité Asesor. Reunión de Trabajo (6. : 1988 : Veracruz, México). II. Lascano, Carlos E. III. Spain, James M. IV. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Contenido

	pág.
Acrónimos, abreviaturas y terminología técnica	vii
Prefacio	xi
La Problemática del Establecimiento y la Recuperación de las Pasturas	
A. Peralta y J. M. Toledo	1
A. Factores que Afectan el Desarrollo de las Plántulas en una Pastura	17
La Calidad de la Semilla en el Establecimiento de las Pasturas	
R. P. de Andrade y J. E. Ferguson	19
Enfermedades de las Pasturas en su Establecimiento y Posibles Estrategias de Control	
J. M. Lenné y J. H. Ordóñez	53
Plagas que Atacan los Pastos Tropicales durante su Establecimiento	
S. L. Lapointe y A. Ferrufino C.	81
Factores Climáticos y de Competencia que Afectan el Desarrollo de la Planta en el Establecimiento de una Pastura	
Z. Baruch y M. J. Fisher	103
Factores Edáficos cuyas Propiedades Físicas Afectan el Desarrollo de las Plántulas de las Especies Forrajeras	
M. Ara	143
Efecto de las Propiedades Químicas de los Suelos Acidos en el Establecimiento de las Especies Forrajeras	
M. A. Ayarza	161

	pág.
B. Manejo del Establecimiento y Recuperación de las Pasturas	187
Manejo del Ambiente Físico y Químico en el Establecimiento de Pasturas Mejoradas M. A. Ayarza y J. M. Spain	189
Manejo del Ambiente Microbiológico del Suelo R. S.-Bradley y M. Valdés	209
Manejo de la Competencia entre Forrajeras y Malezas en el Establecimiento y Recuperación de las Pasturas P. J. Argel y J. B. da Veiga	237
Manejo del Pastoreo en el Período de Formación de la Pastura J. M. Pereira y C. Lascano	257
Degradación y Rehabilitación de Pasturas J. M. Spain y R. Gualdrón	269
C. Perspectivas de Sistemas de Producción en el Desarrollo de Tecnologías de Establecimiento de Pasturas	285
Problemas y Limitaciones del Establecimiento de Pasturas en el Ambito de la RIEPT R. R. Vera y S. Guzmán	287
Costos y Riesgos en el Establecimiento de Pasturas Tropicales A. Aluja, C. Seré y L. Rivas	299
D. Experiencias con Productores en el Establecimiento y Recuperación de Pasturas: Estudio de Casos	319
Establecimiento de Pasturas en el Trópico Húmedo: Experiencias en la Selva Peruana W. M. Loker, E. Hernández y J. Rosales	321

	pág.
Establecimiento y Recuperación de Pasturas entre los Productores del Trópico Húmedo Brasileño	
E. A. S. Serrão y M. B. Dias Filho	347
Establecimiento de Pasturas en los Llanos Orientales de Colombia	
S. Guzmán y R. R. Vera	385
Establecimiento de Pasturas en las Fincas del Cerrado Brasileño	
R. R. Saez	399
E. Conclusiones y Recomendaciones	411
Resultados de los Grupos de Trabajo	
C. Lascano, J. M. Spain y A. Ramírez	413
Participantes	421

Acrónimos, abreviaturas y terminología técnica

De instituciones

CARDI	Caribbean Agricultural Research and Development Institute (Antigua)
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Costa Rica)
CENIP	Centro Nacional de Investigación Pecuaria (República Dominicana)
CEPEC	Centro de Pesquisas do Cacau (Brasil)
CEPLAC	Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Brasil)
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical (Colombia)
CIID	Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (Canadá)
CPAC	Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Brasil)
CPATU	Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (Brasil)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FONAIAP	Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Venezuela)
FUNDEAGRO	Fundación para el Desarrollo del Agro (Perú)
IBTA	Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (Bolivia)
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario (Colombia)
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (Guatemala)
IDIAP	Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (Panamá)
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (Costa Rica)
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (Ecuador, Perú)
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (México)
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique (Guadalupe)
INTA	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Argentina)

IPEAN	Instituto de Planeamiento Económico y Social do Nordeste (Brasil)
ISTA	International Seed Testing Association Asociación Internacional para el Análisis de Semillas (Suiza)
IVITA	Instituto Veterinario de Investigaciones Tropicales y de Altura (Perú)
PRONIEGA	Programa Nacional de Investigación Ganadera (Paraguay)
RIEPT	Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales
RISPAL	Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal de Latinoamérica
USFS	United States Forest Service (USA)

De expresiones técnicas y unidades

A	animal
B/C	relación beneficio/costo
l	litro
MCPA	ácido metil-cloro-fenoxiacético (herbicida hormonal)
MPa	megapascal (múltiplo de presión; $1\text{ MPa} = 10^6\text{ Pa} = 10^7\text{ baria} = 10^7\text{ dyn/cm}$)
NCZ	nuevo cruzeiro (moneda brasileña)
Pa	pascal (unidad de presión; $1\text{ Pa} = 10\text{ baria} = 10\text{ dyn/cm}$)
p. ej.	por ejemplo
PV	peso vivo (de bovinos)
p/v	peso respecto a volumen
TIR	tasa interna de retorno
VPN	valor presente neto

Notación decimal: cifras decimales, con punto (0.24, 12.68) unidades de mil, sin signo hasta 9999 (ej.: 3570); con coma desde 10,000 (ej.: 14,600).

Términos técnicos

chapeo	(reg.) Corte con machete.
dormencia	(neol.) Período transcurrido entre el momento en que un vegetal recibe un estímulo (físico, bioquímico) y aquél en que reacciona. Equivale a latencia en las semillas.

disectar	(neol.) Acción de dividirse el limbo foliar para dar lugar a lóbulos o laminillas (hoja disectada se opone a hoja entera).
'facho'	(port.) Plantas forrajeras pioneras.
'juqúira'	(port., reg.) Comunidad de malezas de la sabana.
implementar	(neol.) Proveer los elementos (recursos, elementos, equipo) para el desarrollo y culminación de un plan.
organísmico	(neol.) Acción generada por el organismo como tal.
pelete	(neol., del inglés 'pellet') Gránulo o semilla recubiertos con una sustancia, como un fertilizante o un producto fitosanitario. Peletizar = convertir un gránulo en pelete.
repoblamiento	(neol., por repoblación) Acción y efecto de volver a poblar un lugar.
roza	Campo que se limpia de malezas para sembrarlo después.
socola	(amer.) Corte de las malezas para despejar el terreno alrededor de los árboles mayores.
Sulpomag	Fertilizante comercial constituido por un sulfato doble de potasio y magnesio.
tapado	(amer.) Acción de cubrir la semilla con tierra.
tumba	(amer.) Acción de desmontar un bosque o arbolada silvestres.
'várzea'	(port.) Planicie inundable en la ribera de los ríos amazónicos.

Prefacio

Desde su fundación en 1979, la RIEPT ha catalizado el esfuerzo colaborativo de investigación sobre los pastos tropicales que crecen en los suelos ácidos del continente americano. Ese esfuerzo ha sido, sin duda, muy importante, porque ha producido nuevas opciones de germoplasma de gramíneas y leguminosas adaptadas a las condiciones de esos suelos ácidos y pobres, y a factores climáticos y bióticos adversos. Este nuevo germoplasma tiene un gran potencial para intensificar y mejorar la producción animal, y para contribuir a la sostenibilidad de los sistemas integrados de producción.

Hay que reconocer, no obstante, que el germoplasma per se, sin la tecnología adecuada para utilizarlo, no podría expresar su potencial. Por eso, la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) ha desarrollado, con un criterio estratégico, metodologías para ensamblar gramíneas y leguminosas en pasturas, y metodologías para evaluar el manejo que requieren éstas y para determinar su potencial de producción animal en diferentes sistemas de utilización. La RIEPT ha desarrollado, además, métodos de investigación paralela con los cuales se ajusta la tecnología de manejo de la fertilización, de la rizo-biología, y de la sanidad vegetal. Se ha hecho también el necesario esfuerzo paralelo de multiplicación de semilla experimental, básica, y comercial.

El Comité Asesor de la RIEPT consideró, finalmente, que para agilizar la adopción de esta tecnología entre los productores, era necesario definir claramente la problemática del establecimiento y la renovación de pasturas. Los conceptos necesarios para definir correctamente la tecnología que debe aplicarse se agrupan en dos niveles:

Un nivel de principios que incluye el estudio de las relaciones suelo-semilla-plántula, de las relaciones de competencia plántula-plántula, y de las relaciones de competencia plántula-planta; comprende asimismo el análisis práctico de las opciones de manejo que garantizarán el éxito del establecimiento de las plantas deseadas.

Un segundo nivel comprende el estudio de los mecanismos correctivos que se aplicarán a situaciones más específicas; ejemplos de aquéllos son las tasas de fertilización, las técnicas de labranza, el control de malezas, y la densidad de siembra.

Este es, sin duda, un tema de investigación muy amplio y complejo, que exige la participación de muchas disciplinas y de diversos puntos de vista en el campo de la agronomía y de la zootecnia. Por ello, este nuevo manual de la RIEPT contiene las ponencias presentadas por varios investigadores durante la Sexta Reunión del Comité Asesor de la RIEPT, y los novedosos enfoques discutidos por ellos. En esta reunión se analizó cada uno de los aspectos clave de la experimentación sobre el establecimiento y la renovación de las pasturas. El manual contiene, por tanto, aspectos básicos de esta investigación, aplicación de principios, y estudio de casos.

No puede ignorarse la importante contribución que un documento como éste hace al desarrollo de las pasturas de América tropical.

José M. Toledo
Especialista en pasturas tropicales, Perú

La Problemática del Establecimiento y la Recuperación de las Pasturas

Armando Peralta y José M. Toledo

Introducción

Siguiendo el proceso de investigación en que se desarrollan nuevas tecnologías para establecer pasturas en los suelos ácidos y pobres de los trópicos, la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) ha seleccionado nuevas opciones de germoplasma para diversos ambientes en dos ensayos regionales, ERA y ERB; ha asociado ('ensamblado') luego gramíneas y leguminosas en pequeñas parcelas para estudiar su capacidad de ser compatibles cuando se las somete al pastoreo animal—aplicado según diversos tipos de manejo—dentro del sistema de producción imperante en cada localidad (Ensayo Regional C, ERC); finalmente, ha evaluado pasturas para determinar su persistencia y su potencial de productividad animal, expresada ésta como ganancia de peso o como producción de leche (Ensayo Regional D, ERD). Más aún, instituciones e investigadores miembros de la RIEPT están experimentando ya las mejores opciones del germoplasma forrajero ensamblado en pasturas en los campos de los productores de ganado.

No hay duda de que el avance en este proceso de investigación, desde la formación de la RIEPT en 1979, ha sido grande. Hasta ahora, sin embargo, se ha dado énfasis tanto al aspecto conceptual (objetivo, intención) como al aspecto práctico (procedimiento, metodologías) de dos actividades: la generación de **germoplasma adaptado** y el estudio del **potencial de la nueva tecnología** bajo condiciones controladas de experimentación. El buen establecimiento de las especies forrajeras se ha garantizado a cualquier costo en la mayoría de los casos, para permitir una expresión optimizada del potencial de esa nueva tecnología.

Armando Peralta es Coordinador del Programa de Forrajes y Pastos Tropicales, INIFAP, Iguala, GRO, México. José M. Toledo fue Líder del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia; actualmente es Director Ejecutivo de FUNDEAGRO, Casilla Postal 410116, Lima 41, Perú.

Aunque este análisis parece una crítica al enfoque recibido hasta hoy por la RIEPT, no lo es en realidad. Todo lo contrario, creemos que esa estrategia ha sido muy eficiente, y muy efectiva, para generar las nuevas opciones del germoplasma y de las pasturas porque reconocemos, además, que los factores que determinan el éxito, no sólo biológico sino también económico, del establecimiento de una pastura son altamente dependientes de la localidad. Debe tenerse en cuenta, además, que las técnicas de establecimiento que se puedan desarrollar para una pastura que aún no ha sido adaptada serán diferentes, tanto en los insumos como en el manejo requeridos, a las que necesita una pastura cuyos componentes están adaptados al ambiente, es decir, como las que hoy maneja la RIEPT. Por otro lado, si no se soluciona, al nivel local o microregional, la problemática del establecimiento de las pasturas—es decir, si no se reducen su costo y el riesgo que implican—es posible que se frene la adopción de nuevas pasturas porque se tropezaría con la incapacidad de dar recomendaciones útiles al productor ganadero.

El desarrollo de proyectos de investigación de nivel microregional (Ecosistema/Sistema de Producción) dirigidos a resolver la problemática del establecimiento de las nuevas pasturas—dentro del enfoque de mínimos insumos—es una necesidad de alta prioridad.

En este capítulo se definen y analizan brevemente los factores que influyen en las relaciones de la plántula con el ambiente, y los procedimientos y las herramientas a nuestro alcance para favorecer el establecimiento de las pasturas; se estudia además la necesidad de orientar los esfuerzos de investigación hacia la solución de los problemas que plantea, al productor ganadero, el establecimiento y la recuperación de las pasturas, los cuales encierran verdadera importancia para él.

Relaciones entre la Plántula y el Ambiente

Una buena base para el análisis de los factores asociados con el establecimiento y la recuperación de pasturas es la percepción del problema a un micronivel, es decir, en las relaciones de la plántula con el ambiente.

Cuando alguien establece o recupera una pastura, se halla, en primer lugar, frente a un terreno cubierto por una vegetación inicial que debe

eliminar parcial o totalmente; luego, debe sembrar allí especies de gramináceas y leguminosas que, es lo esperado, dominarán el área en el menor tiempo posible y a un costo mínimo. Así expresada esta operación, parece simple; sin embargo, las plántulas que eventualmente cubrirán esa área afrontan una situación muy compleja, porque su desarrollo y éxito como plantas depende de que el medio les sea, en general, favorable.

En la Figura 1 se ilustran, esquemáticamente, los factores ambientales que afectan las plántulas de las especies que se siembran. En un nivel central, las plántulas A, B y C de las especies sembradas interactúan y compiten entre sí para aprovechar los recursos del medio ambiente, es decir, los nutrimentos y el agua al nivel radicular, así como radiación y espacio al nivel aéreo. Esta competencia incluye la que las plántulas de las especies sembradas deben sostener con las plántulas y rebrotes de la vegetación original. En la Figura 1, las plántulas y rebrotes de las malezas, representados por M, se convertirían en un problema menor o mayor según las reservas de semilla de la vegetación original o según el vigor relativo de ésta con respecto al de las plántulas de las especies sembradas. Hay ecosistemas, como el trópico húmedo, cuya carga de malezas es mayor que la de un ecosistema de sabana. Las malezas serían, en realidad, un problema más serio en las áreas previamente utilizadas con pastos o cultivos.

En general, la cantidad y calidad de las reservas de semilla de la vegetación original, y el manejo que se les dé para eliminar su competencia inicial, determinan el éxito de la germinación de las semillas y el desarrollo de las plántulas en el área en que se establecerá la pastura. Por otro lado, en el proceso de recuperación de una pastura, las plántulas de las especies deseables (sembradas o no) deben competir también con plantas adultas (también deseables) cuyos sistemas de raíces y cuya biomasa aérea están ya establecidos. Estas relaciones entre plantas deseables e indeseables están afectadas por factores positivos y negativos del medio, los cuales definen si una plántula aventajará a otras durante el proceso de establecimiento.

La topografía del terreno puede estar ligada a diferentes niveles de nutrimentos; además, según el nivel de la pendiente, la intensidad de la precipitación puede lavar las semillas y causar erosión del terreno. La

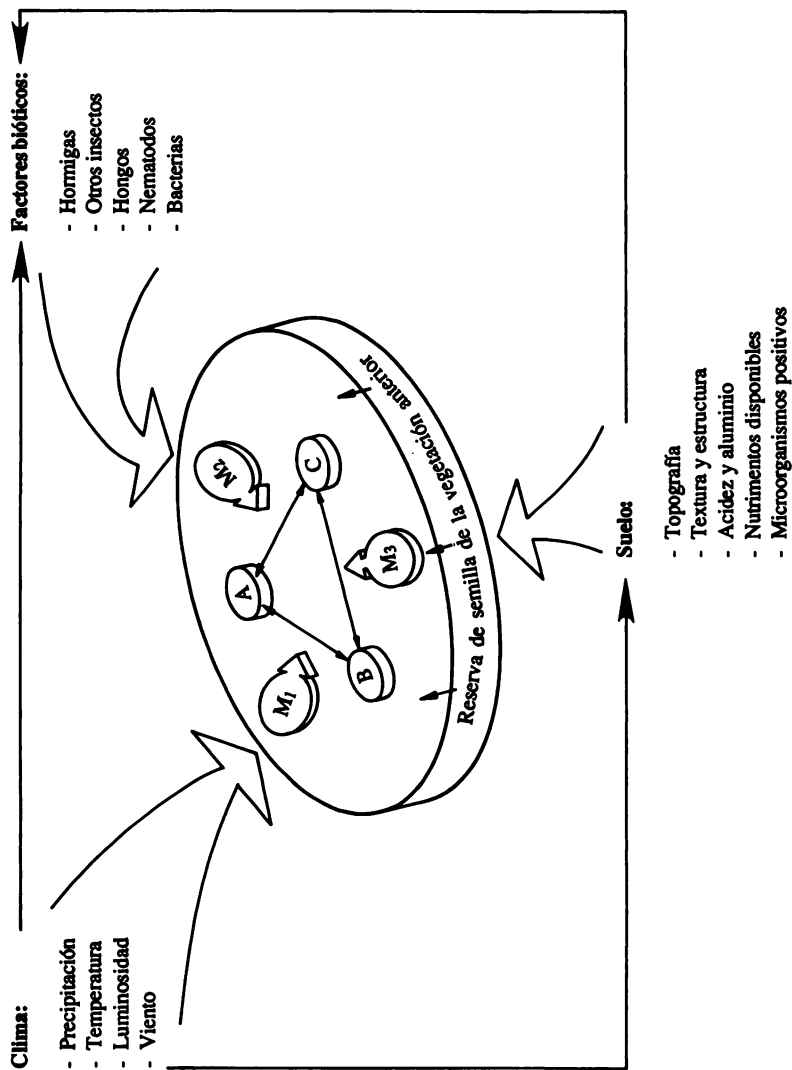


Figura 1. Las plántulas y sus relaciones con el ambiente durante el establecimiento de una pastura.

textura y la estructura del suelo—y su relación con la disponibilidad de nutrimentos, con la compactación del suelo, y con el nivel de infiltración de agua—pueden favorecer a unas plántulas más que a otras, tanto de las especies deseables como de las indeseables. La abundancia de nutrimentos (N, P, K, Ca, Mg, S, y micronutrimentos) disponibles en el suelo, y su equilibrio en él, definirán el eventual dominio de unas plántulas sobre otras. Por último, la presencia en el suelo de microorganismos tales como los fijadores de nitrógeno (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Derxia*, *Azospirillum* y otros) y los facilitadores de la toma de nutrimentos (hongos de micorriza), y la capacidad de unos y otros para establecer simbiosis efectivas con las plántulas sembradas, darán ventajas competitivas a éstas frente a las plántulas de las especies no deseables, o viceversa.

Otros factores del medio, como la temperatura ambiental, afectan la germinación de la semilla y el crecimiento de las plántulas. Asimismo, la radiación solar y la cantidad de agua adecuadas para lograr una efectiva fotosíntesis y el crecimiento de las plántulas pueden decidir el desarrollo exitoso de éstas. La humedad del aire y el viento también pueden afectar, aunque en forma diferente, el desarrollo de las plántulas; en efecto, en condiciones de sequedad del aire, estos factores ambientales favorecen a las plántulas de menor sensibilidad estomática y detienen el metabolismo de aquéllas cuya sensibilidad estomática es alta.

Un aspecto muy importante del medio ambiente son los factores bióticos negativos (plagas y enfermedades), que pueden eliminar selectivamente las plántulas deseables o indeseables. Su incidencia y la severidad del daño que causen pueden determinar el éxito o el fracaso del establecimiento de una pastura. Las hormigas (*Atta* spp. y *Acromyrmex* spp.), los grillos (*Grillidae* spp. y *Agrotis* spp.) y otras plagas llegan a ser muy dañinas durante el establecimiento. Asimismo, los roedores pastoreadores, y los pájaros colectores de semillas pueden alterar el equilibrio de las especies forrajeras en el establecimiento de la pastura.

Las enfermedades que se presentan durante el establecimiento de las plántulas causan a menudo la pudrición del cuello de éstas (*Pythium* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia* spp., *Phytophthora* spp. y otros) o su defoliación y muerte (Antracnosis, *Rhizoctonia*). Estas enfermedades

atacan selectivamente las plantas susceptibles, sean éstas deseables o indeseables, y pueden definir el éxito de la pastura.

Las plántulas soportan, sin duda, múltiples presiones negativas del ambiente. Por tanto, su éxito durante el establecimiento de la pastura depende de las siguientes condiciones: a) su intrínseco vigor de establecimiento (viabilidad y tamaño de la semilla, capacidad de fotosíntesis, rapidez de enraizamiento); b) su resistencia o tolerancia a las plagas y enfermedades; c) su tolerancia a períodos cortos de sequía; d) su adaptación para aprovechar eficientemente los recursos de nutrimentos y de agua del medio; y e) su agresividad frente a las malas hierbas y la competencia que les hacen (Cook, 1980).

Manejo de la Pastura durante su Establecimiento

En todos los procesos biológico-ambientales propios de la agricultura, es posible dirigir las relaciones plántula/ambiente, lo que se hace en parte a nivel genético, y en parte mediante el manejo, es decir, a nivel ambiental. Sin embargo, algunos factores biológico-ambientales no podrán ser controlados, ya sea porque no se conocen suficientemente o porque económicamente no es posible controlarlos. El éxito del manejo de la pastura durante su establecimiento está basado en el uso eficiente y oportunista de los factores genéticos, ambientales y tecnológicos de que se dispone; actuando así se podrá cambiar, asumiendo costos y riesgos mínimos, una vegetación improductiva por otra de alta productividad y sostenibilidad.

Las opciones que tenemos para controlar el proceso de establecimiento de una pastura son las siguientes:

- a. Selección del lugar para establecer la pastura.
- b. Selección de las especies forrajeras que se sembrarán.
- c. Calidad y cantidad de la semilla.
- d. Preparación del terreno:
 - control de la vegetación original;
 - labranza;

- enmiendas y fertilización.
- e. Momento de la siembra.
- f. Método de siembra.
- g. Manejo de la pastura después de la siembra:
 - control de malezas;
 - control de plagas y enfermedades;
 - primeros pastoreos.

Selección del lugar y oportunidad de la siembra

Se define aquí el área que debe modificarse, considerando los puntos siguientes: a) la futura utilización de la pastura en relación con la infraestructura existente (caminos, corrales, etc.); b) el tamaño y la topografía del área; c) la calidad del recurso suelo (drenaje y fertilidad); y d) la vegetación original. Si se supone seleccionado el lugar, entonces las especies que se sembrarán, los métodos de preparación del área, los métodos de siembra, y la muy importante relación costo/beneficio ofrecen un rango de opciones más estrecho.

Las especies forrajeras elegibles, los métodos de preparación y de siembra, y la relación costo/beneficio serán diferentes si la pastura se establece en un área no mecanizable (de fuerte pendiente), con una alta posibilidad de ser invadida por malezas, y con disposición para el levante de novillas, que si se establece en un área mecanizable donde se utilizará con vacas de ordeño.

La calidad del recurso tierra que se utilizará—en lo que respecta a drenaje o vegetación original, por ejemplo—también define las especies forrajeras elegibles y los métodos de preparación requeridos.

La oportunidad de uso del área destinada a la pastura, en relación con la carga animal total de la finca, es un criterio importante que debe tenerse en cuenta en el establecimiento o renovación de pasturas, especialmente en las fincas pequeñas donde no puede extenderse el área dedicada al pastoreo. En estos casos sería necesario descargar la finca por venta de animales, o iniciar un desarrollo secuencial de pasturas

dentro de un programa a largo plazo. Estas consideraciones hacen pensar en la necesidad de tener un plan de desarrollo de pasturas a nivel de la finca, que permita hacer un mejor uso de los recursos naturales disponibles y del capital invertido, con un mínimo de disturbio del nivel de productividad de la finca.

En sistemas extensivos como los de las sabanas, la elección del lugar, y del área física, de la pastura mejorada deberá tener en cuenta la población de ganado de la explotación y sus perspectivas de crecimiento. No sería una operación económica expandir pasturas mejoradas cuando no hay animales suficientes para aprovechar este recurso, o cuando la pastura mejorada se utilice en remplazo de la sabana nativa estrictamente para operaciones de cría.

Una vez definido el lugar para la siembra de la pastura dentro de la finca, la elección de la época de preparación del terreno y de la época de siembra son fundamentales para controlar, al menos parcialmente, los factores climáticos (disponibilidad de agua), las condiciones del suelo (mineralización, potencial de erosión), y la incidencia de plagas y enfermedades.

Selección de las especies forrajeras para sembrar

La elección del área de siembra (como se indicó antes) y de la utilización que se le dará más tarde indicarán las mejores especies que conviene establecer. En regiones donde la posibilidad de una invasión de malezas es alta, como el trópico húmedo, se necesitarán especies de gran vigor de establecimiento y muy agresivas. Si no se cuenta con las especies apropiadas para estas condiciones, se podrían considerar mezclas de varias gramíneas y leguminosas; de este modo, las que tengan mayor vigor de establecimiento, como *B. brizantha*, *B. decumbens*, *S. guianensis*, *C. acutifolium* o *C. macrocarpum*, dominarán el área permitiendo que especies de menor vigor inicial, pero de alta competitividad posterior, como *B. dictyoneura* y *D. ovalifolium*, se establezcan y dominen la pastura con el tiempo. En contraste, en las regiones consideradas de menor potencial de malezas, como las sabanas, las especies menos vigorosas en el establecimiento y menos agresivas, como *A. gayanus* y *S. capitata*, se establecerán exitosamente.

Las especies deberán seleccionarse también para el uso final que se les quiera dar. Así, una pastura de *B. humidicola*, sola o asociada con *D. ovalifolium*, sería seleccionada para usarla con altas cargas y con animales de bajos requerimientos nutricionales (vacas secas). Por el contrario, si la pastura se utiliza con animales de altos requerimientos (vacas lecheras o animales en ceba) se necesitará una pastura de mejor calidad como *A. gayanus* + *C. macrocarpum* o *B. decumbens* (y/o *B. dictyoneura*) + *C. acutifolium* (y/o *P. phaseoloides*).

Dadas las numerosas opciones de gramíneas y leguminosas de que se dispone, y con el conocimiento que tiene la RIEPT de este germoplasma, es factible escoger especies forrajeras según sus atributos, para ensamblar así pasturas que encajen mejor en el ambiente y en sistemas de producción que incrementen el costo/beneficio de la inversión.

Calidad y cantidad de la semilla

Cuando se seleccione la semilla que se sembrará, es muy importante tener conocimientos sobre la calidad de ésta en cuanto a su viabilidad y pureza. La semilla de poca viabilidad (o sea, poder de germinación) puede hacer fracasar el establecimiento de la pastura. Las semillas contaminadas pueden introducir malezas, plagas y enfermedades. Conviene averiguar, en lo posible, el origen de la semilla y el prestigio de la empresa productora. El control de calidad de la semilla debe ser responsabilidad de las instituciones oficiales; éstas deben impedir, además, la comercialización de semillas de baja calidad.

La cantidad de semilla que se siembre permite compensar por la baja calidad de la misma. Esta cantidad de semilla depende, además, de la reserva de semilla de las especies de la vegetación original que se haya calculado; se siembran, por tanto, mayores cantidades de semilla en áreas en que potencialmente germinarán más malezas. La escarificación de la semilla, para romper su dormencia y sincronizar la germinación, es otra medida importante de manejo para hacer más competitivas las especies sembradas. Habría, sin duda, limitaciones económicas cuando se quiera usar semillas más costosas y de tasas de siembra muy altas; sin embargo, invertir menos en la semilla es aumentar el riesgo de perder todo lo que se ha invertido en el establecimiento o recuperación de la pastura.

Preparación del terreno

En esta etapa se consideran el control de la vegetación original, la labranza del terreno, y la aplicación de enmiendas y fertilizantes. Para el control de la vegetación y la labranza se dispone de elementos como la mano de obra (machete, azadón, etc.), la maquinaria (motosierras, tractores e implementos), los herbicidas (preemergentes y poseemergentes), y el fuego. El uso de una u otra de estas herramientas está decidido no sólo por su efectividad o su costo—o por ambos—sino también por la imposibilidad física o económica de utilizar otra más efectiva; frecuentemente, por tanto, se elige la alternativa de mediana efectividad. Tal es el caso de las ‘siembras’ vegetativas manuales en las áreas con mucha pendiente de los ‘criaderos’ del Caquetá, Colombia, donde se emplea mano de obra para el ‘plateado’ y para la siembra vegetativa de *B. decumbens*. Otro caso es el empleo de mano de obra para la tumba y quema de ‘purmas’ cuando se siembran *B. decumbens* y kudzú con cultivos (maíz o arroz, o ambos) en Pucallpa, Perú. En la zona de Paragominas, Brasil, los productores limpian extensas áreas degradadas, relativamente planas, con maquinaria; la arada, la siembra y la fertilización también se hacen con maquinaria, ya sea para sembrar cultivos o establecer pasturas. El productor brasileño puede hacer esto dada la disponibilidad de maquinaria y las facilidades de crédito subsidiado que hay en ese país. En los Llanos Orientales de Colombia, por su parte, el control de la vegetación se hace en forma mecanizada a causa de las mayores extensiones que deben trabajarse, y por la poca disponibilidad de la mano de obra.

El uso de enmiendas (cal) o de fertilizantes también depende de la relación costo/beneficio. En general, sabemos que los productores de América tropical adoptan las nuevas tecnologías basadas en el germoplasma, pero no las que se fundan en recomendaciones de fertilización. Tal es el caso del pasto estrella (*Cynodon plectostachyus* y *C. nlemfuensis*) en América Central, y de *B. decumbens* en América del Sur. De ahí el esfuerzo de la RIEPT por seleccionar especies de bajos requerimientos de fertilización para los suelos ácidos y pobres de América tropical.

Las nuevas opciones de germoplasma tal vez no necesiten fertilización al establecimiento en suelos mejores, como los de moderada

acidez en América Central y en México. Sin embargo, en suelos pobres (Oxisoles y Ultisoles) como los de las sabanas sudamericanas y los de las áreas degradadas en 'torourco', en 'gramas', o en 'criaderos' (*A. compressus*, *P. conjugatum*, *P. notatum*, *Imperata brasiliensis*, *H. aturensis*) del trópico húmedo, será necesaria la aplicación de fertilizantes para elevar el nivel de los nutrientes del suelo. En estos casos, los fertilizantes localizados y el establecimiento de pasturas en combinación con cultivos financiadores (maíz, caupí, arroz) que paguen por la preparación del suelo y por la fertilización, será probablemente la única alternativa viable.

En el trópico húmedo también hay áreas con rebrote del bosque secundario que tienen por lo menos cinco años (las 'purmas'); estas áreas, después de la quema, no requieren fertilización para el establecimiento de una pastura si se siembran en ellas las nuevas opciones de germoplasma seleccionadas en la RIEPT. En general, este método—tumba y quema de purmas y siembra simultánea de cultivos y pasturas sin labranza—es la forma tradicional de recuperar áreas degradadas en algunas zonas de los trópicos húmedos, como en Pucallpa, Perú, y en Panamá. Este método es de bajo costo y tiene un riesgo de invasión de malezas de nivel variable. No obstante, estas purmas ocurren normalmente en áreas distantes de la infraestructura de la finca, y el productor necesita a veces una pastura de mayor productividad cerca de su casa para colocar en ella vacas de ordeño; tal ha sido el plan de desarrollo de estas explotaciones. Generalmente, estas áreas están degradadas por el 'torourco' y la vegetación de poca biomasa. Para recuperarlas, el productor tendrá que invertir en ellas, o aislar parte de ellas y esperar el rebrote secundario de 5 a 10 años para establecer su pastura mejorada mediante la tumba y quema de la purma. Una alternativa sería remplazar la purma por leguminosas con alta capacidad de acumulación de biomasa, como *S. guianensis* + *C. macrocarpum* + *P. phaseoloides*.

En resumen, no debe perderse de vista que la preparación de un terreno para la siembra de pasturas incluye el control de la vegetación original y de sus reservas de semilla, así como la mejora física (descompactación) y química del suelo, para favorecer el desarrollo de las plántulas que se siembran. El empleo de las herramientas tecnológicas

dependerá de su economía y de que éstas estén disponibles para el productor; conviene recordar siempre que la preparación del terreno tiene una alta incidencia en el costo total del establecimiento.

Momento de siembra

El elemento clave en el proceso de establecimiento de pasturas es la oportunidad de la siembra. Esta debe hacerse lo más pronto posible después de la preparación del terreno, para que haya luego menor competencia con las malezas. Sin embargo, en regiones donde el clima es poco confiable, las siembras muy tempranas podrían coincidir con un período de escasa precipitación, y las plántulas, que aún no han desarrollado bien su sistema radicular, no tolerarían las altas temperaturas y la falta de humedad del suelo superficial.

El conocimiento del clima del lugar—incluyendo su confiabilidad—junto con el conocimiento de la capacidad de enraizamiento rápido de las plántulas que emergerán después de la siembra, son esenciales para definir el momento de la siembra.

Método de siembra

Hay varios métodos de siembra, y la selección de uno en vez de otro depende de una serie de factores. En un área de sabana, con posibilidades de siembra mecanizable, se podrán considerar más opciones de métodos de siembra, como a voleo, en líneas alternas de gramíneas y leguminosas, con la gramínea y la leguminosa en la misma línea, o con patrones de siembra diferentes. Estos métodos, empleados en sistemas agrícolas más tradicionales, serían también aplicables, al menos en principio, a las siembras después del torourco, en las cuales se aplican fertilizantes y luego se siembra la pastura simultáneamente con los cultivos, haciendo deshierbas posteriores. Debe reconocerse que, en otras condiciones, estos métodos pueden ser totalmente irrelevantes. Tal es el caso de las siembras no mecanizadas donde hay torourco o 'criaderos', o en áreas de purma o 'capoeira', donde la siembra manual a 'chuzo', 'tacarpo' o 'matraca' es la única opción viable. Igualmente, en regiones de sabana donde los costos de la maquinaria son altos, la siembra a voleo es la que utilizan los productores.

Manejo después de la siembra

Con la siembra de la semilla no acaba el proceso de establecimiento de una pastura. La fase que viene después de la siembra es también importante para asegurar el éxito del establecimiento y de la pastura en el futuro. Sin embargo, debe tenerse en mente que un área mal escogida, mal preparada, y deficientemente sembrada con especies que no son idóneas, estará destinada al fracaso irreversiblemente por más que se le aplique el mejor manejo durante el período posterior a la siembra.

El manejo que se da después de la siembra debe concebirse solamente como el conjunto de prácticas con que se hacen ajustes menores a la pastura en formación. Estas prácticas son, entre otras, la deshierba oportuna, el control de insectos (hormigas, grillos), y el uso estratégico de cortes o pastoreos—de ambos—de diferente intensidad y duración; ellas ayudan a mantener un buen equilibrio entre las especies sembradas y a reducir la población de las especies indeseadas.

En general, las alternativas de manejo de la pastura después de la siembra serán diferentes según el germoplasma que se utilice, los recursos del ambiente en que se halla el área sembrada, y la disponibilidad de capital y de maquinaria del productor.

Enfoque de la Investigación

Se ha discutido en este capítulo, en forma resumida, el panorama complejo de las relaciones plántula-ambiente, las posibilidades de modificar estas relaciones, y las limitaciones que las acompañan; el propósito es disminuir los costos y riesgos del establecimiento y de la recuperación de las pasturas.

Surgen aquí algunas preguntas: ¿Qué se debe investigar? ¿Cómo definir conceptos y principios? ¿Dónde poner los recursos de investigación para garantizar la generación de una tecnología de establecimiento y recuperación de pasturas que sea efectiva y relevante? Para contestar estas preguntas se necesita, obviamente, un certero y sistemático análisis de la problemática que se pretende solucionar, es decir, hay que identificar tanto los problemas que pueden resolverse con un mínimo esfuerzo como aquéllos que requieren mayor esfuerzo de investigación.

En el análisis sistemático de un problema, se tienen que cumplir etapas clave que respondan en secuencia las siguientes preguntas:

- a. ¿Cómo establece el productor una pastura empleando tecnología tradicional? ¿Por qué lo hace así?
- b. ¿Cuáles son el costo y el riesgo de la tecnología tradicional?
- c. ¿Puede mejorarse la tecnología tradicional empleando nuevo germoplasma y mejor manejo?
- d. ¿Cuál es la relación costo/beneficio esperada de las mejoras, y qué posibilidad tienen éstas de que el productor las adopte?
- e. ¿Cuáles son los problemas de más fácil solución mediante la investigación?
- f. ¿Cuál es el problema de mayor magnitud, es decir, cuya solución tenga un alto potencial de impacto tecnológico y que requiera de un esfuerzo mayor de investigación?

Las respuestas a estas preguntas darían un entendimiento básico de la problemática que debe solucionarse, y una aproximación a los problemas concretos que son susceptibles de ajuste y mejora por medio de la investigación. Definidos estos últimos, es necesario asignarles prioridades en forma realista para poder distribuirles los recursos de la investigación.

Finalmente, el investigador dedicado al establecimiento y recuperación de pasturas deberá ser conciente de que es miembro de un equipo multidisciplinario que incluye a otros investigadores, a extensionistas, e incluso a productores. Su efectividad dependerá de la claridad con que provea retroalimentación, sobre las necesidades de esa investigación, a los investigadores de otras disciplinas, y haga partícipes a extensionistas y productores en el proceso de investigación. Así, la investigación que necesite un alto nivel de control y seguimiento podrá realizarse más eficientemente en la estación experimental; la investigación de ajuste y adaptación, en cambio, deberá hacerse con la participación de quienes promueven y utilizan la tecnología.

Comentarios Finales

La adopción de una nueva tecnología de pasturas dependerá, sin duda, de que ésta tenga capacidad de aportar un beneficio biológico-económico a las pasturas existentes en la región. También es claro que los costos y riesgos involucrados en el establecimiento frenarán, o facilitarán, esta adopción por los productores. La RIEPT está en el punto en que debe abordar en serio la investigación dirigida a reducir riesgos y costos en el establecimiento y recuperación de pasturas. Los investigadores y los extensionistas deberán tener una clara visión de la problemática que debe resolverse, a nivel del productor; necesitan además la creatividad y la flexibilidad mental suficientes para producir resultados y recomendaciones adoptables por los productores.

Durante esta reunión se analizará en detalle la problemática del establecimiento y la renovación de pasturas, teniendo como base el nuevo germoplasma para suelos ácidos y pobres. Se esperan resultados como el mayor entendimiento de los problemas que deben solucionarse, y que haya interacción entre los grupos de investigadores. De este modo se dedicará, en forma ordenada y certera, parte de los recursos de investigación al desarrollo de tecnologías de establecimiento y recuperación de pasturas que tengan costos y riesgos mínimos. Los beneficiarios directos serán los productores que trabajan en las regiones de suelos ácidos y pobres de América tropical.

Referencias

- Cook, S. J. 1980. Establishing pasture species in existing swards; a review. *Trop. Grassl.* 14(3):181-187.

A

Factores que Afectan el Desarrollo de las Plántulas en una Pastura

La Calidad de la Semilla en el Establecimiento de las Pasturas

Ronaldo P. de Andrade y John E. Ferguson

Introducción

Las semillas desempeñan una función esencial en el proceso complejo de establecimiento o regeneración de una pastura. Ahora bien, hay aspectos importantes de la producción de semilla relacionados con la calidad de ésta—como análisis, control, e interpretación de resultados—que han adquirido mayor importancia a medida que se amplía el área cubierta con pasturas mejoradas en los diferentes países vinculados a la RIEPT.

Varias características indican la calidad de la semilla, y ésta no puede definirse así por un parámetro único. En cada especie vegetal puede haber componentes de calidad diferentes; la palabra calidad adquiere así significados diversos para cada una de las personas involucradas en el proceso de producción, distribución, comercialización y utilización de la semilla. El comerciante, por ejemplo, se interesa por el valor económico de los lotes de semilla y por la necesidad que tiene ésta de recibir beneficio, almacenamiento y comercialización. Para el productor de semilla es importante el contenido de humedad de ésta, el tipo de impurezas presentes en ella, y la posibilidad de venderla. El técnico, por su parte, se preocupa por las pruebas que permitan evaluar, de manera razonable, los diversos componentes de la calidad de la semilla, teniendo en cuenta las relaciones que existen entre esa evaluación y la legislación vigente de semillas.

Los diversos componentes de la calidad de las semillas son determinados por pruebas específicas. La definición precisa de cada componente así como los procedimientos para ejecutar cada prueba, es decir, las reglas del análisis, son establecidos por personas que poseen

Ronaldo P. de Andrade es agrónomo, investigador de EMBRAPA/CPAC en Planaltina, Brasil. John E. Ferguson es agrónomo, investigador en semillas en el Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia.

autoridad en el campo del análisis de semillas. Esto garantiza que las pruebas realizadas se ajusten a las especificaciones de nivel internacional, nacional o local. El comercio internacional se basa en las normas emitidas por la Asociación Internacional para el Análisis de Semillas (International Seed Testing Association) (ISTA, 1985). Estas normas se usan también en varios países para el comercio interno de semillas. Asimismo, cada país está en libertad de establecer sus propias normas para regir su comercio interno de semillas. En Brasil, por ejemplo, los análisis de semillas son hechos según las “Reglas para Análisis de Semillas” establecidas por el Laboratorio Nacional de Referencia Vegetal (LANARV) del Ministerio de Agricultura (Ministerio de Agricultura, Brasil, 1980). Más aún, cualquier laboratorio, oficial o privado, en especial los de instituciones de investigación, puede definir sus propias reglas de análisis; lo importante es que esas reglas, y los procedimientos de análisis derivados de ellas, arrojen resultados precisos y relativamente uniformes.

Los detalles relacionados con las diversas reglas de análisis van más allá de los objetivos de este trabajo, y por tal razón no serán discutidos. Sin embargo, importa mucho que los usuarios de la semilla, deseosos de entender algunos aspectos relacionados con su calidad, tengan un conocimiento mínimo de la metodología empleada para analizarla.

El presente capítulo pretende ofrecer una visión general de los diversos componentes de la calidad de la semilla; de las causas de variación del valor de estos componentes en las semillas disponibles en el comercio; y de las implicaciones que tiene esa variación para el establecimiento de pasturas en regiones tropicales de América Latina. Se indican, además, en este capítulo algunas diferencias entre la semilla de especies de gramíneas y de leguminosas.

Parámetros de Calidad de las Semillas

La evaluación de la calidad de las semillas puede hacerse en el lote como un todo, esto es, en las semillas y otros materiales diferentes, o se hace solamente en la fracción de semilla pura del lote.

Parámetros medidos en la fracción de semilla pura

Diversos componentes de la calidad pueden ser determinados en esta fracción. Los principales son:

Calidad fisiológica. Las principales pruebas que evalúan la calidad fisiológica de la semilla son la germinación, la viabilidad en tetrazolio (conocida también como prueba bioquímica), la emergencia en el suelo, y el vigor.

La prueba de germinación es el análisis clásico, y el más conocido, para determinar la viabilidad de las semillas en el medio agrícola. Esta prueba evalúa la capacidad de germinación de una semilla *en condiciones ideales* de luz, temperatura y humedad. Muchas personas creen que germinación es sinónimo de calidad; no es acertado decirlo de las semillas de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales, en las cuales la latencia y la dureza confunden generalmente la expresión de la viabilidad. Exceptuando las semillas que presentan altos valores de germinación, la correlación entre los resultados obtenidos en la prueba de germinación y la emergencia de plántulas en condiciones de campo, es baja.

Los valores bajos obtenidos en las pruebas de germinación dejan sin respuesta la cuestión sobre la viabilidad de aquellas semillas que no germinan y que podrían, algunas de ellas, estar vivas y latentes. A pesar de estas serias limitaciones, la germinación se considera, casi siempre, como uno de los parámetros más importantes para la comercialización de la semilla.

En las gramíneas tropicales, la semilla recién cosechada presenta un estado de latencia tan profundo que es necesario aplicar, durante la prueba de germinación, varios tratamientos para superarlo; por ejemplo, cambio de temperatura, nitrato de potasio al 0.2%, o ácido sulfúrico. Cuando estos tratamientos son efectivos, aumentan significativamente la utilidad de los resultados obtenidos en la prueba.

En las leguminosas tropicales hay, con mucha frecuencia, semillas duras porque su tegumento, que es impermeable al agua, impide la germinación. En estos casos hay dos alternativas: 1) antes de la prueba,

someter la semilla a tratamientos que permeabilicen el tegumento, como el corte, la abrasión, el calor; 2) considerar viables, junto con las semillas que germinaron, las que continúan firmes después de la prueba de germinación, y determinar también su porcentaje. La validez de esta última alternativa es escasa en condiciones de campo, pues las semillas duras, que son viables, darán origen a plántulas solamente después de cierto tiempo. En general, los resultados de las pruebas de germinación son más útiles en las semillas de leguminosas que en las de gramíneas.

La prueba de viabilidad en tetrazolio fue desarrollada más recientemente y es de mucha utilidad en las semillas latentes de gramíneas. Con ella se calcula rápidamente la proporción de semillas vivas y muertas presentes en una muestra. Sin embargo, como no es posible definir con ella la capacidad de germinación, no es generalmente un buen indicador del desempeño de la semilla en el campo. Esta prueba se usa mucho para conocer la calidad de lotes de semillas que se están negociando entre productores y firmas comercializadoras, pues hacerla no requiere mucho tiempo. Todos los laboratorios de análisis, o los programas de semillas, deberían capacitar analistas para realizar esta prueba. Desafortunadamente, su importancia y utilidad se han reducido en favor de la confianza exagerada que se ha puesto en la prueba de germinación.

La prueba de emergencia en suelo se denomina así porque las semillas germinan en suelo verdadero o en mezclas en las cuales el suelo es parte del sustrato. Aunque se realiza en condiciones ideales de humedad, a diferencia de la prueba de germinación, esta prueba se aproxima más a las condiciones reales del campo. Cuando se hace con suficientes repeticiones, se puede obtener con ella una buena indicación del desempeño futuro de las semillas en el campo. Desafortunadamente, los resultados obtenidos no son suficientemente uniformes como para adoptar esta prueba como el patrón que determine la calidad de las semillas. Sin embargo, a nivel de la finca, la prueba de emergencia en suelo resulta útil y ofrece al usuario un indicativo razonable de la calidad de las semillas adquiridas.

Las pruebas de vigor son análisis de germinación en que la metodología ha sido modificada; en ellas se aplica a la semilla algún tipo de

estrés semejante al que limita la emergencia de la semilla en el campo. Hay diversas pruebas de vigor, lo que ha generado gran controversia sobre su aplicabilidad a los diferentes cultivos. En los cultivos convencionales, el estrés causado por el frío, el envejecimiento precoz, la conductividad, y la prueba del tetrazolio son componentes de las pruebas de vigor. Exceptuando el trabajo de Usberti (1982), en que se probó *Panicum maximum*, pocos trabajos se han hecho, relacionados con vigor, con semillas de forrajeras tropicales. Aún está por determinarse una metodología para que las pruebas suministren resultados precisos y uniformes.

Tamaño de las semillas. El tamaño, o peso por unidad, de cada semilla se expresa normalmente en g/1000 semillas, mg/100 semillas, o en número de semillas por gramo. Obviamente, cada especie tiene un peso promedio de semilla que le es característico y que puede variar, dentro de cada especie, según el cultivar. La densidad de siembra depende del tamaño de las semillas, ya que cuanto más grandes sean éstas, más se debe aumentar la densidad para obtener una población adecuada de plantas. En los experimentos agronómicos en que se comparan diferentes especies, es necesario conocer el tamaño de las semillas para hacer ajustes que permitan obtener poblaciones constantes de plantas en todos los tratamientos.

Se puede calcular el número de semillas germinables, o viables, de un lote de semillas de gramíneas determinando el peso de las semillas puras o el de las carióspsides solas. Una metodología para establecer el peso por unidad de semilla de *Andropogon gayanus*, como complemento al análisis de pureza convencional, fue descrita por Sánchez y Ferguson (1988).

La viabilidad de las semillas presenta normalmente sus mayores valores en la época de la madurez fisiológica y ésta, a su vez, es definida por el peso máximo que alcanza la semilla en su proceso de maduración. En las gramíneas, por tanto, una vez definido el peso promedio y el rango de pesos de las semillas maduras para determinada especie, se podrán detectar los lotes que tengan un porcentaje alto de semillas maduras. En *A. gayanus*, los lotes de semilla cuyo peso de carióspsides es menor que 100 mg/100 semillas, probablemente presentarán un alto contenido de semillas inmaduras y, en consecuencia, baja viabilidad.

El peso volumétrico también puede ser usado como indicador de la calidad de las semillas de *P. maximum* cv. Colonião (Costa y Toledo, 1983) y de las del cultivar Green Panic (Okada, 1978).

Madurez de las semillas. En cada especie las semillas maduras presentan una variación de tamaño, color, consistencia, etc., que les son peculiares; con estos caracteres se determina la presencia de semillas inmaduras en la muestra (en porcentaje), lo que permite estimar la viabilidad del lote. Hopkinson y English (1985) caracterizaron como semillas maduras de *P. maximum* aquéllas en las que la cariósida ocupa completamente el espacio interno de la espiguilla, en que la lema y la palea están completamente cerradas y ‘selladas’, y en que la cariósida presenta endosperma de apariencia vítrea y no opaca ni harinosa.

Parámetros de calidad del lote de semillas

Se entiende por lote una determinada cantidad de semillas físicamente identificables, además de ciertas impurezas como material inerte y semillas de otras especies.

Pureza. La pureza de un lote de semillas se determina mediante el análisis de pureza, en que el lote se clasifica en tres fracciones: semillas puras de la especie analizada, material inerte, y otras semillas. La unidad usada para medir la cantidad de cada fracción en el lote, es el porcentaje respecto al peso; la suma de las tres fracciones juntas debe totalizar 100%.

El concepto ‘semillas puras’ tiene especial importancia para especies de gramíneas que poseen unidades de dispersión denominadas espiguillas. En estas especies, normalmente (pero no siempre) las semillas puras se definen como espiguillas que poseen cariósidas. La ISTA ofrece definiciones precisas para la semilla pura de la mayoría de las especies (ISTA, 1985).

La fracción ‘otras semillas’ puede subdividirse en semillas de malezas y semillas de otros cultivos. Las semillas de malezas se subdividen a su vez en nocivas toleradas y nocivas prohibidas.

Las cantidades de semilla pura, material inerte y otras semillas, presentes en un lote, influirán en el valor comercial de la semilla, en el

tipo de beneficio que recibirá, y en el almacenamiento que se le dará. Influyen también en la densidad de siembra y en la productividad futura de la pastura que será establecida con esa semilla.

Contenido de humedad. El contenido de humedad se mide por la pérdida de peso de las semillas durante el secamiento. Este se hace en estufa con temperaturas de 103 °C, hasta que las semillas alcancen un peso constante; la pérdida de peso se expresa como porcentaje del peso inicial húmedo de las semillas. La información que se obtiene con esta prueba es importante y se utiliza al tomar decisiones sobre la madurez del lote, la necesidad de someterlo a secamiento, y las instalaciones necesarias para darle beneficio, empaque y almacenamiento.

Índices compuestos de calidad. Los índices compuestos muestran, en un solo valor, la combinación de dos o más componentes simples de la calidad de la semilla. El índice más común es el de 'valor cultural' (VC). Generalmente, este término se refiere a semillas puras germinables (SPG) o a semillas puras vivas (SPV). El cálculo de estos índices se hace de la siguiente manera:

$$VC (\%) = (P \times G) - 100 \quad (1)$$

donde: P = semilla pura del lote (% del peso);

G = germinación (% del número).

o también:

$$VC (\%) = (P \times T) - 100 \quad (2)$$

donde: P = semilla pura del lote (% del peso);

T = viabilidad en tetrazolio (% del número).

Ambos índices se expresan como porcentajes, pero matemáticamente son limitados porque contienen dos valores de unidades diferentes cada uno. Sin embargo, en la práctica son muy útiles para calcular las densidades de siembra que se aplicarán con determinado lote de semillas, y para comparar los costos de siembra de los lotes.

La unidad de semillas germinables (USG) o la unidad de semillas viables (USV) son índices alternativos, posiblemente más útiles, que se expresan en número por kilo. Para calcular estos índices compuestos es

necesario, además de las pruebas de pureza y de germinación (o de tetrazolio), determinar el peso unitario de las semillas puras. Teóricamente, los USG o USV ofrecen resultados más precisos. Sin embargo, al comparar éstos con otros índices, se han obtenido valores semejantes entre ellos (CIAT, 1984).

Normas Mínimas o Patrones de Calidad

Cuando se establecen requisitos mínimos para la comercialización de semillas, se nombran comúnmente uno o varios componentes de calidad—como contenido de semilla pura, germinación, o valor cultural—y luego se establecen valores o patrones (mínimos o máximos) de cada uno. Estas normas son sancionadas por una institución oficial después de consultar con representantes de los productores y de los comercializadores de semillas. En ellas se consideran las características de cada especie, y en particular la facilidad de beneficiar la semilla, su potencial de germinación, y la necesidad que tiene de ella el mercado. Las normas mínimas de calidad establecidas en Brasil y Colombia para la comercialización de la semilla de algunas especies forrajeras se resumen en el Cuadro 1.

Densidades de Siembra

Los agrónomos que prestan asistencia técnica en los cultivos de arroz, sorgo, maíz, etc. están acostumbrados a hablar de densidades de siembra muy precisas, por ejemplo, 75 kg/ha. Este hábito refleja dos características de las semillas clasificadas, a saber, su alta y casi constante pureza, y su poder germinativo que se supone relativamente alto.

Tratándose de forrajeras, la situación no es tan sencilla; desafortunadamente, muchos agrónomos, técnicos y ganaderos suponen que la situación es similar. En consecuencia, piensan en una densidad de siembra precisa y constante que, en la práctica, difícilmente se da.

Respecto a las leguminosas forrajeras, existe la posibilidad de someter las semillas a beneficio y lograr semillas clasificadas con pureza muy alta (por encima de 90%). Por otro lado, cada especie tiene un tamaño de semilla diferente y, por consiguiente, un rango distinto de densidad de siembra. Por ejemplo:

Cuadro 1. Resumen de las normas mínimas de calidad establecidas para algunas especies forrajeras tropicales en Brasil y Colombia.

Especie forrajera	Brasil ^a			Colombia ^b
	Semilla pura (%)	Germinación (%)	VC (%)	Semilla pura germinable (%)
Gramíneas				
<i>Andropogon gayanus</i>	—	—	10	8
<i>Brachiaria brizantha</i>	50	—	15	10
<i>B. decumbens</i>	50	—	15	35
<i>B. dictyoneura</i>	—	—	—	10
<i>B. humidicola</i>	40	—	15	22
<i>B. ruziensis</i>	50	—	15	—
<i>Cenchrus ciliaris</i>	—	—	10	10
<i>Hyparrhenia rufa</i>	30	—	10	5
<i>Melinis minutiflora</i>	—	—	10	5
<i>Panicum maximum</i>	40	—	10	10
Leguminosas				
<i>Calopogonium mucunoides</i>	60	95	—	—
<i>Centrosema pubescens</i>	60	95	—	45
<i>C. acutifolium</i>	—	—	—	45
<i>Neonotonia wightii</i>	95	60	—	—
<i>Stylosanthes capitata</i>	—	—	—	24
<i>Pueraria phaseoloides</i>	—	—	—	40

a. Portería no. 19, 25 de enero de 1984; Diario Oficial, 27 de enero de 1984, p. 1351. VC = valor cultural.

b. Resolución ICA No. 2602, 11 de julio de 1989.

Stylosanthes capitata cv. Capica:

- Semilla en vaina 4-6 kg/ha
- Semilla escarificada 2-3 kg/ha

Centrosema acutifolium cv. Vichada:

- Semilla escarificada 2-4 kg/ha

Pueraria phaseoloides cv. Kudzú común:

- Semilla escarificada 2-4 kg/ha

En las gramíneas forrajeras la situación es mucho más compleja, y obliga a la utilización de 'rangos' posibles según especie, grado de beneficio de la semilla, y calidad fisiológica de ésta. Un caso extremo son las posibles variaciones de la semilla de *A. gayanus*. Un lote 1, por ejemplo, puede contener semillas crudas con poder germinativo muy deficiente, que permite una densidad de siembra en el rango de 15-20 kg/ha; al mismo tiempo, un lote 2 de semillas seleccionadas, cuya germinación es normal, puede utilizarse a una densidad de siembra de 6-8 kg/ha. Tales variaciones hacen absolutamente imposible hablar de una densidad de siembra fija.

El Cuadro 2 resume los rangos de densidad de siembra de algunas gramíneas.

Cuadro 2. Rangos normales de densidad de siembra para algunas gramíneas forrajeras según la clase de semilla.

Gramínea		Clase de semilla	
Especie	Cultivar	Seleccionada (kg/ha)	Comercial (kg/ha)
<i>Andropogon gayanus</i>	Carimagua 1	6-10	10-25
<i>Brachiaria decumbens</i>	común	2-5	5-10
<i>B. dictyoneura</i>	Llanero	2-6	—

Para definir con precisión las densidades de siembra, hay que conocer los resultados de la prueba de emergencia o el cálculo de un índice compuesto como la SPG. La interpretación de estos resultados, acoplada a la experiencia previa sobre poblaciones mínimas necesarias para el establecimiento de pasturas, y sobre valores aceptables de semilla pura y de germinación de un lote de semillas, crean un marco de referencia en que se calcula la densidad de siembra de un lote particular de semillas en una especie dada.

Caso 1: *B. dictyoneura* cv. Llanero

Suponemos que hay tres lotes de semilla de *B. dictyoneura* de distinta procedencia, que han recibido el mismo acondicionamiento; los tres

fueron muestreados y sometidos a análisis de semilla en un laboratorio oficial. Los resultados de varios análisis se resumen en el Cuadro 3.

Los tres lotes tienen un contenido igual de semilla pura, lo que refleja su historia de acondicionamiento, pero muestran diferencias en su calidad fisiológica; por ejemplo, la germinación varía entre 20% y 60%. Como resultado, el índice compuesto de semilla pura que germina (SPG) es de 18%, 36% y 54% en los lotes 1, 2 y 3, respectivamente. Según los valores relativos de SPG, se puede concluir que el valor agronómico, es decir, la utilidad general de los lotes para la siembra, debe ser de 1(X), 2(X) y 3(X), respectivamente.

Cuadro 3. Resumen del análisis de calidad de tres posibles lotes de semilla de *B. dictyoneura* cv. Llanero.

Prueba y descriptores	Lote de semilla no.:		
	1	2	3
1. Análisis de pureza			
Semilla pura (% en peso)	90.1	90.1	90.1
2. Prueba de germinación			
Germinación (% del no.)	20	40	60
3. Prueba de emergencia			
Emergencia (% del no.)	10	30	50
4. Prueba de viabilidad (tetrazolio)			
Viabilidad TZ	40	70	80
5. Cálculos de índices compuestos ^a			
a) SPG (%)	18	36	54
b) SPE (%)	9	27	45
6. Valor relativo	1(X)	2(X)	3(X)

a. SPG = semilla pura que germina (en el laboratorio) = (pureza x germinación)/100. SPE = semilla pura que causa emergencia (aproximándose a las condiciones del campo) = (pureza x emergencia)/100.

Un analista de un laboratorio oficial en Colombia compara los valores de SPG con la norma mínima vigente, cuyo valor es de 10% (ver Cuadro 1). Concluye que los tres lotes de semilla cumplen con las normas y expide, por tanto, un informe oficial al vendedor confirmando

este resultado. El vendedor procede entonces a comercializar estos tres lotes.

Si el ganadero o un agrónomo o el vendedor quieren definir con precisión una densidad de siembra apropiada para *cada lote* de semilla, deben tener en cuenta consideraciones *adicionales* a los datos obtenidos en los análisis de semilla. Si el lote 2 refleja un grado de calidad compuesto—es decir, semilla SPG—que es normal, o es un promedio para la especie, y las experiencias previas a nivel de campo indican que una densidad de siembra de 2 a 3 kg/ha es apropiada, él puede concluir lo siguiente:

- a) Para el lote 2, una densidad de siembra de 2-3 kg/ha;
- b) Para el lote 1, una densidad de siembra de 4-6 kg/ha;
- c) Para el lote 3, una densidad de siembra de 1-1.5 kg/ha.

Es importante anotar que las densidades de siembra tienen, como marco de referencia, las experiencias previas obtenidas en el campo; luego se ajustan interpretando la información de la calidad relativa obtenida en los análisis de semilla de un lote particular.

Caso 2: *Centrosema acutifolium*

Suponemos de nuevo tres lotes de semilla diferentes, cuyos respectivos análisis se resumen en el Cuadro 4. Nótese los valores de SPG 40%, 60% y 80% para los lotes 1, 2 y 3, respectivamente. Obviamente, los tres lotes cumplen con las normas vigentes en Colombia (SPG mínima de 45%, ver Cuadro 1) y pueden ser comercializados.

Para definir densidades de siembra se requiere experiencia previa en la siembra de esa semilla en el campo; ella permite establecer un marco de referencia, por ejemplo, 3 a 4 kg/ha de semillas con un SPG normal de 50% a 70%. Si este fuera el caso, se puede concluir que:

- a) Para el lote 2, una densidad de siembra de 3-4 kg/ha;
- b) Para el lote 1, una densidad de siembra de 4-6 kg/ha;
- c) Para el lote 3, una densidad de siembra de 2-3 kg/ha.

Cuadro 4. Resumen del análisis de calidad de tres lotes de semilla de *C. acutifolium* cv. Vichada.

Prueba y descriptores	Lote de semilla no.:		
	1	2	3
1. Análisis de pureza			
Semilla pura (% en peso)	80	90	99.5
2. Pruebas de germinación			
Germinación (% del no.)	50	67	80
3. Prueba de emergencia			
Emergencia (% del no.)	40	60	70
4. Prueba de viabilidad (tetrazolio)			
Viabilidad TZ	55	75	85
5. Cálculo de índices compuestos ^a			
a) SPG (%)	40	60	80
b) SPE (%)	32	54	70
6. Valor relativo	1(X)	1.5(X)	2(X)

a. SPG = semilla pura que germina; SPE = semilla pura que causa emergencia (ver Cuadro 3, nota a.).

Causas de Variación de la Calidad de la Semilla

Las causas de variación de la calidad de la semilla ocurren antes, durante y después de la cosecha. La mayor parte de estos factores pueden ser controlados, al menos en parte, y es posible entonces mejorar la calidad de las semillas que se ofrecen actualmente en el mercado.

Selección del lugar de producción

La selección de la localidad o región donde se establecerán los campos de producción de las semillas es fundamental para garantizar la buena calidad de éstas. Los componentes del clima, como la precipitación total y su distribución durante el año, la temperatura, y la radiación solar, influyen en las etapas de desarrollo vegetativo y reproductivo del cultivo, así como en el tipo de recolección y en el manejo que debe darse a la semilla cosechada.

En el Cuadro 5 se observa un ejemplo del modo como el clima influye en la calidad de la semilla. Se compara allí la calidad de las semillas del pasto *A. gayanus* producidas en la región de Brasilia, Brasil, que se considera favorecida climáticamente para la producción de semilla, con la calidad de las semillas producidas en Cali, Colombia.

Las características climáticas que convierten a una región en productora adecuada de semilla de gramíneas y de leguminosas fueron discutidas, respectivamente, por Hopkinson y Reid (1979) y por Loch (1980).

En las gramíneas, las condiciones climáticas predominantes durante la etapa reproductiva afectan la cantidad de semillas maduras presentes en el momento de la cosecha, que es uno de los principales determinantes de la calidad.

En las leguminosas, la influencia que ejerce el clima en el peso de la semilla ha sido constatada en *Stylosanthes hamata* (Argel y Humphreys, 1983), en *S. humilis* (Skerman y Humphreys, 1973), y en *S. guianensis* (Ison y Humphreys, 1983).

Cuadro 5. Comparación entre algunos componentes de calidad de la semilla de *Andropogon gayanus* en muestras provenientes de Cali, Colombia, y de Brasilia, Brasil.

Componente de calidad	Unidad	Semilla originaria de: ^a	
		Cali, Colombia	Brasilia, Brasil
Espiguillas llenas	% del no.	37	45
Peso unitario			
Espiguillas llenas	mg/100	295	317
Cariópsides	mg/100	85	105
Germinación	% del no.	27	68

a. Todos los valores son promedios de seis muestras.

La ocurrencia de enfermedades, que está directamente asociada con la región y el clima, puede reducir también la calidad de las semillas de

gramíneas y leguminosas. En América Latina, la antracnosis es endémica en algunas regiones, y por ello limita la producción de semillas de leguminosas, sobre todo las del género *Stylosanthes* (Ferguson et al., 1983). En 1983, de Andrade et al. atribuyeron por ello a un ataque de antracnosis la reducción en la cantidad de semilla cosechada que observaron en introducciones de *S. capitata* susceptibles a esta enfermedad.

Manejo de precosecha

En las gramíneas, el manejo—principalmente por corte, pastoreo y fertilización nitrogenada—es la principal herramienta que el productor de semillas puede usar para sincronizar la emisión de las inflorescencias. Esas prácticas, además de aumentar el rendimiento, permiten cosechar lotes en que hay mayor número de semillas maduras, según lo demostraron Hopkinson y English (1982b) en *P. maximum* cv. Gatton. Sin embargo, el corte o el pastoreo tardíos con respecto al ciclo de cultivo pueden influir negativamente en la calidad de las semillas por dos razones: reducen el área fotosintéticamente activa que contribuye al llenado de las carióspsides (Humphreys y Riveros, 1986), o retardan la fase de maduración hasta una época del año en que el clima es ya inadecuado. Por otro lado, el efecto del nitrógeno en la calidad de las semillas de las gramíneas es bastante controvertido; trabajos detallados indican que su aplicación aislada no influye en ésta (Loch, 1983).

Hay poca evidencia sobre el efecto del manejo en la calidad de las semillas de las leguminosas. Macedo (1982) encontró, por ejemplo, que ni el uso de tutores ni los cortes ni la fertilización nitrogenada afectaron la calidad de la semilla de *Galactia striata*.

Cosecha

El método de cosecha ejerce gran influencia sobre la calidad de las semillas de gramíneas y leguminosas. En las gramíneas, por ejemplo, los métodos que permiten la completa maduración de la semilla conducen a lotes de semilla con un alto porcentaje de germinación. La cosecha con escoba (barrida), muy frecuente en Brasil con las especies *Brachiaria decumbens* y *B. brizantha* (Santos Filho, 1984), o la que

emplea piezas de tela, usada en el pasto 'colonião' (Maschieto, 1981), son dos de los métodos de recolección de semilla. La cantidad de semillas inmaduras presentes en un lote de semilla no tiene ninguna relación con la época de cosecha, a menos que ésta se realice muy tempranamente (Hopkinson, 1976a; 1976b).

En las leguminosas, las semillas recogidas del suelo tienen mayor peso que aquéllas cosechadas en las inflorescencias. Esta diferencia fue encontrada por Loch et al. (1976b) en *S. guianensis* cv. Cook, y por Hopkinson y Vicary (1974) en *Macroptilium atropurpureum*. Aún no se conoce muy bien el efecto que puede tener, en la viabilidad de las semillas, el tiempo que éstas pasan en el suelo.

Los métodos de cosecha en que se trillan las inflorescencias de manera selectiva para recolectar las semillas maduras, como sucede en la cosecha de golpe manual o mecánico (Maschieto, 1981) o en la que aplica el proceso de apilado o de sudado (Maschieto, 1981; Hopkinson, 1977), proporcionan generalmente semillas de excelente calidad.

En gramíneas cuya semilla es de mayor tamaño, como las de *B. decumbens*, las cosechadoras mecánicas hacen también una trilla selectiva de las semillas más pesadas o más maduras (Hopkinson y English, 1982a). Sin embargo, en la semilla de *P. maximum* se han observado pérdidas en la viabilidad causadas por daños mecánicos; éstos ocurren durante la trilla por acción de la cosechadora (Hopkinson, 1985b). Este daño podría aminorarse regulando la velocidad del cilindro.

Los daños mecánicos que puedan ocurrir durante la trilla, especialmente si la semilla presenta un alto contenido de humedad, reducen también la calidad de las semillas de las leguminosas. Semillas de *S. capitata* con un 40% de humedad inicial tuvieron una germinación reducida, a causa, probablemente, de los daños mecánicos que recibieron durante la cosecha (Carmona et al., 1986). Los autores señalan que esos daños se evitarían ajustando la distancia del cilindro cóncavo de la combinada. Aparentemente, la viabilidad de las semillas de *S. capitata* mejora cuando éstas se amontonan durante un tiempo, entre el corte y la trilla de las inflorescencias; en ese tiempo la maduración de una parte de las semillas llega a término. Otro efecto de la trilla mecanizada es la reducción del contenido de semilla pura en el lote.

Manipulación en poscosecha

En las gramíneas, el manejo correcto de las semillas después de su cosecha juega un papel muy importante, ya que en esta etapa pueden ocurrir los mayores daños a la viabilidad de las semillas. Las semillas de las gramíneas presentan, al cosecharlas, un alto contenido de humedad (cerca de 50%) y se encuentran aún en actividad fisiológica. Por ello, un aumento de temperatura o la acumulación de gases, dos accidentes a que están expuestas las semillas almacenadas en el tanque de la combinada o en los sacos que esperan el secamiento, por ejemplo, bastan para reducir drásticamente la calidad de esa semilla (Hopkinson, 1983; Rayman, 1978). Por consiguiente, es importante extender sobre una superficie, tan pronto como sea posible, la semilla recién cosechada para que no sufra un calentamiento indebido.

El secamiento es otra operación que debe realizarse cuidadosamente. Hopkinson (1983) demostró que el secamiento lento, iniciado tres días después de la cosecha—en especies como *P. maximum* y *Paspalum plicatulum*—es preferible que el secamiento rápido, es decir, el que alcanza 10% de humedad 24 horas después de la cosecha. No obstante, las semillas de pasto Rhodes (*Chloris gayana*) secadas inmediatamente después de la cosecha no perdieron su buena calidad (Loch, 1983).

La cantidad de semillas inmaduras presentes en un lote interfiere con el proceso de secamiento. Las semillas de pasto 'colonião' (*P. maximum*) cosechadas tempranamente deben someterse a un secamiento lento que permita completar los procesos de maduración. Por otra parte, en un lote cosechado en el momento oportuno y en uno en que no se detectan cantidades considerables de semillas inmaduras, no se deteriora normalmente la calidad de la semilla si se hace un secamiento natural rápido (Favoretto y Rodrigues, 1980).

En Brasil, el secamiento de las semillas al sol es el método más frecuente (Santos Filho, 1984). Sin embargo, Hopkinson (1983) y Maschieto (1981) advierten que este proceso es poco seguro, porque a veces el calor excesivo daña la calidad de las semillas. Por otro lado, en días nublados el calor no es suficiente para reducir la humedad de las semillas al nivel exigido para almacenarlas adecuadamente.

Los principios que rigen el almacenamiento de las semillas de otros cultivos se aplican a las semillas de las forrajeras. Por tanto, la humedad de la semilla debe ser menor de 12%, y el lugar donde ésta se almacena debe ser seco (50%-55% de humedad relativa) y frío (10-20 °C). Estas precauciones son importantes principalmente para las gramíneas, ya que las semillas de leguminosas exigen menos cuidados de este tipo.

Aspectos de la Calidad en la Semilla de las Leguminosas

Viabilidad

Si no ocurren problemas en la cosecha, en el secamiento o en el almacenamiento, la viabilidad de la mayoría de los lotes de semilla de las leguminosas es relativamente alta. Una explicación parcial de este hecho es que las semillas de menor tamaño, las vanas y las arrugadas son eliminadas durante el beneficio.

Dureza

Después de la cosecha, la mayor parte de las especies de leguminosas presentan grandes cantidades de semillas duras. Estas semillas tienen un tegumento impermeable que impide la absorción de agua y la germinación de las semillas (Quinlivan, 1971). Se encuentran con frecuencia porcentajes de semilla dura superiores a 80%.

La dureza de la semilla es un aspecto estudiado en detalle en *Stylosanthes* spp. Argel y Humphreys (1983) encontraron que en *S. hamata* la dureza de la semilla era baja en el momento de la cosecha, pero aumentaba rápidamente durante el almacenamiento. Se observó además que la época de cosecha ejercía influencia en la dureza de la semilla. Las semillas cosechadas al inicio del período de maduración presentaban, 60 días después de la cosecha, valores de 80%-88% de semillas duras, mientras que aquéllas recolectadas al final de ese período presentaron de 29% a 32% de semillas duras. En ese trabajo se informó también que el porcentaje de semillas duras fue positivo y se relacionó linealmente con la temperatura ambiente durante el período de floración y de formación de la semilla. Dentro de la vaina, las semillas

ubicadas en la articulación superior eran más duras; la vaina inhibió la germinación de la semilla hasta 120 días después de la cosecha. Se encontró finalmente que la dureza de la semilla persistió hasta seis meses después de la cosecha.

La dureza de la semilla puede reducirse de varias maneras: por escarificación—ya sea mecánica o con ácido—aplicando tratamientos de agua caliente, y por exposición al calor. Cuando se hace escarificación mecánica en grandes cantidades de semilla, ésta puede recibir daños mecánicos y perder, por lo tanto, parcialmente su viabilidad. Los tratamientos con ácido o agua caliente pueden resultar inconvenientes, pues requieren un nuevo secamiento de las semillas después de la escarificación. Sin embargo, el tratamiento con agua caliente (Gray, 1962) ha sido el método más utilizado para escarificar semillas de *Leucaena leucocephala*.

La dureza de las semillas de *Stylosanthes* spp. puede amortiguarse colocándolas en contacto con superficies secas que hayan sido calentadas durante cierto tiempo (Mott, 1979). Aplicando esta técnica, se diseñó y desarrolló un escarificador para grandes cantidades de semillas (Mott, 1979; Mott y McKeon, 1982). El tratamiento con calor ha sido exitoso en la escarificación de semillas de otras leguminosas como *Centrosema pubescens*, *Neonotonia wightii*, *L. leucocephala* y *M. atropurpureum* (Mott et al., 1982); hubo, sin embargo, variaciones que dependían de la especie y del lote de semillas. Los autores recomiendan hacer pruebas previas, en muestras tomadas del lote en cuestión, para elegir el tratamiento óptimo que se debe aplicar; asimismo, sugieren que no se trate una determinada cantidad de semillas, con el fin de garantizar una reserva de semilla en el suelo en caso de que haya dificultades con la germinación o el establecimiento de las semillas escarificadas.

Latencia del embrión

Además de la dureza del tegumento o de la acción inhibidora de la vaina en la germinación, algunas leguminosas presentan latencia del embrión, aunque no en forma tan acentuada como ocurre en las gramíneas. En *S. hamata*, Argel y Humphreys (1983) encontraron que la latencia del embrión tenía una frecuencia baja (1% a 8%) y que era

bastante temporal (menos de 30 días). En *S. macrocephala* y *S. capitata* también se encontró latencia del embrión, y se eliminó tratando las semillas con tiourea (Carmona et al., 1986).

Longevidad en el almacenamiento

Las semillas de las leguminosas forrajeras tropicales están naturalmente equipadas para tener una buena longevidad. La dureza del tegumento y el sistema de intercambio gaseoso—que se establece a través del hilo entre la semilla y el ambiente—garantizan la longevidad de la semilla, incluso en las condiciones menos adecuadas de almacenamiento. En condiciones adecuadas, esto es, con 15 °C de temperatura y 50% de humedad relativa, las semillas de alta viabilidad inicial y de baja humedad (menos de 12%) mantienen un 75% de su viabilidad inicial, aun después de diez años de almacenamiento (Bass, 1984). Por otro lado, para las semillas sometidas a trilla mecánica, las condiciones de almacenamiento son muy importantes ya que durante esa operación pierden ellas parte de su dureza.

Pureza física

El tamaño y la forma de la mayor parte de las semillas de las leguminosas permiten que los equipos convencionales usados para su beneficio, como las máquinas de aire y zarandas, los separadores por longitud, y las mesas de gravedad, realicen una buena remoción de las impurezas. Por ello, los niveles mínimos de pureza, establecidos como patrones para el comercio, son generalmente altos. Para las semillas muy pegajosas, como las de *Desmodium intortum*, ha sido necesario desarrollar o adecuar máquinas ya existentes; así se ha mejorado la semilla y se ha elevado la eficiencia de la operación de beneficio (Kryznowsky y Santos Filho, 1984).

Aspectos de la Calidad de la Semilla de las Gramíneas

Pureza física

Las semillas de las gramíneas que pertenecen a la familia Panicoideae (*Brachiaria* spp., *Panicum* spp., *Paspalum* spp.) poseen una estructura

morfológica que facilita la remoción de las impurezas. Por eso se obtienen, durante el beneficio, lotes de estas especies con alto contenido de semilla pura, principalmente cuando se usan mesas de gravedad. Las semillas de especies pertenecientes a las familias Andropogonaeae (*A. gayanus* e *H. rufa*) y Chloridaea (*C. gayana*) tienen pelos y aristas que limitan la eficiencia del proceso de beneficio.

A. gayanus presenta, según el método de cosecha aplicado, variaciones considerables en la pureza y en la presencia de material inerte (por ejemplo, pedazos de tallos).

Las semillas recolectadas con combinada presentan un contenido muy alto de material inerte; por esta razón, se han adoptado para ellas patrones bajos de comercialización y altas densidades de siembra. Además, los bajos niveles de pureza encontrados frecuentemente en ellas reducen aún más la posibilidad de usar con ellas las sembradoras tradicionales; solamente los distribuidores centrífugos o pendulares de cal se prestan para la siembra de estas semillas.

Cuando se corta la inflorescencia, se recolecta aplicando el proceso de corte, pila y golpe; en esta recolección se obtiene una pureza razonable y una buena apariencia general, según el cuidado con que se haga el proceso de trilla. Con este tipo de semilla se puede sembrar a *A. gayanus* en surcos, utilizando sembradoras de cereales con discos apropiados para la siembra de semillas de algodón.

Latencia

En sentido ecológico, la latencia de las semillas es una forma de interacción con el medio ambiente que han desarrollado algunas plantas para garantizar la sobrevivencia de la especie. La latencia no permite que todas las semillas germinen de una sola vez después de su maduración. La distribución de la germinación en el tiempo y en el espacio crea mejores oportunidades para que determinada población de plántulas se establezca en condiciones climáticas ideales.

La latencia que se observa en las gramíneas tropicales puede ser exógena, y se debe a la resistencia de las envolturas de la semilla a la absorción del agua, a los intercambios gaseosos, o al crecimiento del

embrión; puede también ser endógena, o sea, causada por factores fisiológicos y químicos presentes en la cariósida y en el embrión. La latencia es un inconveniente para el analista, para el productor, y para el comerciante de semillas de gramíneas forrajeras tropicales; todos ellos, en efecto, desean conocer el valor de germinación de la semilla después de la cosecha. A raíz de estas inquietudes, se han desarrollado varios trabajos de investigación con el objetivo de diseñar métodos adecuados para superar la latencia de las semillas; así se logrará que la prueba de germinación realizada después de la cosecha indique el potencial real de germinación de esa semilla. Un buen ejemplo de este trabajo fue el de Goedert (1984), quien probó diferentes métodos para superar la latencia de las semillas de *A. gayanus*, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *P. maximum* y *Paspalum guenoarum*. Estos métodos comprendían reactivos químicos, hormonas, y alternación de la luz y la temperatura.

Después de la cosecha hay una reducción gradual de la latencia de las semillas hasta que, pasado cierto tiempo (3 a 12 meses) prácticamente desaparece. Este período de latencia depende del tipo de cosecha, de las condiciones de almacenamiento, y del grado de latencia; además, varía según la especie. En *P. maximum*, por ejemplo, la trilla mecánica con combinada reduce el período de latencia, mientras que en las semillas no trilladas ese estado puede persistir durante más de doce meses (Hopkinson, 1985b).

En regiones donde hay lluvias estacionales y época seca de más de cuatro meses, la latencia no es un gran problema dada la calidad de la semilla que se utiliza en la formación de pasturas. Cuando llega la época de la siembra, o sea, cuando se inician las lluvias, la mayor parte de las semillas de un lote cosechado durante la estación lluviosa anterior (o al final de ella) tuvieron tiempo suficiente para superar su latencia. A veces, como en la comercialización de las semillas de *B. decumbens* inmediatamente después de la cosecha, se aplica un tratamiento con ácido sulfúrico para vencer la latencia.

Contenido de semillas maduras

El desarrollo de la población de inflorescencias y el proceso de formación de las semillas en la mayoría de las gramíneas tropicales no es

uniforme; por consiguiente, siempre habrá variación en el grado de madurez de las semillas recolectadas. Son comunes los valores de 30% a 40% de semillas inmaduras en un lote, valor que puede modificarse según el tipo de cosecha considerado.

Según lo indica Hopkinson (1983), la presencia de semillas inmaduras es una de las principales causas de la baja calidad de los lotes de semilla de gramíneas tropicales. Las semillas inmaduras, aunque se incluyan en la fracción pura en el análisis de pureza, tienen un potencial de germinación más bajo, menor longevidad y menor capacidad de emergencia en el campo. Según el mismo autor (1976a, 1976b), el período entre la antesis y la abscisión de determinada espiguilla parece ser constante; asimismo, cualquier factor de estrés que atrase el desarrollo de la carióspside impedirá que ella alcance su peso máximo, o maduración, antes de la abscisión. El estrés ocurre en lugares de clima desfavorable, ya sea por nubosidad, sequía o bajas temperaturas durante el desarrollo de la semilla; también puede ocurrir en siembras hechas en la época inadecuada.

Presencia de apéndices

Los apéndices que presentan algunas espiguillas de gramíneas forrajeras están constituidos principalmente por aristas, pelos y espiguillas infértiles. Normalmente, estos apéndices ayudan al establecimiento de una especie en su medio natural. Cuando esta misma especie ha sido domesticada, los apéndices se convierten en un problema pues entorpecen el flujo de semillas durante el beneficio, dificultan el análisis de pureza, impiden la caída de la semilla en las sembradoras convencionales, y aumentan el volumen ocupado por determinada cantidad de semilla. En consecuencia, habrá problemas de espacio en el almacenamiento y aumento en los costos del transporte. Estos contratiempos han sido considerados por las empresas de semillas de Brasil como la principal limitación de la adopción—que pudo ser mayor—del pasto *A. gyanus* cv. Planaltina en ese país (de Andrade et al., 1985).

La alternativa para beneficiar esta semilla es la remoción parcial o el corte de los apéndices utilizando desaristadoras o martillos rotatorios. En el Cuadro 6 se muestra cómo el uso de desaristadoras mecánicas mejoró notablemente las características físicas de un lote de semilla de

Cuadro 6. Características de la semilla cruda y de la semilla clasificada de *Andropogon gayanus*.

Característica	Semilla cruda ^a		Semilla clasificada ^b	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio
Espiguillas con arista (%, del no.)	70-90	80	5-30	20
Peso/volumen (kg/m ³)	35-45	40	50-70	55
Contenido de cariopsis (%, del no.)	10-40	25	30-60	35
Contenido de espiguillas ^c (%, del peso)	60-80	70	80-95	90
Semilla pura ^d (%, del peso)	5-35	20	25-60	35
Germinación (% del no., a 5 meses)		(30)		(30)
Semilla pura germinada (% del no., a 5 meses)		6.0		10.5

a. Estado de la semilla después de una trilla manual seguida de la remoción del material vegetal de mayor tamaño.

b. Estado de la semilla después de pasarla por la desaristadora mecánica y por la máquina de aire y zarandas.

c. Término equivalente a pureza 'Irish'.

d. Espiguillas con cariósipide.

A. gayanus cv. Planaltina (Ferguson, 1981). Otros investigadores (Loch et al., 1985) obtuvieron la misma mejoría usando una trilladora cónica para semillas de *C. gayana*, *A. gayanus*, *Bothriochloa insculpta* y *B. pertusa*. Por ejemplo, en *A. gayanus* se encontró una reducción de 77% en el peso del lote, un aumento de 300% en el contenido de semilla pura, y no se observó pérdida alguna en la calidad de la semilla después de dos años de almacenamiento. En otro experimento, el uso de martillos rotatorios para retirar las aristas de las semillas de *Cenchrus ciliaris* redujo rápidamente su potencial de germinación durante el almacenamiento (Grof, 1957).

Longevidad durante el almacenamiento

Un factor decisivo en el almacenamiento es la calidad inicial de las semillas. Conde (1984) mostró que así lo era para las semillas de *B. decumbens*, *H. rufa* y *P. maximum* en las condiciones ambientales de

Goiânia. Es interesante señalar aquí que el daño mecánico causado por la cosechadora a *P. maximum* durante la trilla puede reducir su sobrevivencia en el almacenamiento (Hopkinson, 1985b). Además de las condiciones ambientales, el tipo de empaque contribuye también a la pérdida de viabilidad de las semillas durante el almacenamiento. En las condiciones de Colombia, el lote de semilla de *A. gayanus* mejor almacenado se hallaba en ambiente cerrado a una temperatura de 10 °C y con una humedad relativa de 55%, contenido en empaques de polipropileno (CIAT, 1982).

Prioridades en la Investigación

La mayor parte de los trabajos de investigación desarrollados con semillas de forrajeras han estudiado los factores que afectan la productividad de éstas. Además, muy pocos trabajos se han hecho sobre los aspectos que determinan la calidad de las semillas. Los temas que se mencionan enseguida merecen mayor atención de los investigadores, no sólo porque han sido poco estudiados sino porque se relacionan directamente con las actividades de establecimiento de una pastura; ofrecen, por ello, información valiosa para comprender mejor este proceso.

Prueba de vigor

Muy pocos trabajos de investigación tienen como objetivo diseñar pruebas de vigor para semillas de forrajeras. Ahora bien, la posibilidad de predecir en el campo el desempeño de los lotes de semilla daría mayor seguridad al comprador y ofrecería soluciones a muchas dificultades que surgen en el establecimiento de las pasturas.

La prueba de germinación de las especies forrajeras se realiza en las condiciones ideales de laboratorio, y por ello suministra poca información sobre la capacidad real de germinación de las semillas y sobre el establecimiento de una población adecuada de plantas en una pastura. Las circunstancias que rodean la siembra de esas especies son muy variadas y, en general, son adversas. El usuario de la semilla necesita una idea aproximada del vigor del lote adquirido para ajustar, por lo menos, una densidad de siembra que garantice el éxito de su inversión.

El concepto de vigor de las semillas incluye, según Perry (1976), varias características de la semilla o del lote, y por esto no hay de él una definición específica. Las diversas definiciones existentes concuerdan en que las semillas de buen vigor germinarán rápida y uniformemente; esta cualidad garantiza el establecimiento de una buena población de plantas en una amplia variedad de condiciones edáficas y climáticas (Butler, 1978).

Aunque hay pruebas de vigor de varios tipos, ciertas características propias de las semillas de las forrajeras, como la latencia o la dureza de su tegumento, limitan seriamente el uso de esas pruebas. Como se sabe, las semillas latentes tienen un comportamiento bien distinto en el laboratorio y en el campo (Hopkinson, 1985a). En una prueba de vigor que evaluaba envejecimiento precoz en semillas de *P. maximum* se obtuvieron resultados inesperados, y la explicación más plausible fue la presencia de semillas latentes en esas muestras (Usberti, 1982).

Análisis de pureza y semillas con apéndices

La presencia de pelos y aristas en las semillas impide el uso de los sopladores en los laboratorios; con esos aparatos se hacen los análisis de pureza y se separan las espiguillas con carióspside de las espiguillas vacías. La determinación de la fracción pura, según las definiciones de la ISTA, se realiza aquí manualmente, y se confirma la presencia de la carióspside en cada espiguilla. Este proceso requiere tiempo, es difícil de realizar, y no siempre tiene la precisión exigida.

Para evitar estas dificultades, se han adoptado definiciones de pureza como la 'Irish' (o modificada), en las cuales no es necesario confirmar la presencia de carióspsides en una espiguilla para que ésta haga parte de la fracción pura. La definición 'Irish' se limita principalmente al cálculo del valor cultural. En semillas de *C. gayana*, el valor cultural calculado aplicando esta definición es menor, para el mismo lote, que el valor calculado empleando la pureza que define la ISTA. La reducción del valor cultural calculado empleando la pureza 'Irish' varía con el contenido de carióspsides y con la germinación de las semillas del lote (Loch, 1983).

Otro método es el que obtiene la fracción pura 'ajustada', según lo propuesto por Sánchez y Ferguson (1988), para determinar con esa fracción la pureza aplicando la definición de la ISTA; el método se aplica en lotes de semilla de *A. gayanus*. También este método exige mucho tiempo, y no se ha confirmado aún la uniformidad de los resultados obtenidos con él en diferentes laboratorios.

La discusión anterior indica claramente que existe la necesidad de desarrollar métodos rápidos y confiables para el análisis de pureza de las semillas pilosas o aristadas; el punto crítico es la determinación de la presencia de cariósides. Lo ideal sería implementar métodos que emplearan los valores de la diferencia de peso entre las espiguillas con cariósida y aquéllas sin cariósida. Hacerlo sería posible si se desarrollaran sopladores especiales, o se adaptaran los tradicionales, que permitieran la acción del aire sobre las espiguillas de distinto peso. Una alternativa es identificar la presencia de las cariósides empleando rayos X (Goedert, 1984).

El manejo de las semillas con apéndices, que se dificulta especialmente durante la siembra, es otro punto que deben atender los investigadores. Una solución es el desaristado, y otra la peletización de las semillas; con ésta se suministran además nutrimentos a la plántula, y se mejoran tanto la absorción de agua en las semillas como su manejo.

Diversos trabajos informan sobre la técnica de los 'pellets' (peletes) para aumentar la absorción de agua en las semillas. Al revisar varios de estos trabajos, Cook (1980) concluyó que la peletización sería de gran ayuda para el establecimiento de especies de semillas grandes que se siembren superficialmente, pero que, en general, no aportaría beneficios importantes. Sin embargo, la facilidad de manejo que se logra con la peletización sería muy útil para las semillas livianas y pilosas como las de *A. gayanus*.

La imposibilidad de hacer siembras aéreas es una de las principales limitantes del aumento del área sembrada con *A. gayanus* en Brasil (de Andrade et al., 1985). La peletización de la semilla de ese pasto, que facilitaría no solamente la siembra aérea sino también el uso de sembradoras convencionales, podría tener un impacto inmediato en el nivel de adopción de *A. gayanus* en Brasil y en los países que tengan

extensas áreas de sabana. Además, la peletización daría mayor seguridad en el establecimiento de pasturas en regiones de suelos arenosos.

Por lo regular, las especies de gramíneas de semillas aristadas o pilosas—principalmente aquéllas que pertenecen a la familia *Andropogonaeae*—tienen la espiguilla más frágil; por tanto, la extracción de la cariósida podría ser otra forma de facilitar el manejo de esa semilla durante el beneficio y la siembra. Se deberían estudiar métodos de extracción sencillos y baratos que no causen, al menos a corto plazo, daño mecánico en las cariósidas. Si se encontrara este método, lo lógico sería establecer las prácticas agronómicas necesarias para la siembra de cariósidas descubiertas.

Madurez de las semillas de gramíneas

Los trabajos de Hopkinson y colaboradores (1982a, 1982b, 1985), realizados con *P. maximum* y *B. decumbens*, señalaron la importancia de las semillas maduras en la calidad de un lote de semilla. Las semillas maduras influyen en la germinación, en el peso por número de semillas, y en el vigor de un lote de semilla de gramíneas. Este fenómeno ya es conocido por los ganaderos, quienes prefieren usar semillas de *B. decumbens* cosechadas del suelo ('do chao') porque tienen un gran contenido de semillas maduras. Han aprendido que las semillas recolectadas del suelo, aunque tengan un grado de pureza relativamente bajo, forman pasturas más uniformes y producen plántulas de mayor crecimiento inicial; no ocurre así en las pasturas establecidas con semillas recolectadas en la cosecha manual o mecánica de las inflorescencias. Una prueba denominada 'contenido de semillas maduras' podría convertirse en otra evaluación de la calidad que predeciría el vigor de lotes de semillas en especies de *Andropogon*, *Paspalum* y *Brachiaria*. Desafortunadamente, esta prueba no ha recibido suficiente atención.

Conclusiones

Los diversos factores que afectan la calidad de la semilla de especies forrajeras usadas en la formación de pasturas de regiones tropicales son suficientemente conocidos. Ya existe tecnología y experiencia suficientes que hacen posible encontrar en el mercado semillas de alta

calidad de especies de *Brachiaria*, de *P. maximum*, y de la mayor parte de las leguminosas. Para las especies liberadas más recientemente, como *A. gayanus*, y para los futuros cultivares es necesario definir técnicas de producción que suministren semillas de buena calidad. Para lograrlo conviene contar con la experiencia obtenida en otras especies.

En Brasil, donde se ha acumulado una experiencia significativa en la producción de semilla de gramíneas, se ha observado una mejoría gradual en la calidad de la semilla disponible en el mercado. En general, los consumidores desconocen hoy varios aspectos relacionados con la calidad de la semilla; ignoran también la interrelación de la calidad con el costo de la semilla y con la importancia de asegurar el éxito en el establecimiento de una pastura. En consecuencia, los consumidores no ejercen en el mercado ninguna presión para mejorar la calidad de la semilla, y dejan en manos del sector público la gran responsabilidad de fiscalizar la producción y comercialización de semillas.

El número limitado de laboratorios de análisis de semilla de forrajeras—y de personal capacitado para manejarlos—y la inconsistencia de las pruebas aplicadas a algunas especies agravan los problemas mencionados. Por otro lado, la falta de seguridad en el mercado actual no estimula a los productores o a las firmas comercializadoras a invertir en la estructura que sostenga la producción y comercialización de semillas de alta calidad.

Referencias

- Andrade, R. P. de; Ferguson, J. E. y Seré, C. 1985. Liberação e adoção inicial do capim andropogon cv. Planaltina no Brasil; informe preliminar. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), EMBRAPA, Brasil.
- _____; Thomas, D. y Ferguson, J. E. 1983. Seed production of pasture species in a tropical savanna region of Brazil; 1: Legumes. Trop. Grassl. 17:54-59.
- Argel, P. J. y Humphreys, L. R. 1983. Environmental effects on seed development and hard seedness in *Stylosanthes hamata* cv. Verano; 1: Temperature. Aust. J. Agric. Res. 34(3):261-270.
- Bass, L. N. 1984. Storage of seeds of tropical legumes. Seed Sci. Tech. 12:395-402.
- Butler, J. E. 1978. Seed vigor... what is its role? Queensl. Agric. J. 104(5):491-493.

- Carmona, R.; Ferguson, J. E. y Maia, M. de S. 1986. Germinação de sementes em (*Stylosanthes macrocephala* M. B. Ferr. et Sousa Costa e *S. capitata* vog. in Linnaea). Rev. Bras. de Sementes 8(3):19-27.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1982. Producción de semillas. En: CIAT. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales 1981. Cali, Colombia. p. 177-185.
- _____. 1983. Producción de semillas. En: CIAT. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales 1982. Cali, Colombia. p. 321-327.
- _____. 1984. Producción de semillas. En: CIAT. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales 1983. Cali, Colombia. p. 157-160.
- Conde, A. R. 1984. Armazenamento e embalagem de sementes de forrageiras. Informe Agropecuário (Brasil) 10(11):44-49.
- Cook, S. J. 1980. Establishing pastures species in existing swards: A review. Trop. Grassl. 14(3):181-188.
- Costa, E. F. y Toledo, F. F. 1983. Correlação entre peso volumétrico e otras características de sementes de capim colônião. Pesqui. Agropecu. Bras. 18(2): 111-120.
- Favoretto, V. y Rodrigues, L. R. de A. 1980. Efeito de diferentes épocas de colheita e procesos de secagem sobre a viabilidade de sementes de capim colônião (*Panicum maximum*). Rev. Soc. Bras. Zoot. 9(2):271-280.
- Ferguson, J. E. 1981. Perspectivas da produção de sementes de *Andropogon gayanus*. Rev. Bras. de Sementes 3:175-193.
- _____; Thomas, D.; Andrade, R. P. de; Costa, N. S. y Jutzi, S. 1983. Seed production potentials of eight tropical pasture species in regions of Latin America. En: Proceedings of the Fourteenth International Grassland Congress. Lexington, Kentucky, E.U. p. 275-278.
- Goedert, C. O. 1984. Seed dormancy of tropical forage grasses and implications for the conservation of genetic resources. Tesis (Ph.D.). University of Reading, Reading, Inglaterra. 190 p.
- Gray, S. G. 1962. Hot water seed treatment for *Leucaena glauca* L. Benth. Austr. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 2:178-180.
- Grof, G. 1957. Notes on *Biloela buffel* grass. Queensl. Agric. J. 83:11-118.
- Hopkinson, J. M. 1976a. Causes of low quality in grass seed. Queensland Seed Producers Notes New Series 18:12-14.

- _____. 1976b. Maturity as a factor influencing quality in tropical grass seeds. Australian Seed Science Newsletter (2):80-81.
- _____. 1977. Sweating of grass seed. Queensland Seed Producers Notes New Series 20:12-16.
- _____. 1983. Perdas na produção de sementes de gramíneas. En: Medeiros, R. B.; Nabinger, C. y de Saibro, J. C. (eds.). Produção e tecnologia de sementes de forrageiras tropicais e subtropicais. Ijuí, Cotrijui, Brasil. p. 136.
- _____. 1985a. Seed production of tropical species. En: Blair, G. J.; Ivory, D. A. y Evans, T. R. (eds.). Forage in Southeast Asia and South Pacific agriculture. Memorias. Cisarua, Indonesia. p. 188-192.
- _____. 1985b. Threshing damage to grass seed. Queensland Seed Producers Notes 28:16-17.
- _____ y English, B. H. 1982a. Harvest efficiency in seed crops of Gatton Panic (*Panicum maximum*) and signal grass (*Brachiaria decumbens*). Trop. Grassl. 16:21-24.
- _____ y _____. 1982b. Spikelet population dynamics in seed crops of *Panicum maximum* cv. Gatton. Seed Sci. Technol. 10:379-382.
- _____ y _____. 1985. Immaturity as a cause of low quality in seed of *Panicum maximum*. J. Appl. Seed Prod. 3:24-27.
- _____ y Reid, R. 1979. Significance of climate in tropical pasture/legume seed production. 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. 343-360.
- _____ y Vicary, C. P. 1974. Improvement in seed yield of Siratro (*Macroptilium atropurpureum*); 2: Recovery of fallen seed by suction harvester. Trop. Grassl. 8:103-106.
- Humphreys, L. R. y Riveros, F. 1986. Tropical pasture production. 3a. ed. FAO plant production and protection papers no. 8.
- Ison, R. L. y Humphreys, L. R. 1983. Altitudinal effects on *Stylosanthes guianensis* at low latitude site; 2: Seed production. J. Agric. Sci. 101:231-240.
- ISTA (International Seed Testing Association). 1985. International rules for seed testing 1985. Seed Sci. Technol. 13(2):299-355.
- Kryzanowsky, F. y Santos Filho, L. 1984. Tilhagem e beneficiamento de sementes de desmodio. Rev. Bras. de Sementes 6(1):51-60.

- Loch, D. S. 1980. Selection of environment and cropping system for tropical grasses seed production. *Trop. Grassl.* 14:158-159.
- _____. 1983. Constraints on seed production of *Chlorus gayana* cv. Brisbane. Tesis (Ph. D.). University of Queensland, Queensland, Australia. 327 p.
- _____; Harding, W. A. T. y Harvey, G. L. 1985. Improving handling of chaffy grass seeds through cone threshing. En: Fifteenth International Grassland Congress, Kyoto, Japón. p. 277-279.
- _____; Hopkinson, J. M. y English, B. H. 1976a. Seed production of *Stylosanthes guianensis*; 1: Growth and development. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 16(79):231-233.
- _____; _____ y _____. 1976b. Seed production of *Stylosanthes guianensis*; 3: Effect of pre-harvest dessication. *Aust. Exp. Agric. Anim. Husb.* 16:218-225.
- Macedo, G. A. R. 1982. Adubação nitrogenada nas práticas culturais na produção de sementes de capim buffel (*Cenchrus ciliaris* cv. Biloela) e de galácia (*Galactia striata*). Tesis (M. Sc.). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil. 78 p.
- Maschieto, J. C. 1981. Problemas na produção de sementes de capim colômbio. *Rev. Bras. de Sementes* 3(1):117-121.
- Ministerio de Agricultura, Brasil. 1980. Regras para análise de sementes. Brasília, Brasil. 188 p.
- Mott, G. O. 1979. High temperature contact treatment of hard seed in *Stylosanthes*. *Aust. J. Agric. Res.* 30:847-854.
- _____; y McKeon, G. M. 1982. Improved establishment of *Stylosanthes hamata* cv. Verano using heat treated seed. *Trop. Grassl.* 16:43-46.
- _____; Cook, J. J. y Williams, R. J. 1982. Influence of short duration, high temperature seed treatment on the germination of some tropical and temperate legumes. *Trop. Grassl.* 16:50-55.
- Okada, T. 1978. Studies on green-panic seed; 1: The use of seed volume weight in estimating quality of green-panic seed. *J. Japan. Soc. Grassl. Sci.* 24(2):133-136.
- Perry, D. A. 1976. Seed vigor and seedling establishment. En: Thomson, J. R. (ed.). *Advances in research and technology of seeds; part 2.* Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen. p. 62-85.

- Quinlivan, B. J. 1971. Seed coat impermeability in legumes. J. Aust. Inst. Agric. Sci. (4):282-295.
- Rayman, P. R. 1978. Experiences in tropical pasture seed production in Brazil. 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. 377-384.
- Sánchez, M. y Ferguson, J. E. 1988. Medición de calidad en semilla de *Andropogon gayanus*. Rev. Bras. de Sementes 8(1):9-28.
- Santos Filho, L. F. 1984. Secagem e beneficiamento de sementes de forrageiras tropicais. Informe Agropecuário 10(111):40-43.
- Skerman, R. H. y Humphreys, L. R. 1973. Effect of temperature during flowering on seed formation of *Stylosanthes humilis*. Aust. J. Agric. Res. 24:317.
- Usberti, R. 1982. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de capim-colonião. Rev. Bras. de Sementes 4(1):23-30.

Enfermedades de las Pasturas en su Establecimiento y Posibles Estrategias de Control

Jillian M. Lenné y José Hugo Ordóñez

Introducción

El período en que las semillas de las gramíneas están germinando y creciendo es de vital importancia en la composición futura de la pastura y en su productividad. Las malezas son, generalmente, más notorias que las plagas y las enfermedades, y por ello reciben más importancia durante el establecimiento de los pastos.

En el reconocimiento de enfermedades de las especies forrajeras se han identificado, en la semilla, hongos, bacterias, virus y nematodos; estos agentes patógenos podrían afectar la germinación. Además, el suelo es un medio que contiene un amplio rango de patógenos potenciales, especialmente hongos y nematodos. Michail y Carr (1966) encontraron que menos del 40% de las semillas viables de gramíneas sembradas en Inglaterra han contribuido al establecimiento de la pastura porque murieron, principalmente por causa de los hongos, tanto antes como después de la emergencia de las plántulas.

El objetivo de este capítulo es discutir la importancia de las enfermedades en el establecimiento de las pasturas, definir los métodos de detección y evaluación de esas enfermedades, y proponer posibles estrategias para controlarlas.

Enfermedades en la Germinación, en la Emergencia, y en el Establecimiento de la Pastura

Un complejo de hongos, bacterias, nematodos y virus son responsables de la muerte de las plántulas en las etapas de preemergencia y post-

Jillian M. Lenné fue fitopatóloga del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia; dirección actual: 26 Watersedge, Minthorpe, Cumbria LA7 7HN, Inglaterra, U. K. José Hugo Ordóñez es fitopatólogo del IVITA, Pucallpa, Perú.

emergencia. La muerte de las semillas durante la preemergencia es el final de un proceso de deterioro que comienza cuando la semilla se rompe, interrumpiendo el proceso de germinación; la muerte, en esta etapa, es causada por los hongos y las bacterias que suelen atacar la semilla (Williams, 1984). La muerte en postemergencia afecta generalmente las plántulas de una a cuatro hojas, disminuyendo la población. Como las plantas afectadas desaparecen rápidamente, su desaparición no siempre es atribuible a las enfermedades.

Por conveniencia, las enfermedades que afectan el establecimiento se dividen en las siguientes categorías:

- Saprófitos de la semilla.
- Patógenos de la semilla.
- Patógenos del suelo.
- Enfermedades de plantas inmaduras (fase pre-reproductiva).
- Endofitos (un caso especial).

Hongos saprófitos de la semilla

Los hongos saprófitos de las semillas pertenecen frecuentemente a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* y otros específicos del área donde la semilla se produce. Las especies de *Aspergillus* y *Penicillium* son componentes comunes de la microflora de la semilla en los trópicos. Un muestreo de especies de *Aspergillus* asociadas con la semilla de *S. capitata* en la estación experimental de Carimagua, en Colombia, mostró que casi el 100% de la semilla cosechada en la época seca estaba afectada por cinco especies de *Aspergillus* (Vargas de Alvarez y Lenné, 1985). Seis especies de *Aspergillus* y siete especies de *Penicillium* se encontraron con frecuencia en las leguminosas de las pasturas tropicales de Australia (Nik y Parbery, 1977). También se han aislado especies de *Aspergillus* y *Penicillium* en semillas de leguminosas de la zona templada (Leach, 1960), en las de *S. capitata* (Orozco, 1983), y en la gramínea *Brachiaria dictyoneura* (Torres, 1987). Si la semilla no está almacenada en un medio seco y fresco, las especies de *Aspergillus*

y *Penicillium*, particularmente, pueden reducir la viabilidad de esta semilla; las consecuencias se notarían en el establecimiento de la pastura.

Rhizopus stolonifer ocupó el cuarto lugar, en frecuencia, entre los hongos aislados de 22 especies de leguminosas de pasturas tropicales y de la zona templada—entre ellas, *Centrosema*, *Desmodium*, *Leucaena*, *Macroptilium* y *Stylosanthes*—en Australia (Nik y Parbery, 1977). *Rhizopus stolonifer* se encontró asociado (20%-40%) con 11 de 13 muestras de la semilla de *S. hamata* cosechada en Fort Pierce, Florida, y redujo notablemente la emergencia de las plántulas y su supervivencia en las pruebas de germinación (Lenné y Sonoda, 1978).

Patógenos de la semilla

De las leguminosas. Numerosos patógenos de la semilla pueden causar la muerte a las plántulas de leguminosas promisorias antes y después de la emergencia de éstas, o pueden reducir su vigor (Cuadro 1). Estos hongos pertenecen comúnmente a los géneros *Colletotrichum* y *Fusarium*.

Se ha discutido ya la importancia de *Colletotrichum gloeosporioides*, un hongo presente en la semilla, en el movimiento global de la antracnosis en especies de *Stylosanthes* (Lenné, 1986). Adicionalmente, Lenné y Sonoda (1979) encontraron que *C. gloeosporioides* y *C. truncatum* reducen significativamente el porcentaje de emergencia, la supervivencia, y el peso seco de tallos y raíces de las plántulas de *S. hamata*; esto sugiere que el establecimiento de las pasturas que contengan *Stylosanthes* spp. puede alterarse por la presencia de *Colletotrichum* en la semilla. Estos hongos están en la semilla de casi todos los géneros de leguminosas forrajeras tropicales (Cuadro 1). Por otra parte, Nik y Parbery (1980) encontraron que especies de *Fusarium*, *Phoma sorghina* y *Diaporthe phaseolorum* causaron la muerte de plántulas en preemergencia y postemergencia, y redujeron el vigor y la productividad de las plantas de *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro y de especies de *Stylosanthes* que habían infectado.

Entre las bacterias asociadas con semillas de leguminosas forrajeras tropicales, las especies de *Pseudomonas* han sido las más comunes

Cuadro 1. Patógenos que atacan las semillas de las leguminosas tropicales que se siembran para establecer una pastura.

Hospedante (género)	Patógeno ^a	Enfermedad	Efecto en el establecimiento
<i>Aeschynomene</i>	<i>Colletotrichum</i> spp.	Antracnosis	Muerte en preemergencia y en plántula; reducción del vigor; antracnosis.
<i>Centrosema</i>	<i>Colletotrichum</i> spp.	Antracnosis	Muerte en preemergencia y en plántula; reducción del vigor; antracnosis.
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotipo II	Marchitez y muerte descendente	Muerte en preemergencia y en plántula; reducción del vigor y producción.
	<i>Rhizoctonia</i> spp.	Añublo foliar	Añublo de plántulas y muerte.
<i>Leucaena</i>	<i>Colletotrichum</i> spp.	Antracnosis	Muerte en preemergencia.
	<i>Fusarium</i> spp.	Marchitez, pudrición de la raíz	Muerte en preemergencia y en plántula.
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotipo II	Añublo de la vaina	Muerte en preemergencia.
<i>Macroptilium</i>	<i>Diaporthe phaseolorum</i>	Mancha foliar y muerte descendente	Muerte en preemergencia y en plántula; reducción del vigor.
	<i>Fusarium</i> spp.	Marchitez, pudrición de la raíz Añublo de la vaina	Muerte en preemergencia y en plántula; reducción del vigor.
	<i>Phoma sorghina</i>	Mancha foliar	Muerte en preemergencia y en plántula.
	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>phaseolicola</i>	Añublo de halo	?
<i>Pueraria</i>	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Antracnosis	Antracnosis de plántulas y muerte.
	<i>Mycosphaerella puerariicola</i>	Mancha angular de la hoja	?
	<i>Pseudomonas syringae</i> pv. <i>phaseolicola</i>	Añublo de halo	?
<i>Stylosanthes</i>	<i>Alternaria</i> sp.	Mancha foliar	?
	<i>Ascochyta</i> sp.	Mancha foliar	?
	<i>Botrytis cinerea</i>	Añublo de la inflorescencia	Muerte en preemergencia.

(Continúa)

Cuadro 1. Continuación.

Hospedante (género)	Patógeno ^a	Enfermedad	Efecto en el establecimiento
	<i>Cladosporium cladosporioides Colletotrichum</i> spp.	Afiublo de la inflorescencia Antracnosis	Muerte en preemergencia y en plántula. Muerte en preemergencia y en plántula; reducción del vigor; antracnosis.
	<i>Fusarium</i> spp.	Marchitez, pudrición de la raíz	Muerte en preemergencia y en plántula.
	<i>Myrothecium</i> spp.	Manchas foliares	?
	<i>Pestalotiopsis</i> sp.	Mancha foliar	?
	<i>Phoma sorghina</i>	Mancha de la hoja y del tallo	Muerte en preemergencia.
Zornia	<i>Colletotrichum</i> spp.	Mancha foliar	Antracnosis en plántulas.
	<i>Corynebacterium flaccumfaciens</i>	Marchitez	Muerte en preemergencia.
	<i>Sphaceloma zorniae</i>	Costra	Muerte en preemergencia.

^a. Hongos y bacterias solamente.

? = No se ha identificado aún el efecto en el establecimiento de la pastura.

(Cuadro 1). *Pseudomonas fluorescens* biotipo II causa muerte descendente y marchitez en las plantas jóvenes de *Centrosema acutifolium*; en ellas se han encontrado niveles de infección de la semilla hasta de 34% (Lenné et al., 1990). Por otra parte, la producción de materia seca y de proteína cruda de las plantas afectadas se redujo en 47.3% y en 50%, respectivamente, en el año de establecimiento (Guevara-Gómez et al., 1983). La misma bacteria afecta también a *Leucaena leucocephala*, mientras que *Macroptilium* y *Pueraria* son afectadas por *P. syringae* pv. *phaseolicola* (Cuadro 1).

Se han realizado pocos trabajos sobre los virus asociados con las semillas de las leguminosas forrajeras tropicales en el establecimiento de una pastura. Trece virus diferentes han sido descritos en especies de *Centrosema*, pero se han realizado muy pocos trabajos para saber si aquéllos se encuentran en la semilla (Lenné et al., 1990). El virus del mosaico de *Centrosema* (CenMV) causa clorosis y deformación de las plantas, especialmente de *C. macrocarpum* y *C. pubescens* (Lenné et al., 1990). De encontrarse este virus en la semilla, su tasa de transmisión

sería baja, y se calcula en 0.5% a 2.0% en la semilla proveniente de plantas severamente afectadas¹. Sin embargo, debido a que pocas plántulas infectadas pueden servir como fuente de inóculo para las plántulas sanas, el establecimiento de la pastura podría verse seriamente afectado. El virus del mosaico causa, en Siratro, moteado y distorsión de las hojas, y reduce de 34% a 62% la producción de materia seca en las accesiones de *Macroptilium atropurpureum* (Lenné y Sonoda, 1985).

De las gramíneas. Aunque la mayoría de los patógenos hallados en las semillas de las gramíneas tropicales no se han encontrado en América tropical, vale la pena hacer una breve discusión de su importancia. Casi todos los patógenos de las semillas de gramíneas tropicales (Cuadro 2) son carbones, falsas royas, comezuelos, y enfermedades de la inflorescencia (Lenné y Calderón, 1989). La mayor parte de ellos reducen la viabilidad de la semilla y causan su muerte en la etapa de preemergencia. El hongo *Fusarium heterosporum* y algunas especies de *Rhizoctonia* pueden causar la muerte de las plántulas de gramíneas en la postemergencia. Por otra parte, *Erwinia chrysanthemi* se ha registrado como causante de la pudrición de la semilla y aun de la muerte de plántulas de *Brachiaria ruziziensis* en Brasil y Guyana (Bereau y Samson, 1981).

Patógenos del suelo

Los hongos patógenos son endémicos en casi todos los suelos y pueden causar pérdidas significativas a un cultivo. De una u otra manera, las plántulas de gramíneas o de leguminosas podrían infectarse con hongos patogénicos del suelo (Richard et al., 1983). El efecto dañino de esta infección dependerá de la patogenicidad del hongo, del vigor y la tolerancia de la planta, del estrés ambiental a que esté sometida la planta, y del efecto que hacen en ella otros factores bióticos. Especies de *Pythium*, *Fusarium* y *Rhizoctonia* pueden afectar las plántulas emergentes y, por ende, el establecimiento de la pastura (Latch y Skipp, 1983). En estas infecciones, las raíces afectadas causan pudrición en las plántulas durante los primeros días de crecimiento, pero luego éstas muestran tolerancia.

1. Niessen, A. Comunicación personal.

Cuadro 2. Patógenos que atacan las semillas de las gramíneas tropicales que se siembran para establecer una pastura.

Hospedante	Patógeno	Enfermedad
<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Balansia</i> spp.	Falso carbón
	<i>Cerebella andropogonis</i>	Falso carbón
	<i>Sphacelia</i> sp.	Carbón
	<i>Sphacelotheca ishaemicola</i>	Carbón
	<i>Sphacelotheca andropogonis</i>	Carbón
	<i>Sorosporium wildemanianum</i>	Carbón
	<i>Ustilago amadelpha</i>	Carbón
	<i>Ustilago andropogonis-tectorum</i>	Carbón
<i>Brachiaria</i> spp.*	<i>Balansia</i> spp.	Falso carbón
	<i>Cerebella</i> spp.	Falso carbón
	<i>Claviceps sulcata</i>	Mancha foliar
	<i>Curvularia</i> sp.	Mancha foliar
	<i>Erwinia chrysanthemi</i>	Pudrición de la inflorescencia
	<i>Fusarium heterosporum</i>	Añublo de la inflorescencia
	<i>Pestalotiopsis</i> sp.	Mancha foliar
	<i>Phoma sorghina</i>	Mancha foliar
	<i>Rhizoctonia</i> spp.	Añublo foliar
	<i>Sphacelia</i> sp.	Carbón
	<i>Sorosporium brachiariae</i>	Carbón
	<i>Urocystis</i> sp.	Carbón
	<i>Ustilaginoidea virens</i>	Falso carbón
<i>Panicum maximum</i>	<i>Balansia</i> spp.	Falso carbón
	<i>Cerebella andropogonis</i>	Falso carbón
	<i>Cerebella panici</i>	Falso carbón
	<i>Cladosporium spongrosus</i>	Falso carbón
	<i>Claviceps maximensis</i>	Cornizuelo
	<i>Fusarium heterosporum</i>	Añublo de la inflorescencia
	<i>Sphacelia</i> sp.	Carbón
	<i>Sorosporium afrum</i>	Carbón
	<i>Sorosporium panici</i>	Carbón
	<i>Tilletia ayresii</i>	Carbón
	<i>Ustilago heterospora</i>	Carbón

(Continúa)

Cuadro 2. Continuación.

Hospedante	Patógeno	Enfermedad
<i>Paspalum</i> spp.*	<i>Balansia pallida</i>	Falso carbón
	<i>Cerebella paspali</i>	Falso carbón
	<i>Cerebella andropogonis</i>	Falso carbón
	<i>Claviceps lutea</i>	Comezuelo
	<i>Claviceps paspali</i>	Comezuelo
	<i>Sphacelotheca paspali-notati</i>	Carbón
	<i>Sorosporium paspali-thumbergii</i>	Carbón
	<i>Tilletia ulei</i>	Carbón
	<i>Tilletia rugispora</i>	Carbón
	<i>Ustilago microspora</i>	Carbón
	<i>Ustilago schroeteriana</i>	Carbón
	<i>Ustilago subnitens</i>	Carbón
	<i>Ustilago trichophora</i>	Carbón
	<i>Ustilago venezuelana</i>	Carbón
	<i>Ustilago verrucosa</i>	Carbón

* Sólo si es especie tropical.

La severidad del daño que conduce a la muerte de las plántulas depende de factores ambientales como la temperatura, la humedad y la lluvia. Por su parte, cuando la semilla se siembra en condiciones ambientales favorables para su rápida germinación y para el crecimiento de las plántulas, las pérdidas del establecimiento de la pastura se minimizan.

El patógeno aislado con más frecuencia en las semillas muertas y en las plántulas de raigrás perenne ha sido *Fusarium culmorum*, hongo que reduce notablemente la emergencia (Lewis, 1985). La mortalidad de las plántulas de raigrás perenne es mayor cuando sus semillas se entierran en suelos secos cuya temperatura sea alta.

Se han observado también varios hongos a las leguminosas forrajeras tropicales. Dos especies de *Pythium* causan pudrición de la raíz y muerte de las plantas jóvenes de algunas especies de *Stylosanthes* (Lenné y Calderón, 1984). El añublo de *Sclerotium rolfsii* ha causado

marchitez y muerte en un 5% de las plantas de *S. capitata* durante el año de su establecimiento en Carimagua (Lenné y Calderón, 1984). La asociación ocasional de *S. rolfii* con la inflorescencia sugiere que este patógeno se encuentra en la semilla. Por otra parte, *Rhizoctonia* spp. puede afectar severamente las plántulas jóvenes de *Centrosema brasilianum* en los Llanos Orientales de Colombia (Vargas de Alvarez y Lenné, 1986). La falsa roya, finalmente, causada por *Synchytrium desmodii* ha afectado poblaciones (más de 500 plántulas/m²) de plántulas de *D. ovalifolium* en varias pasturas de Carimagua, entre 1985 y 1987 (Lenné y Torres, 1987).

Los nematodos están siempre presentes en el suelo y las plántulas jóvenes son más vulnerables a ellos porque su sistema radicular está menos desarrollado (van Bezooijen, 1986). En las plántulas afectadas por nematodos, la absorción de nutrimentos y agua es insuficiente y el crecimiento se retarda o se detiene. El daño causado por los nematodos se detecta cuando hay condiciones de estrés, como en sequía o en inundación.

Las lesiones causadas en la raíz por los nematodos (*Pratylenchus* spp.) y por los quistes de nematodos (*Heterodera* spp.) causan pérdidas en la producción de forraje; los nematodos del nudo de la raíz (*Meloidogyne* spp.), en cambio, causan más bien mortalidad en las plantas (van Bezooijen, 1985). Gran número de géneros de leguminosas tropicales son susceptibles al nematodo del nudo de la raíz (Lenné, 1981a), y la interacción nematodo-hongo ocasiona con frecuencia daños considerables. Los nematodos que son ectoparásitos de la raíz (*Tylenchorynchus*, *Helicotylenchus* y *Heterodera*) pueden ocasionar pérdidas en el establecimiento de praderas de raigrás (Spaull, 1985). Sin embargo, en algunas asociaciones de forrajeras, sembradas en pasturas permanentes, se ha encontrado que la infección de la raíz es común pero no se manifiesta en pérdidas significativas de producción.

Enfermedades de plantas inmaduras

Como se indicó en la introducción, cualquier enfermedad que afecte la planta antes de la fase reproductiva puede afectar su establecimiento en la pastura. Aunque muchas enfermedades no afectan las plántulas

de las leguminosas tropicales en las fases de preemergencia y de post-emergencia, sí pueden afectar las plantas ya establecidas. Existe abundante literatura sobre este tema. Las enfermedades más importantes de este tipo se resumen en el Cuadro 3.

Se han registrado considerables pérdidas de materia seca ocasionadas por varias enfermedades en la fase de establecimiento de las pasturas tropicales (Guevara-Gómez et al., 1983; Vargas de Alvarez y Lenné, 1986; Lenné y Torres, 1987; Lenné y Sonoda, 1982; Cardozo y Gutiérrez, 1981). En ocasiones se observa un fracaso completo en el establecimiento de las leguminosas. Sin embargo, no se sabe hasta qué punto este resultado es un efecto de las enfermedades. Es importante, por tanto, realizar trabajos de investigación que evalúen el efecto de las enfermedades en el establecimiento de las pasturas.

Cuadro 3. Principales enfermedades de las leguminosas tropicales que pueden afectar el establecimiento de la pastura.

Hospedante	Patógeno	Enfermedad	Fuente
<i>Centrosema acutifolium</i>	<i>Cylindrocladium colhounii</i>	Mancha foliar por <i>Cylindrocladium</i>	Vargas de Alvarez y Lenné, 1988 Lenné et al., 1986
	<i>Pseudomonas fluorescens</i> biotipo II	Bacteriosis	Guevara-Gómez et al., 1983 Lenné et al., 1986
	<i>Rhizoctonia</i> spp.	Añublo foliar por <i>Rhizoctonia</i>	Lenné et al., 1986
<i>Centrosema brasilianum</i>	<i>Rhizoctonia</i> spp.	Añublo foliar por <i>Rhizoctonia</i>	Lenné et al., 1986
<i>Desmodium ovalifolium</i>	<i>Pterotylenchus cecidogenus</i>	Nematodo de la agalla del tallo	Lenné, 1983 Stanton, 1986
	<i>Meloidogyne</i> spp.	Nematodo del nudo de la raíz	Lenné, 1981a; 1981b
	<i>Synchytrium desmodii</i>	Falsa roya	Lenné, 1985
<i>Stylosanthes</i> spp.	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i>	Antracnosis	Lenné y Calderón, 1984 Lenné, 1985

Endofitos, un caso especial

Muchas gramíneas pueden estar afectadas por hongos sistémicos endofíticos, que producen alcaloides fisiológicamente activos en los tejidos de su hospedante (Clay, 1988). Esta infección hace que las gramíneas se vuelvan tóxicas para los animales en pastoreo, pero a su vez puede incrementar la resistencia de éstas a los insectos. Varios experimentos han demostrado que la infección causada por estos hongos puede incrementar el crecimiento y la producción de semilla de la planta. Varias accesiones de raigrás perenne crecieron más rápido—y la diferencia fue significativa—cuando estaban infectadas por endofitos (Clay, 1988). Por otro lado, los endofitos ayudan generalmente al establecimiento de las gramíneas perennes; desafortunadamente, pocos trabajos se han hecho hasta la fecha con especies tropicales de gramíneas.

Métodos para la Detección y Evaluación de Enfermedades

En la semilla

Los patógenos microbianos asociados con la semilla tienen una considerable ventaja sobre los microorganismos del suelo para causar la muerte de la plántula antes y después de su emergencia. Los propágulos patogénicos se hallan en estado quiescente dentro de las semillas o sobre ellas, y se tornan activos cuando éstas entran en contacto con agua y empiezan a germinar. Se puede obtener información valiosa sobre los patógenos microbianos que dificultan el establecimiento de las pasturas haciendo estudios sobre la microflora de la semilla. Esta información es esencial para saber si vale la pena, o no, aplicar tratamientos a la semilla antes de sembrar.

En realidad, pocos estudios se han llevado a cabo sobre la microflora de la semilla en especies forrajeras tropicales. Aparte algunos ensayos con leguminosas en Australia (Nik y Parbery, 1977) y en Brasil (Chagas y Oliveira, 1983), y algunas pruebas con semilla de *S. capitata* (Orozco, 1983) y de *B. dictyoneura* (Torres, 1987) en Colombia, no se han hecho aún estudios completos.

Empleando una metodología rápida, se han llevado a cabo algunos estudios para detectar patógenos específicos antes de tratar las semillas (Salas y Lenné, 1985; Torres y Lenné, 1983; 1988). Algunas técnicas disponibles para detectar microorganismos en la semilla se presentan en el Cuadro 4. Pruebas como la inspección visual de la semilla seca o en contacto con agua sirven para detectar fácilmente esclerocios, cornezuelos, carbones, y las deformaciones o daños de las semillas; unos y otras indican usualmente la presencia de patógenos microbianos. La mayoría de los hongos y de las bacterias se pueden detectar haciendo pruebas sencillas con diferentes medios nutritivos de cultivo y con papel filtro, seguidas por inspecciones visuales.

Cuadro 4. Técnicas disponibles para la detección de microorganismos en la semilla.

Tipo de inspección	Técnica
Visual directa	De semilla seca De semilla embebida Pruebas de lavado
Posterior a la incubación	Pruebas en papel secante Pruebas en arena Medios de cultivo (primarios o selectivos) Pruebas de crecimiento Pruebas específicas (virus)

Las pruebas de germinación pueden servir para detectar semillas no viables, o que hayan muerto por la acción de hongos y bacterias patógenas. Esta técnica reviste particular importancia para las gramíneas tropicales porque sus semillas, una vez atacadas por las esporas y las fructificaciones de carbones, falsos carbones y cornezuelos, no germinan. Las semillas que no son viables pueden separarse de las viables, en las gramíneas, por flotación.

Hay métodos bien conocidos para detectar patógenos en las semillas de los principales cultivos; algunos de ellos podrían adaptarse a las especies forrajeras tropicales.

En el campo

Los siguientes métodos se usan para detectar y evaluar enfermedades que afectan el establecimiento de pasturas en el campo: a) conteo de

plántulas; b) distribución de la incidencia y la severidad de enfermedades desde la emergencia y durante la fase pre-reproductiva; c) conteo de plantas sobrevivientes y restablecimiento de la población de plantas adultas.

Los métodos descritos fueron utilizados para evaluar el efecto de *Synchytrium desmodii* y de *Rhizoctonia* spp. en el establecimiento de nuevas generaciones de *D. ovalifolium* y de *C. brasilianum*, respectivamente (Lenné y Torres, 1987; Vargas de Alvarez y Lenné, 1986). En ninguno de los dos casos se observó, al principio, el efecto de las enfermedades en las plántulas; sin embargo, a las tres o cuatro semanas después de la emergencia se presentó un severo desarrollo de la enfermedad. En áreas libres de *Synchytrium* spp., de 16 a 21 plántulas de *D. ovalifolium* sobrevivieron hasta la edad adulta entre 1985 y 1987; en áreas afectadas por *Synchytrium* spp., en cambio, no hubo sobrevivientes entre las plántulas. De manera semejante, todas las plántulas de *C. brasilianum* que eran evaluadas murieron a causa del añublo foliar causado por *Rhizoctonia*.

Las interacciones entre los microorganismos y otros factores ambientales pueden dificultar la determinación de la importancia de enfermedades específicas en el establecimiento de las pasturas. Dado que las plántulas enfermas desaparecen rápidamente de la pastura, la causa de su muerte no es muy obvia; por ello, la contribución de los patógenos a la mortalidad de esas plántulas no se puede determinar con exactitud. Cuando la emergencia de las plántulas decae en una pastura, es necesario extraer semillas del suelo y analizar las plántulas muertas para determinar la causa exacta de su muerte. Es importante que los conteos empiecen tan pronto como las plántulas emerjan, y que continúen a intervalos frecuentes hasta determinar la causa de las muertes que ocurran.

Manejo de las Enfermedades

En la fase de establecimiento, las pasturas se pueden tratar como a cualquier cultivo porque todas las plantas que contienen son de la misma edad y el animal no ha entrado aún al sistema. Los métodos

disponibles para el control de las enfermedades de esas plantas son variados y consisten en lo siguiente:

- a. Tratamiento de la semilla y del suelo.
- b. Preparación y fertilización del suelo.
- c. Determinación de la tasa de semilla y elección de métodos de siembra.
- d. Pretratamiento (precultivo y saneamiento).
- e. Asociación estratégica.
- f. Desarrollo de resistencia.

Tratamiento de la semilla

Cuando se sabe que las semillas están infectadas por patógenos específicos, o que serán sembradas en suelos en que, según la historia del terreno, hay microorganismos patogénicos, la semilla y el suelo deben tratarse con agroquímicos apropiados, o con otros métodos, para reducir los riesgos del establecimiento de la pastura.

Contra hongos. El tratamiento dado a las semillas en el establecimiento de gramíneas en Holanda ha resultado en incrementos considerables de producción de biomasa. Este resultado indica la existencia de un rango de patógenos fungosos en el suelo (van Bezooijen, 1986). Falloon (1980) demostró que los patógenos causan pérdidas significativas de plántulas de gramíneas, y que estos patógenos pueden ser controlados fácilmente cubriendo la semilla con fungicidas. Holmes (1983) encontró que, aplicada a un amplio rango de gramíneas, una mezcla de los fungicidas benomil y captafol proporcionó excelente protección contra *F. culmorum*. Experimentos hechos en potes en el invernadero indicaron que ciertos patógenos del suelo habían reducido la emergencia de las plántulas de raigrás en un 33% en suelo seco (Lewis, 1985) pero sólo en un 5% en suelo húmedo (Lewis y Lam, 1984).

El tratamiento de las semillas con fungicidas ha sido un método efectivo para estudiar la causa de la pérdida de las plántulas en la pastura, y para hacer un control económico de las infecciones fungosas. El

tratamiento con varios fungicidas de las semillas de *P. maximum* afectadas por carbón (*Tilletia ayresii*) dio como resultado semilla limpia en la siguiente cosecha (Torres y Lenné, 1988). El tratamiento con fungicida de la semilla pequeña de la gramínea timoteo (*Phleum pratense*) resultó en un aumento (15%-20%) de plantas establecidas; no sucedió lo mismo, en cambio, en el establecimiento de semillas grandes de rai-grás (Michail y Carr, 1966).

También ha dado efectos positivos el tratamiento de la semilla de las leguminosas. Los tratamientos con fungicidas incrementaron en 13% la emergencia de las plántulas de 23 cultivares de leguminosas forrajeras en Inglaterra (Lewis, 1984). La escarificación con ácido (H_2SO_4 concentrado durante 3 minutos) de semillas con vaina y sin vaina de *S. guianensis* y de *S. scabra* redujeron, o eliminaron, los hongos de las semillas, y entre ellos a *C. gloeosporioides* (Ellis et al., 1976). En Australia se realizaron trabajos en que las semillas de *S. hamata* cv. Verano y de *S. guianensis* cv. Schofield se calentaron y enfriaron luego rápidamente; se logró reducir así la infección causada por *C. gloeosporioides* sin disminuir la viabilidad de la semilla.² En Florida se trabajó con H_2SO_4 concentrado y con varios fungicidas; ambos eliminaron a *R. stolonifer* de las semillas de *S. hamata*, e incrementaron significativamente la emergencia y sobrevivencia de las plántulas (Lenné y Sonoda, 1978). En general, la infección fungosa de las semillas de leguminosas se puede reducir o eliminar exitosamente con fungicidas; la emergencia de esas plántulas queda por ello garantizada.

El control de los patógenos de la semilla se puede hacer también en el cultivo en estado de floración o de precosecha. Aspersiones semanales de benomil durante la floración y la fase de producción de semilla de *S. hamata* eliminaron a *C. gloeosporioides* en la semilla; en cambio, cuando la semilla de *S. hamata* se trató con mancozeb, resultó infectada con el hongo en un 10% (Lenné y Sonoda, 1982). De manera similar, aspersiones semanales con varios agroquímicos como clorotalonil (Bravo), hidróxido de cobre (Kocide), y captan (Orthocide) redujeron la infección de *Pseudomonas fluorescens* biotipo II en las semillas cosechadas de *C. acutifolium* (Arias y Lenné, 1988).

2. Cameron, N.N. Comunicación personal.

Contra bacterias. El efecto de las bacterias en la germinación de las semillas ha sido estudiado en algunas especies forrajeras. En *Zornia glabra*, el tratamiento de la semilla con carboxin (Vitavax) y con hidróxido de cobre (Kocide) redujo la infección causada por *Corynebacterium flaccumfaciens*, pero no eliminó la bacteria (Torres y Lenné, 1983). Los tratamientos químicos de la semilla contaminada con patógenos bacterianos son efectivos, en general, para reducir el inóculo primario, pero no lo eliminan (Ralph, 1977). Los diversos factores que interactúan durante el desarrollo de la plántula hacen difícil la determinación de las plántulas infectadas que pueden provenir de la semilla infectada. La producción de semilla limpia y su certificación es lo recomendado para el control de los patógenos bacterianos (Ralph, 1977).

Cuando se administra a la semilla un tratamiento químico contra los patógenos, hay que considerar el efecto de estos productos químicos en el complejo *Rhizobium/Bradyrhizobium*. En algunos estudios se ha encontrado que, cuando se lavan las semillas de *C. acutifolium* antes de 'peletizarlas' con el inoculante, la sobrevivencia de *Bradyrhizobium* no resulta seriamente afectada (Torres et al., 1988). Se necesitan, sin duda, más estudios sobre el efecto de los agroquímicos en la sobrevivencia de *Rhizobium*.

Contra nematodos. Los nematodos parasíticos de las plantas se encuentran a menudo implicados en el establecimiento deficiente de las gramíneas (Spaull et al., 1985). El tratamiento de las semillas con nematicidas inactiva los nematodos y le permite a las plántulas jóvenes establecer un buen sistema radicular. En estudios realizados en el CIAT, benomil (Benlate) fue más efectivo que carbofuran (Furadán) en el tratamiento de semilla de *D. ovalifolium* contra el nematodo de los nudos aéreos (*Pterotylenchus cecidogenus*) (Cuadro 5).

Por tratamiento del suelo. Los suelos tratados con niveles altos de benomil incrementaron la persistencia del trébol rojo y su producción de forraje (Latch y Skipp, 1983). En el campo, los tratamientos del suelo con fungicidas de reducido espectro han incrementado frecuentemente la emergencia de la alfalfa en comparación con el suelo esterilizado (Hancock, 1983). En Tailandia, en suelos infestados con *Rhizoctonia solani* y tratados con carboxin (Vitavax), PCNB (Brassicol), y benomil (Benlate), se redujo la infección causada por ese hongo en las

plántulas de *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro (Pachinburavan, 1984). Las semillas y el suelo tratados con metalaxil (Ridomil) y benomil (Benlate) incrementaron la emergencia de las plántulas de trébol rojo (Skipp et al., 1986); este efecto estaba asociado con la menor colonización de las raíces por los hongos patógenos (*Pythium* y *Fusarium* spp.) (Cuadro 6).

Cuadro 5. Efecto del tratamiento dado a la semilla en la multiplicación de *P. cecidogenus*, en plántulas inoculadas provenientes de semilla tratada.^a

Semanas después de la inoculación	Nematodos (no.) aplicando:	
	Furadán	Benlate
	8 a	1 a
2	12 a	2 a
4	35 b	2 a
8	35 b	5 a

a. Valores seguidos por la misma letra, en la misma columna, no son significativamente diferentes a $P < 0.05$. La semilla se trató con 500 ppm de carbofuran (Furadán) o 500 ppm de benomil (Benlate) durante 60 minutos.

FUENTE: CIAT, 1987.

Cuadro 6. Frecuencia de colonias patógenas en segmentos de la raíz de plántulas de *Trifolium pratense*, las cuales procedían de semillas sembradas después de tratamientos aplicados a la semilla o al suelo.^a

Tratamiento ^b	Colonias (%) después de:		
	3 SDS	6 SDS	12 SDS
Tratamiento a la semilla	10.3	34.8	76.9
Tratamiento al suelo	11.2	20.3	77.7
Testigo	23.4	42.5	63.9

a. SDS = semanas después de la siembra.

b. Metalaxil (Ridomil) y benomil (Benlate) en las dosis recomendadas.

FUENTE: Skipp et al., 1986.

En los Llanos Orientales de Colombia, Olaya y Lenné (1988) encontraron que, si se trataba el suelo con benomil, se reducía el daño causado por *Rhizoctonia* sp. en el establecimiento de plántulas de *C. brasilianum*; el efecto era mayor en suelos arcillosos y menor en los suelos arenosos. De otro lado, se ha encontrado que benomil puede reducir el contenido de micorriza en los suelos arcillosos y, por consiguiente, influir negativamente en la producción de biomasa de la pastura. Este resultado sugiere que tanto el tipo de suelo y la microflora que lo habita deben ser tenidos en cuenta antes de aplicar tratamientos químicos a un suelo.

Los nematodos del suelo también se pueden controlar con nematicidas. Los tratamientos de nematicidas y de combinaciones de nematicidas y fungicidas incrementaron el establecimiento y la producción de alfalfa en los suelos arenosos de Minnesota (Schaeffer et al., 1982). En un suelo tratado con nematicida se incrementó también, de 69% a 91%, la producción de materia seca de la gramínea raigrás durante su establecimiento (Spaull et al., 1985).

Preparación del suelo y fertilización

Si se sabe que un suelo está infectado con hongos patogénicos, su preparación con una arada profunda contribuye a enterrar los propágulos del hongo; esta operación evita infecciones fungosas en el establecimiento de una pastura. En los Llanos Orientales de Colombia se observó que, por mover los primeros 10 cm de suelo con el arado, se redujo la acción del añublo foliar causado por *Rhizoctonia* (AFR) en el establecimiento de las plántulas de *C. brasilianum*. No se logró este resultado cuando se hicieron solamente pases de escardillo o de rastrillo (Olaya y Lenné, 1988).

La aplicación de fertilizantes para reducir el número de patógenos del suelo ha dado resultados variables. Se ha observado que, al incrementar el nivel de potasio en la fertilización, se reduce la enfermedad causada por varios patógenos; al incrementar, en cambio, el nivel de nitrógeno, se eleva la severidad de la enfermedad. En otro experimento con varias leguminosas, se observó que altos niveles de calcio (500 kg/ha) y bajos niveles de fósforo y potasio (0 a 25 kg/ha) redujeron el AFR en *C. pubescens* CIAT 438; de otro lado, altos niveles de

calcio estimularon la mancha foliar causada por *Cercospora* (CIAT, 1982). Este resultado se pudo confirmar más tarde en un ensayo en que se aplicó cuatro veces la dosis recomendada de fertilizantes en el establecimiento de *C. brasilianum* en Carimagua; esta aplicación estimuló el AFR, mientras que 10 t/ha de cal dolomítica lo redujeron (Olaya y Lenné, 1988). Estos resultados sugieren que cada combinación hospedante-enfermedad tiene requerimientos nutricionales específicos, y que éstos deben determinarse antes de aplicar el fertilizante que controlará enfermedades durante el establecimiento.

Tasa y métodos de siembra

Se han registrado interacciones entre la población del hospedante y la del patógeno (Burdon, 1987). Cuando la densidad del hospedante se incrementa, la frecuencia de las enfermedades causadas por patógenos del suelo también aumenta. En consecuencia, la cantidad de semilla escogida para la siembra de una pastura debe producir una población suficientemente alta, para que compita con las malezas, aunque no tan alta que favorezca la rápida dispersión de las enfermedades.

Las enfermedades se dispersan más rápidamente, por lo regular, cuando las leguminosas y las gramíneas se siembran en líneas que cuando se siembran a voleo; la razón es que en el primer sistema hay mayor potencial para un contacto continuo entre los mismos hospedantes. Las mezclas interespecíficas, e intraespecíficas, de gramíneas y leguminosas, reducirían considerablemente los riesgos de las enfermedades que están asociadas con una tasa alta de plántulas en la pastura y con especies forrajeras sembradas en hileras.

Precultivo y saneamiento como pretratamientos

El precultivo se practica comúnmente para controlar problemas patogénicos específicos como los nematodos. Algunas gramíneas, como *Chloris gayana*, *Digitaria decumbens*, *Eragrostis curvula* y *Panicum maximum*, son antagonicas a los nematodos y controlan exitosamente los del nudo de la raíz (*Meloidogyne* sp.) en cultivos de caña de azúcar y de tabaco (Lenné, 1981b). Este método se puede usar en sitios afectados por esa plaga.

El saneamiento por quema es muy efectivo contra todos los patógenos de las plantas, ya que la quema destruye todo el inóculo que se encuentre en la superficie del suelo (Hardison, 1976). Además, la quema es rápida y económica. Quemadas anuales y bianuales redujeron dramáticamente (en 60%-70%) la incidencia de antracnosis de *S. capitata* en los Llanos Orientales de Colombia (Lenné, 1982). Cuando se establezca una pastura en un sitio donde se sabe que existen microorganismos patogénicos, se podría usar la quema como medida de control en la fase de establecimiento.

Asociación estratégica

En toda pastura en que estén asociadas una gramínea y una leguminosa, una u otra puede influir en el desarrollo de una enfermedad que ataque a cualquiera de las dos. El efecto de ese influjo puede ser positivo o negativo. Cuando se asociaron accesiones de *S. guianensis*, una leguminosa moderadamente susceptible a la antracnosis, con *A. gayanus*, el desarrollo de esa enfermedad fue más rápido y causó mayor daño que cuando *S. guianensis* se sembró solo (CIAT, 1983; 1984). En la asociación de *D. ovalifolium* CIAT 350, que es susceptible al nematodo del nudo de la raíz, con algunas gramíneas como *B. humidicola*, *B. ruziziensis*, *Eragrostis curvula* y *Hemarthria altissima*, disminuyeron notablemente las agallas ocasionadas por *M. javanica* en la leguminosa con respecto a las que se presentaron en la asociación de esa leguminosa con *B. brizantha* y *B. decumbens* (Lenné, 1981b).

Cuando se seleccionen los componentes de una asociación leguminosa-gramínea, se debe tener en cuenta no sólo la compatibilidad agronómica de ambos componentes sino también ciertos beneficios adicionales, como el mutuo control de enfermedades.

Resistencia

La elección de especies de gramíneas y de leguminosas resistentes a las enfermedades para establecer una pastura, elimina muchos riesgos inherentes al proceso de establecimiento, y puede garantizar la persistencia y la productividad de la pastura a largo plazo. Obviamente, la evaluación de plantas resistentes, y su consiguiente selección, debe ser una actividad integral de los programas de desarrollo de pastos. Por

consiguiente, la evaluación de la emergencia, de la sobrevivencia, y de la reacción a las enfermedades en las especies que conforman una pastura, son esenciales para lograr el establecimiento de ésta; permiten, en efecto, identificar tempranamente los problemas que causarían esas enfermedades.

Si una enfermedad causara problemas en especies que se consideraban antes resistentes, se puede defoliar la especie enferma para reducir o eliminar el inóculo. El control químico es económicamente posible si la enfermedad aparece en focos y si es detectada en época temprana; en casos como éstos se puede pensar en la resiembra del área afectada en esa pastura.

Conclusiones

Muchos factores afectan el establecimiento de una pastura, por ejemplo malezas, plagas, y otros agentes bióticos y abióticos. Pues bien, ciertas prácticas de manejo contribuyen, directa o indirectamente, a reducir las pérdidas que causaría una enfermedad en el establecimiento de una pastura (Cuadro 7).

Antes de la siembra se deben aplicar prácticas como la elección del sitio, la selección de la gramínea y de la leguminosa, el uso de mezclas interespecíficas e intraespecíficas, la elección del régimen de fertilización, y el pretratamiento (precultivo y saneamiento); así se reducen al máximo las pérdidas que ocasionarían las enfermedades.

Al momento de la siembra se deben elegir bien el método de preparación y tratamiento del suelo, el control de malezas, la tasa de siembra, la profundidad a la que se siembre la semilla, la calidad de la semilla y los tratamientos que se apliquen a ella; todas éstas son prácticas que pueden reducir el efecto adverso de las enfermedades. Después de la siembra, finalmente, es esencial evaluar la emergencia de las plántulas, la sobrevivencia de éstas, y los niveles de la enfermedad que se detecte en ellas; esta información indicaría si prácticas como la defoliación, el control químico de malezas, y la resiembra de la pastura tienen algún valor para mejorar el establecimiento de ésta.

Cuadro 7. Prácticas de manejo que, directa o indirectamente, reducen las pérdidas causadas por una enfermedad durante el establecimiento de una pastura.

Epoca de la pastura	Práctica aplicable
En presiembra	Elección del lugar Selección de la variedad Elección de la asociación Mezclas de especies Elección de fertilizantes Pretratamiento ^a
En la siembra	Preparación del suelo Tratamiento del suelo Control de malezas Densidad de siembra Profundidad de siembra Calidad de la semilla Tratamiento de la semilla
Después de la siembra	Seguimiento de la emergencia y de la sobrevivencia de las plántulas Seguimiento de las enfermedades Defoliación Resiembra Control químico

a. Precultivo y saneamiento.

Las malezas, las enfermedades, las plagas, y los factores abióticos pueden reducir el número de plántulas establecidas en una pastura nueva; por tanto, reducen también la productividad y la persistencia de esa pastura a largo plazo. Es necesario, pues, hacer un esfuerzo multidisciplinario para estudiar esos agentes adversos y sus interacciones.

Referencias

- Arias, B. y Lenné, J. M. 1988. Sistemas de producción de semilla de *Centrosema acutifolium* y efecto de fungicidas en la incidencia de *Pseudomonas fluorescens* biotipo II. Pasturas tropicales (CIAT) 10(2):11-18.
- Bereau, M. y Samson, R. 1981. Une pourriture bactérienne sur graminée fourragère tropicale. Agronomie 1(4):273-276.

- Burdon, J. J. 1987. Diseases and plant population biology. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra.
- Cardozo, C. I. y Gutiérrez, J. A. 1981. Efecto de la antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) en el rendimiento y calidad de *Stylosanthes guianensis*. (Tesis). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Chagas, D. y Oliveira, D. P. 1983. Fungos asociados a semillas de gramíneas y leguminosas forrajeras. Fitopatol. Bras. 8:131-135.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 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. 376 p.
- _____. [1985]. Informe anual 1984; Programa de Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 5. Cali, Colombia. 274 p.
- _____. 1986. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1985. Documento de trabajo no. 17. Cali, Colombia. p. 174-215.
- _____. 1987. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales, 1986. Documento de trabajo no. 24. Cali, Colombia. p. 149-190.
- Clay, K. 1988. Fungal endophytes of grasses: a defensive mutualism between plants and fungi. Ecology 69:10-16.
- Ellis, M. A.; Ferguson, J. E.; Grof, B. y Sinclair, J. B. 1976. Transmission of *Colletotrichum gloeosporioides* and effect of sulphuric acid scarification on internally borne fungi in seeds of *Stylosanthes* spp. Plant Dis. Rep. 60:844-846.
- Falloon, R. E. 1980. Seedling emergence responses in ryegrasses (*Lolium* spp.) to fungicide seed treatments. N. Z. J. Agric. Res. 23:385-391.
- Guevara-Gómez, C.; Lenné, J. M. y Torres, C. 1983. Etiology of dieback of *Centrosema* spp. and the effect of the pathogen on yield and quality during the period of establishment of the legume. Phytopathology 73:122. (Resumen.)
- Hancock, J. B. 1983. Seedling diseases of alfalfa in California. Plant Dis. 67:1203-1208.
- Hardison, J. R. 1976. Fire and flame for plant disease control. Annu. Rev. Phytopathol. 14:355-379.

- Holmes, S. J. I. 1983. The susceptibility of agricultural grasses to pre-emergence damage caused by *Fusarium culmorum* and its control by fungicidal seed treatment. Grass Forage Sci. 39:209-214.
- Latch, G. C. M. y Skipp, R. A. 1983. Diseases. En: Baker, M. J. y Williams, W. M. (eds.). White clover. Commonwealth Agricultural Bureaux, Londres, Inglaterra. p. 421-460.
- Leach, C. M. 1960. Phytopathogenic and saprophytic fungi associated with forage legume seed. Plant Dis. Rep. 44:364-369.
- Lenné, J. M. 1981a. Reaction of *Desmodium* spp. and other tropical pasture legumes to the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. Trop. Grassl. 15:17-20.
- _____. 1981b. Effect of associated grasses on the reaction of *Desmodium ovalifolium* to the root-knot nematode *Meloidogyne javanica*. Plant Dis. 65:870-871.
- _____. 1982. Control of anthracnose on the tropical pasture legume *Stylosanthes capitata* by burning. Trop. Pest Manage. 28(3):223-227.
- _____. 1983. A stem gall nematode on *Desmodium ovalifolium* in Colombia. Plant Dis. 67:557-560.
- _____. 1985. *Synchytrium desmodii*, the cause of wart disease of the tropical pasture legume *Desmodium ovalifolium*, in Colombia. Plant Dis. 69:806-808.
- _____. 1986. Recent advances in the understanding of anthracnose of *Stylosanthes* in tropical America. En: Proceedings of the Fifteenth International Grassland Congress, Kyoto, Japón. p. 773-775.
- _____. y Calderón, M. 1984. Disease and pest problems of *Stylosanthes*. En: Stace, H. M. y Edye, L. A. (eds.). Biology and agronomy of *Stylosanthes*. Academic Press, Sydney, Australia. p. 279-294.
- _____. y _____. 1989. Problemas causados por plagas y enfermedades en *Andropogon gayanus*. En: Toledo, J. M.; Lascano, C.; Vera, R. y Lenné, J. M. (eds.). *Andropogon gayanus* Kunth: un pasto para los suelos ácidos del trópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 191-238.
- _____. y Sonoda, R. M. 1978. *Rhizopus stolonifer* (Ehr. and Fr.) Lind., a seed-borne fungus of *Stylosanthes hamata* (L.) Taub. in Florida. Field Crops and Soil Science Society (Florida, E. U.) 37:39-42.
- _____. y _____. 1979. The effect of seed inoculation with *Colletotrichum* spp. on emergence, survival and seedling growth of *Stylosanthes hamata*. Trop. Grassl. 13:106-109.
- _____. y _____. 1982. Effect of anthracnose on yield of the tropical forage legume *Stylosanthes hamata*. Phytopathology 72:207-209.

- ____ y _____. 1985. Diseases of *Macroptilium atropurpureum*; a review. Trop. Grassl. 19:28-34.
- ____ y Torres, C. 1987. Effect of *Synchytrium desmodii* on seedling recruitment and adult plant yield of *Desmodium ovalifolium*. Phytopathology 77:1741-1746.
- ____; Alvarez, A. V. de y Torres, C. 1986. Damaging fungal diseases of promising pasture legumes in the tropical American lowlands. En: Proceedings of the Fifteenth International Grassland Congress, Kyoto, Japón. p. 807-809.
- ____; Sonoda, R. M. y Lapointe, S. L. 1990. Diseases and pests of *Centrosema*. En: Schultze-Kraft, R. y Clements, R. J. (eds.). *Centrosema*: Biology, agronomy and utilization. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 175-220.
- Lewis, G. C. 1984. Potential for improving the establishment of forage legumes by fungicide seed treatment. En: Forage legumes; BGS Symposium, 1984. Maidenhead, Reino Unido. p. 214.
- ____. 1985. Effect of soil-borne pathogens on ryegrass and white clover seedlings and their control. En: Brockman, J. S. (ed.). Weeds, pests and diseases in grassland and herbage legumes. p. 82-90.
- ____ y Lam, A. 1984. Soil-borne diseases affecting grass seedling emergence. En: The Grassland Research Institute Annual Report for 1983-1984. p. 61-62.
- Michail, S. H. y Carr, A. J. H. 1966. Effect of seed treatment on establishment of grass seedlings. Plant Pathol. 15:60-64.
- Nik, W. Z. y Parbery, D. G. 1977. Studies of seed-borne fungi of tropical pasture legume species. Aust. J. Agric. Res. 28:821-841.
- ____ y _____. 1980. Seed-borne fungi affecting seeds of Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) and Stylo (*Stylosanthes* spp.). Seed Sci. Technol. 8:193-201.
- Olaya, G. y Lenné, J. M. 1988. Efecto de diferentes métodos de preparación del suelo en la severidad del añublo foliar por *Rhizoctonia* en *C. brasilianum* CIAT 5234 y en su producción de materia seca, en dos sitios de Carimagua. Memorias del Noveno Congreso Nacional ASCOLFI. Pasto, Colombia.
- Orozco, D. F. 1983. Reconocimiento de la microflora en semillas de *Stylosanthes capitata* cosechadas en Colombia. (Tesis). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- Pachinburavan, A. 1984. Characterization of *Rhizoctonia solani* Kuhn. causing web blight of Siratro. Thai J. Agric. Sci. 17:163-168.
- Ralph, W. 1977. Problems in testing and control of seed-borne bacterial pathogens: A critical evaluation. Seed Sci. Technol. 5:735-752.

- Richard, C.; Bernie-Cardou, M. y Gagnon, C. 1983. Effet du benomyl sûr la persistence de la luzerne. *Can. J. Plant Pathol.* 5:125-128.
- Salas, I. N. y Lenné, J. M. 1985. Reconocimiento de la presencia de *Pseudomonas fluorescens* biotipo II en semillas de lotes de *Centrosema* spp. En: *Memorias del Undécimo Seminario Panamericano de Semillas*. Cali, Colombia. p. E81- E82.
- Schaeffer, C. C.; Rabas, D. L.; Froshaiser, F. I. y Nelson, D. L. 1982. Nematicides and fungicides improve legume establishment. *Agron. J.* 74:536-538.
- Skipp, R. A.; Christensen, M. J. y Nan Zhi Biao. 1986. Invasion of red clover (*Trifolium pratense*) roots by soil-borne fungi. *N. Z. J. Agric. Res.* 29:305-313.
- Spaull, A. M. 1985. Effects of nematodes on newly-sown ryegrass. En: Brockman, J. S. (ed.). *Weeds, pests and diseases in grassland and herbage legumes*. p. 65-72.
- _____; Mewton, P. G. y Clements, R. O. 1985. Establishment and yield of three ryegrasses following aldicarb use, and changes in abundance of plant parasitic nematodes. *Ann. of Appl. Biol.* 106(2):313-321.
- Stanton, J. M. 1986. Biology and influence of *Pterotylenchus cecidogenus* on *Desmodium ovalifolium*. *J. Nematol.* 18:79-82.
- Torres, C. y Lenné, J. M. 1983. Effect of various seed treatments on the survival of *Corynebacterium flaccumfaciens* in seeds of *Zornia* sp. CIAT 7847. *Phytopathology* 73:125 (Resumen.)
- ____ y _____. 1988. Estudio del carbón *Tilletia ayresii* en el pasto guinea *Panicum maximum*. *Memorias del Noveno Congreso Nacional ASCOLFI*. Pasto, Colombia.
- ____; Bradley, R. S.; Lenné, J. M. y Chaverra, M. 1988. Survival of *Bradyrhizobium* in contact with chemical protectants on seed of *Centrosema acutifolium*. Trabajo presentando en el Congreso Americano de Fitopatología, San Andrés Islas, Colombia, septiembre 1988. 12 p.
- Torres, R. 1987. Efecto de los métodos de cosecha y secado de la semilla de *Brachia-ria dictyoneura* en su microflora y calidad (viabilidad y germinación). (Tesis). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia.
- van Bezooijen, J. 1985. Pest and disease problems in newly sown grasses in the Netherlands. En: Brockman, J. S. (ed.). *Weeds, pests and diseases in grassland and herbage legumes*. p. 57-64.

- _____. 1986. Plant pathogens and nematodes in the conservation-tillage environment. En: Hill, R. R.; Clements, R. O.; Hower, A. A.; Jordan, T. A. y Zeiders, K. E. (eds.). Proceedings of the international symposium on establishment of forage crops by conservation-tillage: Pest management. United States Department of Agriculture (USDA) y Pennsylvania State University, E. U. p. 57-71.
- Vargas de Alvarez, A. y Lenné, J. M. 1985. Asociación de *Aspergillus* spp. con semillas de *Stylosanthes capitata* en Carimagua. En: Memorias del Undécimo Seminario Panamericano de Semillas. Cali, Colombia. p. E87-E88.
- _____ y _____. 1986. Efecto del añublo foliar por *Rhizoctonia* spp. en la leguminosa forrajera *Centrosema brasilianum*. En: Memorias del Séptimo Congreso Nacional ASCOLFI. Paipa, Colombia.
- _____ y _____. 1988. Mancha foliar por *Cylindrocladium* en *Centrosema* spp. Memorias del Noveno Congreso Nacional ASCOLFI. Pasto, Colombia.
- Williams, R. D. 1984. Crop protection handbook: Grass and clover swards. BCPC Publication. 105 p.

Plagas que Atacan los Pastos Tropicales durante su Establecimiento

Stephen L. Lapointe y Armando Ferrufino C.

Introducción

Hay una gran diversidad de especies de insectos presentes en los sistemas de pasturas neotropicales (Calderón y Arango, 1985). Más especies se encuentran en las leguminosas que en las gramíneas forrajeras, y de ellas la mayoría son especies de crisomélidos (Coleoptera). Sólo un pequeño porcentaje de estas especies puede considerarse como plaga, es decir, como especies cuyo consumo compite directamente con la utilización de la pastura por los bovinos. Además, algunas especies de insectos se consideran plagas esporádicas.

Los pastos nativos y los introducidos han sido utilizados en América Latina desde hace algún tiempo, y se han podido reconocer sus plagas más importantes. Las hormigas cortadoras de hojas y los salivazos están distribuidos ampliamente, son abundantes y son plagas consistentes de las pasturas. Los áfidos, los gusanos soldado, las chizas y otras plagas son esporádicas, abundan sólo localmente, y se les reconoce una importancia secundaria. Las leguminosas forrajeras, en cambio, nos hacen más especulativos en la determinación de sus plagas clave, ya que la adopción de los cultivares recientemente liberados es limitada. Cuando la adopción se incrementa, se logrará una mejor estimación de la condición de plaga que tengan varios insectos depredadores de estas especies vegetales.

El propósito de este capítulo es discutir brevemente algunas plagas de importancia que siempre han sido limitantes en el establecimiento y utilización de las pasturas tropicales; también se harán especulaciones sobre la posible aparición de las chizas y de algunos chinches de la familia Miridae como plagas mayores de las pasturas basadas en

Stephen L. Lapointe es investigador del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia. Armando Ferrufino es investigador del IBTA, Cochabamba, Bolivia.

leguminosas, una asociación ampliamente difundida en América Latina tropical.

Plagas Importantes

Hormigas cortadoras

Las hormigas cultivadoras de hongos (Hymenoptera: Formicidae, tribu Attini) pertenecen a dos géneros de cortadoras de hojas, *Atta* y *Acromyrmex*, y son conocidas como ‘hormigas arrieras’ en Colombia, ‘saúvas’ en Brasil, ‘hormigas indaneras’ en Perú, y ‘zepes’ en Bolivia. Estas hormigas cortan trozos de las plantas vivas que, después de ser masticados por las obreras dentro del nido, sirven como sustrato para el desarrollo de un hongo que constituye su alimento. La tribu Attini se halla exclusivamente en el Nuevo Mundo, en cuya región meridional se encuentra la mayor parte de sus especies. Cuando estas hormigas son abundantes, constituyen la mayor porción de la comunidad herbívora, especialmente en los ecosistemas de sabanas y cerrados. Brasil se ha distinguido por tener el mayor número de especies: nueve de *Atta* y dieciocho de *Acromyrmex*. En Colombia se han registrado cuatro especies en cada uno de los dos géneros mencionados. En países donde hay datos disponibles, las hormigas cortadoras son consideradas como la principal plaga de las pasturas. En Uruguay son uno de los cinco peores insectos-plaga de todo el país; en Brasil y Argentina, estas hormigas son de “considerable importancia” (uno de los peores 20 insectos plaga). En Colombia se tienen por plagas sin mucha importancia en las plantas forrajeras (Cherrett y Peregrine, 1976).

La diversidad de los hospedantes de las hormigas cortadoras depende de la especie de éstas. Las de *Atta* cosechan hojas de monocotiledóneas y dicotiledóneas. *Atta sexdens rubropilosa* prefiere las dicotiledóneas (Silva y Magalhaes, 1980; CIAT, 1982). Las especies de *Acromyrmex* muestran una notoria preferencia por *Andropogon gayanus* en los ecosistemas de sabana y por *Panicum maximum* en los trópicos húmedos (Valles y van der Meer, 1975).

Daño. Por los cortes que hacen en las plántulas emergentes, *Atta* y *Acromyrmex* pueden causar el fracaso completo del establecimiento de

la pastura, o pueden dar lugar a pasturas con poblaciones irregulares y, en consecuencia, susceptibles de enmalezarse. El daño causado a las plántulas es especialmente severo después del corte. Se han registrado pérdidas numerosas en el establecimiento de leguminosas forrajeras a causa de la depredación a que las someten las hormigas; las más afectadas son *Pueraria phaseoloides*, *Desmodium* spp., *Stylosanthes* spp., *Centrosema* spp., y *Leucaena* spp. Las hormigas de la tribu Attini son más activas durante la noche que en el día, y a menudo no se las asocia con el daño que se observa en las plantas.

Control químico. En las pasturas en que se aplica un control químico, se utilizan cebos tóxicos, o aplicaciones directas a los hormigueros, de insecticidas como Aldrin y Mirex. El control químico no es aplicable a las pasturas de los sistemas de producción extensiva y de baja rentabilidad. Una revisión de este tema general puede consultarse en Cherrett (1986).

Los nidos se envenenan directamente aplicando una formulación en polvo de un insecticida de alta residualidad como el aldrín (un organoclorado muy persistente) o el clorpirifos (un organofosforado cuya efectividad en el suelo es de varias semanas). El aldrín no está disponible actualmente en muchos lugares debido a su alta residualidad y a sus posibles efectos sobre el ambiente. El clordano y el heptacloro son efectivos pero poseen desventajas similares. En Colombia se ha utilizado el clorpirifos en nidos de *Atta* con excelentes resultados.¹ En cambio, el control directo de *Acromyrmex* es virtualmente imposible a causa del pequeño tamaño de los hormigueros y de su densidad, que puede exceder los 5000 nidos por hectárea.

Los cebos envenenados tienen las siguientes ventajas: a) no requieren aplicación mecanizada ni pericia en el aplicador; b) se usan cantidades más pequeñas de insecticida por nido que con otros métodos; y c) son un método factible de control de especies de *Acromyrmex*. Hasta el momento se han formulado pocos cebos para el control de *Acromyrmex*; los cebos comerciales para controlar *Atta*, en cambio, prometen ser más efectivos. En Brasil hay cebos comerciales hechos con el insecticida Mirex para el control de las hormigas cortadoras.

1. Lapointe, S. L. Información sin publicar.

Resistencia varietal. Fowler y Robinson (1977) probaron la preferencia de *Acromyrmex landolti* por varios pastos forrajeros. En condiciones de campo, la mayor densidad de colonias se encontró en una siembra de *Panicum maximum*. *Brachiaria decumbens* fue la especie menos preferida, tanto en el campo como en el laboratorio. Esto confirma las observaciones hechas por N. O. Peña en Tarapoto, Perú.²

Algunas propiedades físicas de las plantas, como la dureza de sus tejidos, han demostrado tener efecto en las preferencias que tienen las hormigas cortadoras (Cherrett, 1986). *Acromyrmex landolti fracticornis* prefiere las láminas foliares tiernas que no hayan sufrido antes daños de otros invertebrados (Fowler y Robinson, 1977). En pasturas de *A. gayanus* en que la densidad de los nidos es alta y el pastoreo intenso, la continua depredación de las hormigas cortadoras puede disminuir severamente la capacidad de recuperación de esas pasturas para el pastoreo; por otra parte, Fowler y Robinson (1977) encontraron una correlación positiva entre la cobertura basal de ese pasto y la densidad de las colonias de *A. l. fracticornis*. Observaciones de *A. landolti* en los Llanos colombianos muestran una densidad de nidos más alta en *A. gayanus* (erecto) que en las pasturas adyacentes de *B. humidicola* (prostrado). Los factores que determinan los hábitos de nidificación y el éxito de una colonización no se han entendido bien todavía; no obstante, la resistencia de *B. humidicola* en particular y la antipreferencia (antixenosis) de *Brachiaria* en general sugieren, si se compara ese pasto con *A. gayanus*, una estrategia en que se utilice diferente germoplasma de gramíneas según la densidad de los nidos de hormigas.

Brachiaria humidicola parece tener efectos represivos en las poblaciones de hormigas.³ Por tanto, como alternativa para el control químico se sembraría *B. humidicola* en áreas fuertemente infestadas por hormigas. En áreas donde predomina *Atta* spp. sería aconsejable retrasar el establecimiento de las leguminosas hasta que las poblaciones de hormigas hayan declinado. Es pues necesario definir umbrales económicos que sirvan como herramienta a los ganaderos para el control.

2. Informe anual del Centro Regional de Investigación Agrícola del Noroeste (CRIANO), Perú. Información sin publicar.

3. Lapointe, S. L. Información sin publicar.

Gusanos blancos

Las larvas de varios miembros de la familia Scarabaeidae son conocidas como gusanos blancos (otros nombres comunes son chizas, gallinas ciegas, mojojeyes). Los géneros registrados que infestan los pastos tropicales son *Cyclocephala*, *Phyllophaga* y *Eutheola* (Calderón y Arango, 1985; King y Saunders, 1984; Pinzón, 1984; Guagliumi, 1962). Los insectos adultos son escarabajos de tamaño y color muy variables, y de noche son atraídos por las luces. El ciclo de vida de estos escarabajos es generalmente largo (de uno a tres años). Los huevos se colocan en el suelo cerca de la superficie (González et al., 1983); los adultos, que pueden ser fitófagos o coprófagos, no son considerados plaga aunque causen molestias por su actividad nocturna y su fuerte atracción por las luces artificiales. Las trampas de luz negra se utilizan en algunas áreas como medio de control. Las larvas viven en el suelo y algunas, como las de *Eutheola humilis*, pueden vivir en él más de veinte meses a una profundidad de 15 a 20 cm (Guagliumi, 1962). En sus primeros instares, las larvas se alimentan de materia orgánica, y en los últimos, de las raíces de las plantas. Una larva completamente desarrollada mide de 20 a 50 mm (King y Saunders, 1984).

Daño. En Colombia se ha informado de ataques severos a las pasturas de *Desmodium ovalifolium*, *Centrosema* spp., *Stylosanthes* spp. y *Andropogon gayanus* (CIAT, 1982); a las de *Brachiaria arrecta* en Panamá (Pinzón, 1984); y a varias especies de pastos en América Central (King y Saunders, 1984). Las larvas se alimentan de raíces y causan por ello una disminución en la producción de las plantas, especialmente durante el establecimiento; este hecho facilita la invasión de las malezas. Las infestaciones son localizadas (en focos) y producen parches de plantas cloróticas o muertas. A menudo los gusanos blancos son subestimados como plaga debido a su largo ciclo de vida, a sus hábitos subterráneos, y a sus largos períodos de aparente inactividad (Watts et al., 1982).

Control químico. La aplicación al suelo de formulaciones granuladas de carbamatos (Aldicarb, Carbofuran, Methomil) y de organofosforados (Clorfeninfos, Clorpirifos, Diazinon, Forato, etc.) ha dado buenos resultados. También se han usado los organoclorados (como Aldrin), pero ahora son de disponibilidad limitada en el mercado.

Control del cultivo. El control de malezas, la inundación del terreno, y la preparación mecánica del suelo reducen las poblaciones de larvas (Shenk y Saunders, 1984; González et al., 1983). Guagliumi (1962) recomienda una preparación profunda para exponer las larvas, y la aplicación de insecticidas con alta actividad residual, como Aldrin o Endrin.

Control biológico. King y Saunders (1984) dan una lista de parasitoides de larvas, bacterias patógenas y vertebrados depredadores. Kard et al. (1988) obtuvieron un éxito parcial en el control de especies de gusanos blancos empleando nematodos entomopatógenos. La efectividad de éstos estuvo ligada, aparentemente, a la temperatura y humedad del suelo y a la oportunidad de la aplicación, que coincidió con la presencia de larvas que se alimentaban en la zona de las raíces. Maelzer (1962) informa que en Australia *Aphodius tasmaniae* fue infectado por el hongo patógeno *Cordyceps aphodii*.

Resistencia varietal. No se han encontrado estudios de resistencia al gusano blanco en especies de gramíneas o leguminosas tropicales; una posible explicación de esta ausencia es la naturaleza esporádica de la plaga y la dificultad de trabajar con insectos del suelo cuyo ciclo de vida sea largo.

Otras consideraciones. Pinzón (1984) anota la gran abundancia de gusanos blancos en las pasturas de los sistemas de producción lechera, posiblemente a causa de su utilización intensiva y de la gran acumulación de estiércol en ellas. La aparición del escarabajo *Aphodius tasmaniae* como plaga de las pasturas en el sur de Australia ilustra lo que puede ocurrir cuando el sistema se intensifica. Maelzer (1962) concluyó que la presencia de larvas en las pasturas mejoradas está relacionada con la materia orgánica del suelo o de la superficie. Debido a que los adultos de *A. tasmaniae* son coprófagos, se ha encontrado una correlación positiva entre la carga animal y la abundancia de larvas. Sin embargo, las larvas son muy escasas en una pastura entre el tercero y cuarto año después de la siembra, porque faltaría alimento para las larvas jóvenes que están en sus años iniciales.

Las poblaciones de larvas y el daño que causan son mayores en las pasturas de gramíneas asociadas con trébol subterráneo (*Trifolium*

subterraneum). Las pasturas que contienen especies perennes no son infestadas, generalmente, puesto que se mantiene un equilibrio entre la gramínea y la leguminosa. Los pastos perennes toleran mejor un ataque y rara vez mueren después de una infestación. Las especies de estos escarabajos son más abundantes en los suelos bien drenados; por ello, el drenaje de terrenos puede contribuir a agravar el problema.

Cercópidos

Taxonomía y desarrollo. Existen varios géneros y especies de salivazos pertenecientes a la familia Cercopidae (Cuadro 1). Las ninfas se recubren de una masa espumosa de color blanco (saliva) que las protege de la desecación y de sus enemigos naturales. La espuma producida por las ninfas es un fluido que excretan por el ano junto con una sustancia mucilaginosa en la cual inyectan burbujas de aire con sus apéndices caudales (Borrór et al., 1981).

Los salivazos no constituyen un problema durante el establecimiento de la pastura, pues la sobrevivencia ninfal depende de la protección contra la desecación que proporciona una pradera establecida. Sin embargo, el daño causado por los salivazos puede ser la causa principal de la degradación de una pastura, y puede contribuir significativamente a una prematura declinación de la productividad de las plantas.

Daño. Las ninfas de los salivazos causan un daño significativo a los pastos por la remoción de la savia del xilema; contribuyen por ello a causar déficit hídrico y debilidad en las plantas afectadas (Naves, 1980). Además, el daño causado por los adultos, como los de *Zulia colombiana*, *Aeneolamia reducta* (Lalle.) y otros, es más evidente. El síntoma inicial de que el adulto se alimenta de la planta es la aparición de una mancha húmeda y clorótica en el sitio de alimentación. Las lesiones cloróticas se expanden longitudinalmente y a veces se necrosan, al parecer por la acción de factores tóxicos presentes en la saliva del insecto, que son inyectados en la planta durante la alimentación de éste (Byers y Wells, 1966; Valério, 1985). El daño causado por los adultos ha sido relacionado con la duración de su alimentación y el número de insectos por planta (Byers y Wells, 1966). Las ninfas de los primeros instares se alimentan de las raíces expuestas, y se mueven hacia la base de los tallos en el transcurso de su desarrollo. No se conoce

Cuadro 1. Especies de cercópidos plaga asociados con pasturas en América tropical.

País	Especie	Referencia
Argentina	<i>Aeneolamia astralis</i>	Martínez y Calderón, 1981
	<i>Aeneolamia occidentalis</i>	Metcalf, 1961
	<i>Deois knoblanhii</i>	Silva et al., 1968
	<i>Deois terrea</i>	Guagliumi, 1970
		Sakakibara, 1979
	<i>Deois schach</i>	Metcalf, 1961
	<i>Zulia entreriana</i>	Metcalf, 1961
		Silva et al., 1968
		Guagliumi, 1972
Belice	<i>Aeneolamia posticata</i>	Martínez y Calderón, 1981
Bolivia	<i>Mahanarva spectabilis</i>	Martínez y Calderón, 1981
	<i>Mahanarva</i> sp.	Ferrufino, 1985
	<i>Aeneolamia astralis</i>	Ferrufino, 1986
	<i>Zulia</i> sp.	Ferrufino, 1986
Brasil	<i>Aeneolamia selecta</i>	Metcalf, 1961
	<i>Aeneolamia varia</i>	Withycombe, 1926
	<i>Deois flavopicta</i>	Metcalf, 1961
		Silva et al., 1968
		Guagliumi, 1970
		Sakakibara, 1979
	<i>Deois incompleta</i>	Metcalf, 1961
		Silva et al., 1968
		Guagliumi, 1970
		Sakakibara, 1979
	<i>Deois picklesi</i>	Metcalf, 1961
		Sakakibara, 1979
	<i>Deois grandis</i>	Sakakibara, 1979
	<i>Deois piraporae</i>	Sakakibara, 1979
	<i>Deois knoblanhii</i>	Guagliumi, 1972
	<i>Deois flexuosa</i>	Guagliumi, 1972
	<i>Deois schach</i>	Metcalf, 1961
		Silva et al., 1968
		Guagliumi, 1972
		Sakakibara, 1979
	<i>Deois terrea</i>	Lepage y Monte, 1942
		Metcalf, 1961
		Silva et al., 1968
		Guagliumi, 1977
		Sakakibara, 1979
	<i>Mahanarva fimbriolata</i>	Metcalf, 1961
		Silva et al., 1968
		Guagliumi, 1970
	<i>Mahanarva rubicunda</i>	Metcalf, 1961
		Silva et al., 1968
		Guagliumi, 1970

(Continúa)

Cuadro 1. Continuación.

País	Especie	Referencia
	<i>Mahanarva posticata</i>	Metcalf, 1961 Silva et al., 1968 Guagliumi, 1970
	<i>Mahanarva quadripunctata</i>	Metcalf, 1961 Silva et al., 1968 Guagliumi, 1970
	<i>Mahanarva bicincta</i>	Metcalf, 1961 Silva et al., 1968 Guagliumi, 1970
	<i>Mahanarva liturata</i>	Metcalf, 1961 Silva et al., 1968 Guagliumi, 1970
	<i>Mahanarva tristis</i>	Metcalf, 1961 Silva et al., 1968 Guagliumi, 1970
	<i>Mahanarva</i> sp.	Guagliumi, 1970
	<i>Monecphora quadri-faciata</i>	Metcalf, 1961
	<i>Mexantonia quadriguttata</i>	Metcalf, 1961
	<i>Sphenorhina melanoptera</i>	Metcalf, 1961
	<i>Sphenorhina rubra</i>	Metcalf, 1961 Silva et al., 1968 Guagliumi, 1972
	<i>Tomaspis</i> sp.	Guagliumi, 1970
	<i>Tunaima walkeri</i>	Metcalf, 1961
	<i>Zulia entreriana</i>	Metcalf, 1961 Silva et al., 1968 Guagliumi, 1970
	<i>Kanaima vittata</i>	Guagliumi, 1972
Colombia	<i>Aeneolamia varia</i>	Posada et al., 1962
	<i>Aeneolamia reducta</i>	Posada et al., 1962
	<i>Aeneolamia lepidor</i>	Posada et al., 1962
	<i>Sphenorhina rubra</i>	Posada et al., 1962
	<i>Zulia pubescens</i>	Posada et al., 1962
	<i>Zulia colombiana</i>	Arango y Calderón, 1981
	<i>Zulia</i> sp., poss. <i>vilior</i>	Posada et al., 1962
	<i>Mahanarva</i> sp.	Arango, 1982 (sin publ.)
	<i>Mahanarva fimbriolata</i>	Arango, 1982 (sin publ.)
Costa Rica	<i>Aeneolamia varia</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Prosapia bicincta</i>	Fagan y Vargas, 1971
	<i>Prosapia distant</i>	Metcalf y Bruner, 1944
Cuba	<i>Monecphora bicincta</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Monecphora flavifascia</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Lepyronia angulifera</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Aeneolamia flavilatera</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Aeneolamia varia</i>	Barrientos, 1986

(Continúa)

Cuadro 1. Continuación.

País	Especie	Referencia
Ecuador	<i>Sphenorhina rubra</i>	Metcalf, 1961
Granada	<i>Aeneolamia varia</i>	Calderón y Martínez, 1981
Guyana	<i>Aeneolamia flavilatera</i>	Guagliumi, 1962
Jamaica	<i>Prosapia basalis</i>	Calderón y Martínez, 1981
México	<i>Aeneolamia occidentalis</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Aeneolamia postica</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Aeneolamia varia</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Aeneolamia albofasciata</i>	Metcalf, 1961
		Fennah, 1968
	<i>Aeneolamia contigua</i>	Metcalf, 1961
		Fennah, 1968
	<i>Prosapia bicincta</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Prosapia simulans</i>	Metcalf, 1961
		Fennah, 1968
	<i>Sphenorhina rubra</i>	Metcalf, 1961
		Fennah, 1968
Panamá	<i>Aeneolamia reducta</i>	Guagliumi, 1962
	<i>Aeneolamia lepidor</i>	Metcalf y Bruner, 1944
Perú	<i>Zulia pubescens</i>	Lapointe, 1988 (sin publ.)
	<i>Zulia entreriana</i>	Lapointe, 1988 (sin publ.)
	<i>Mahanarva anginea</i>	Guagliumi, 1962
	<i>Sphenorhina rubra</i>	Metcalf, 1961
		Silva et al., 1968
		Guagliumi, 1970
Surinam	<i>Aeneolamia flavilatera</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Zulia pubescens</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Mahanarva tristis</i>	Calderón y Martínez, 1981
Trinidad	<i>Aeneolamia varia</i>	Metcalf y Bruner, 1944
	<i>Sphenorhina rubra</i>	Metcalf, 1961
	<i>Mahanarva posticata</i>	Metcalf, 1961
Venezuela	<i>Aeneolamia flavilatera</i>	Guagliumi, 1962
	<i>Aeneolamia lepidor</i>	Guagliumi, 1962
	<i>Aeneolamia reducta</i>	Keller, 1960
	<i>Aeneolamia varia</i>	Guagliumi, 1962
	<i>Delassor tristi</i>	Guagliumi, 1962
	<i>Sphenorhina rubra</i>	Metcalf, 1961

la presencia de toxinas salivares en estas ninfas; sin embargo, causan clorosis general cuando se presentan en alto número, presumiblemente porque sustraen los contenidos del xilema.

En las especies de pastos tropicales, el daño foliar visible causado por una densidad dada de insectos es muy variable, un efecto quizá de la tolerancia de la hoja a las toxinas contenidas en la saliva del insecto. Los problemas de degradación de *B. decumbens* en Brasil fueron, en gran parte, un efecto de la alta susceptibilidad del pasto al daño causado por la alimentación de *Deois incompleta* (Walker) y de *Zulia entre-riana* (Berg). La reciente difusión de la especie tolerante *B. humidicola* sirve como ejemplo del valor potencial de la tolerancia a las plagas para la producción de pastos en las tierras bajas de América Latina (Toledo y Nores, 1986; Silva, 1982). No obstante, la reciente experiencia, hecha en Brasil con *B. humidicola* y en los Llanos Orientales de Colombia con *B. dictyoneura* cv. Llanero, demuestra el peligro inherente a la selección de especies o variedades tolerantes a un factor, en ausencia de otros factores de resistencia. Estudios hechos en el invernadero indicaron que esas especies, altamente tolerantes, pueden soportar poblaciones más altas del insecto que la especie susceptible *B. decumbens* cv. Basilisk (Ferrufino y Lapointe, 1989). Durante la estación lluviosa de 1988 en Colombia, las primeras generaciones de salivazo fueron tan altas que superaron la tolerancia del cultivar Llanero; en éste observó finalmente un daño severo.

Resistencia varietal. La adquisición que hizo recientemente el CIAT de una gran colección de *Brachiaria* del Africa hace ahora posible la extensión de la diversidad genética de este género, para beneficio de los productores tropicales. El CIAT se esfuerza por identificar las accesiones que posean resistencia del tipo de la antibiosis, como ocurre con *B. brizantha* cv. Marandú (Ferrufino y Lapointe, 1989). Se han identificado excelentes fuentes de resistencia; hasta la fecha, la variedad comercial más resistente al salivazo es *B. brizantha* cv. Marandú. Esta resistencia parece ser estable y efectiva contra varias especies del insecto.

Control biológico. Hasta ahora, se ha confirmado la existencia de pocos enemigos naturales de los cercópodos; este resultado sorprende si se consideran el prolongado estado ninfal y la amplia distribución de ese grupo en América Latina. Quizás ha habido pocos intentos de localizar enemigos naturales, o posiblemente la protección que ofrece la espuma que recubre las ninfas es muy efectiva. De las especies encontradas, dos son depredadoras no específicas (*Salpingogaster nigra* y

Solenopsis spp.), y tres son parasitoides de huevos (*Oligosita*, *Anagrus* y *Centrodora* sp.). Los hongos patógenos, que frecuentemente atacan al salivazo, sólo afectan a los adultos posreproductivos. En Colombia se han observado epizootias de *Entomophthora*⁴ y de *Metarrhizium anisopliae*⁵ a continuación de los picos poblacionales de los salivazos.

El hongo *M. anisopliae* se ha investigado considerablemente como agente de control biológico de los cercópodos. Aunque la propagación de *M. anisopliae* en grandes cantidades es fácil y económica, se deben superar aún muchos obstáculos antes de que el patógeno sea efectivo como agente de control. En un reconocimiento efectivo de áreas extensas, deben verificarse los brotes de salivazo antes de que se observen los síntomas del daño. La aplicación del control debe ser efectiva, es decir, debe atacar las ninfas dentro de sus espumas, y su costo tiene que ser bajo. El mayor inconveniente de estas aplicaciones es que deben repetirse por su escasa persistencia en el campo, y por su baja patogenicidad contra las ninfas ocultas dentro de la espuma.

Control del cultivo. Un manejo adecuado de los pastos susceptibles, como *B. decumbens* cv. Basilisk, que minimice la acumulación de material muerto en la pradera, puede contribuir al control del salivazo. Según Koller y Valério (1988), la remoción de desechos (litter) de las pasturas de *B. decumbens* resultó en poblaciones más bajas de ninfas y de adultos que en las pasturas en que se dejó acumular material senescente. En pasturas que recibían carga animal alta hubo menor producción de material senescente.

Pulguillas saltonas

Las pulguillas (Coleoptera: Crisomelidae, subfamilia Alticinae) son pequeños escarabajos saltones, usualmente de colores azul oscuro, verde o negro. Los escarabajos adultos raspan el follaje, sin agujerearlo, dejando manchas blancas pequeñas y rectangulares donde el tejido tiene poco contenido celular. Las larvas se alimentan de las raíces de las especies forrajeras o de las malezas.

4. Lapointe, S. L. Información sin publicar.

5. Ferrufino, A. Información sin publicar.

Daño. S. L. Lapointe observó daños severos sólo durante el establecimiento de la pastura. Los daños pueden ser bastante severos, es decir, pueden causar fracasos en el establecimiento y afectar la recuperación del pasto. Las pulguillas suelen ser más abundantes en los campos cercanos a cultivos de maíz y de otras plantas que los hospedan. El daño puede estar asociado con infecciones secundarias de hongos saprofitos, que se manifiestan como manchas rojizas alrededor de las heridas hechas por las pulguillas; esta mancha es particularmente evidente en las hojas viejas. *B. decumbens* cv. Basilisk es una de las especies de *Brachiaria* más susceptibles. En Brasil y Costa Rica, las accepciones de *Panicum maximum* son menos susceptibles.⁶

Control. No se requiere, generalmente, control químico; sin embargo, se pueden aplicar insecticidas carbamatos durante el establecimiento. El control de malezas y la distancia entre la pastura y otros cultivos hospedantes pueden reducir las infestaciones.

Plagas Poco Conocidas

Cyrtocapsus sp.

Durante la época seca de 1986-1987, varias parcelas de *Centrosema* en los Llanos Orientales de Colombia experimentaron una fuerte infestación de una pequeña chinche negra, *Cyrtocapsus* sp. (Hemiptera: Miridae). Este insecto ha sido recolectado en *Centrosema* en Brasil (Felixlândia y Belém), y en *Stylosanthes* en Colombia (sur y Llanos Orientales). Dada la amplia distribución geográfica de esta chinche en América Latina, podría convertirse en una plaga importante a medida que *Centrosema* se adapte más ampliamente. Hubo un rango de susceptibilidad dentro del género *Centrosema*, y *C. acutifolium* CIAT 5568 sufrió menos daño.⁷ Poco se sabe de los hábitos, del ciclo de vida, o de los enemigos naturales de este insecto.

6. Lapointe, S. L. Información sin publicar.

7. Lapointe, S. L. Información sin publicar.

Stegasta bosquella

Stegasta bosquella Chambers (Lepidoptera: Gelechiidae) puede reducir drásticamente el rendimiento de semilla de *Stylosanthes*, de *Zornia*, de *Aeschynomene* y de *Arachis* (incluyendo aquí a *Arachis hypogaea*, el maní). Las hembras adultas ovipositan sobre los tricomas de las brácteas externas de las inflorescencias de *Stylosanthes*. Las larvas recién nacidas perforan las inflorescencias causando daño a las flores y a las semillas. Se ha observado una correlación positiva entre el número de inflorescencias por planta, la presencia de un orificio de entrada (por lo menos), y el porcentaje de semilla dañada por planta.⁸ Se comprobó que se pueden hacer conteos de inflorescencias dañadas en el campo, sin necesidad de cosecharlas, para evaluar la resistencia varietal hacia *S. bosquella* en el género *Stylosanthes*. Se sabe poco sobre la dinámica poblacional y la historia natural de esta plaga.

Larvas de Lepidópteros

Las larvas de los lepidópteros son plagas esporádicas de las pasturas que llegan a causar grandes pérdidas de biomasa cuando ocurren irrupciones masivas de ellas. Es claro, por tanto, que estos insectos compiten con los herbívoros domésticos por el forraje disponible. Muchas veces, cuando se presentan ataques fuertes, el peso global de las larvas por unidad de área puede superar la capacidad de carga recomendada (Watts et al., 1982). Los lepidópteros más importantes como plaga de las pasturas pertenecen a los géneros *Mocis*, *Spodoptera* y *Elasmopalpus*.

Mocis latipes

Mocis latipes (Noctuidae) es conocido comúnmente como 'falso medidor de los pastos' en Colombia y como 'lagarta dos capinzais' en Brasil. Los noctuidos son, en general, mariposas de hábito nocturno, de cuerpo pesado, y de alas anteriores ensanchadas. Los palpos labiales son largos y las antenas filiformes (Borrór et al., 1981).

8. Lapointe, S. L. Información sin publicar.

El adulto de *M. latipes* es una polilla de color café grisáceo, de unos 40 mm de envergadura, que presenta dos marcas de forma ovalada en el centro de las alas anteriores.

Biología y hábitos. Los adultos colocan sus huevos en grupos de 40 a 60 cerca de la vena central, en el envés de las hojas, preferiblemente sobre gramíneas del género *Setaria* en los ecosistemas de sabanas. Los huevos tienen estrías características y son de forma redonda (CIAT, 1982). Las larvas presentan una amplia policromía variando desde el verde oscuro y el castaño hasta el negro, con rayas longitudinales de colores más claros. Presentan tres pares de pseudopatas abdominales y una cabeza globosa con estrías longitudinales amarillas. Llegan a medir más de 50 mm en sus últimos estadios de desarrollo y se arquean característicamente para su desplazamiento (González et al., 1983). Empupan entre dos hojas entretrejidas o en una hoja doblada, a veces entre la hojarasca del suelo (Carvalho, 1976).

Daño. Es plaga severa cuando se presenta en poblaciones altas; de lo contrario, no es importante. Casi siempre está presente, en bajas densidades, en los pastos y cultivos de gramíneas, pero puede irrumpir como plaga en condiciones climáticas favorables (King y Saunders, 1984). Generalmente, se observan incrementos en su población después de una época seca severa, y cuando se presentan lluvias cortas y escalonadas al comienzo de la época lluviosa (CIAT, 1982).

El ataque se inicia generalmente desde focos, principalmente en los potreros enmalezados. Las larvas, cuya duración es de 25 días aproximadamente, actúan en sus primeros instares como raspadores. En un estado de desarrollo más avanzado, consumen toda la lámina foliar dejando solamente la nervadura central (CIAT, 1982). El daño es conspicuo, y las larvas se reconocen fácilmente por la singular forma de estirar y encoger su cuerpo, a la que debe la plaga el nombre de falso medidor (Barrientos y Miret, 1979). Puesto que es un insecto de hábito nocturno, inicia su ataque a partir de la puesta del sol; es común escuchar entonces el ruido que produce al consumir las hojas de las gramíneas (Carvalho, 1976). Las larvas pueden migrar formando un frente, ocasión en la cual consumen selectivamente las gramíneas que encuentran a su paso (CIAT, 1982).

Este insecto infesta varias gramíneas forrajeras introducidas y nativas (Carvalho, 1976; Barrientos y Miret, 1979; CIAT, 1982; Miret, 1986); las principales son: *Digitaria decumbens*, *Cynodon* spp., *Brachiaria* spp., *Panicum maximum*, *Andropogon gayanus*, *Hyparrhenia rufa*, *Melinis minutiflora*, *Paspalum* spp., *Trachypogon vestitus* y *Setaria* spp.

Los ataques del falso medidor producen daños de importancia. Se han cuantificado pérdidas hasta de 4 t/ha de biomasa foliar, con una densidad poblacional de 300 larvas/m² (Barrientos y Miret, 1979). En cultivares de *Cynodon dactylon*, Miret (1986) encontró pérdidas de alrededor de 25% de materia verde, cuando la población era de 2 larvas/m², y de 75% cuando ésta era de 23 larvas/m².

Control químico. Cuando haya, como mínimo, 10 larvas/m², debe mantenerse una constante observación en el desarrollo de la plaga (Barrientos y Miret, 1979). Es importante detectar los focos iniciales de infestación, y controlarlos para impedir la migración de las larvas; de ese modo se torna menos costoso el control. Es necesario volver a inspeccionar las pasturas unos 20 días después, porque es probable otra irrupción. Cuando hay infestaciones severas se recomiendan insecticidas organofosforados, carbamatos, piretroides, y el insecticida biológico Dipel (Carvalho, 1976; González et al., 1983; King y Saunders, 1984).

Control biológico. Hay muchos enemigos naturales de esta plaga, entre los cuales se destacan los himenópteros parasitoides (familias Braconidae, Eulophidae, e Ichneumonidae), los dípteros parasitoides (familias Tachinidae y Sarcophagidae), los himenópteros depredadores (*Polistes* sp., Vespidae), y los hongos patógenos (*Nomuraea rileyi*, *Beauveria bassiana* y *Metarrhizium anisopliae*) (Carvalho, 1976; CIAT, 1982; CIAT, 1983; King y Saunders, 1984).

Control del cultivo. Para controlar los brotes de la plaga, se puede arar, rastrillar o pasar un 'rome' por el terreno; con esta operación se logra el contacto directo de las larvas con los rayos solares. También se puede trabajar con arado una franja de tierra para impedir la migración de las larvas (Carvalho, 1976).

Resistencia varietal. De las forrajeras que infesta esta plaga, solamente *Panicum maximum* (Barrientos y Miret, 1979), *Cynodon nlemfuensis* (Miret, 1986) y *Paspalum maritimum* (Carvalho, 1976) ofrecen cierta resistencia a su ataque.

Spodoptera frugiperda

Biología y hábitos. Los adultos de *S. frugiperda* (Noctuidae), cuyas larvas se conocen como gusano (o lagarta) militar o gusano cogollero, son polillas de color gris con manchas de tono gris claro sobre las alas anteriores. Miden unos 20 mm de longitud y 30 mm de envergadura. Las características de color están menos definidas en las hembras que en los machos (González et al., 1983). Las hembras adultas depositan sus huevos en masas o grupos en el envés de las hojas más próximas al suelo, y los cubren con escamas de su cuerpo. Las larvas recién nacidas miden unos 5 mm, y cuando están completamente desarrolladas unos 50 mm. Su coloración varía de pardo oscura a verde, y llega a ser casi negra; en el dorso presentan tres líneas amarillas finas, y en la parte lateral otras dos líneas, una oscura y la otra amarilla con puntos rojos. En la cabeza presentan un dibujo en forma de Y invertida. Empupan en el suelo, y la crisálida es de coloración castaño-rojiza (Silva y Magalhaes, 1980).

Daño. Las larvas de este insecto son polífagas, pero prefieren las gramíneas. Un gran número de pastos nativos son hospedantes de *Spodoptera frugiperda*. De los pastos cultivados ha atacado los siguientes: *Brachiaria* spp., *Cynodon dactylon* y *Setaria* spp. (Silva y Magalhaes, 1980; Quisenberry y Wilson, 1985).

El ataque del gusano militar coincide, en líneas generales, con el del falso medidor. No obstante, hay que tener en cuenta que el ataque de *Spodoptera* se presenta también en los períodos secos, cuando la disponibilidad de forraje es alta (Barrientos y Miret, 1979). Este insecto puede considerarse como una plaga ocasional de los pastos, tanto en el período de establecimiento como en los pastizales establecidos.

Control químico y del cultivo. Se pueden aplicar los que fueron descritos para *Mocis latipes*.

Control biológico. Este insecto tiene una gran cantidad de enemigos naturales (King y Saunders, 1984) tanto parasitoides como depredadores y patógenos (hongos y virus). Entre los patógenos figuran *Aspergillus flavus*, *Beauveria bassiana*, *Nomouraia rileyi*, y los virus de la poliedrosis nuclear.

Resistencia varietal. Se han encontrado antibiosis y tolerancia en algunos clones de *Cynodon dactylon* (Quisenberry y Wilson, 1985) y algún mecanismo de resistencia no identificado en *Panicum maximum* (Barrientos y Miret, 1979). Los niveles bajos de nitrógeno y de digestibilidad de los pastos afectan el desarrollo de este insecto (Quisenberry y Wilson, 1985).

Elasmopalpus lignosellus

Elasmopalpus lignosellus (Zeller) (Lepidoptera: Pyralidae) fue observado en *Centrosema* spp. en Santander de Quilichao, Colombia.⁹ Esta larva es una plaga del frijol y de otros cultivos como maíz, sorgo, arroz, caupí, maní y caña de azúcar. Se encuentra también en los pastos nativos. Es una plaga esporádica o local, generalmente de poca importancia; es más frecuente en los suelos arenosos o bien drenados, durante la estación seca y después de la quema. El control químico es difícil debido a sus hábitos subterráneos. Los insecticidas organofosforados la controlan poco. Donde haya riesgo de infestación sería necesaria una alta densidad de siembra para compensar por la pérdida de plantas. Un período de barbecho puede reducir la infestación, y una preparación temprana del suelo contribuye también al control de la plaga. La hembra deposita los huevos solos, o en pequeños grupos, en los tallos y hojas cercanos al suelo, o en el suelo cerca de la base de las plantas (King y Saunders, 1984).

Elasmopalpus lignosellus puede ocasionar fallas en el establecimiento de gramíneas y leguminosas. Puesto que es una plaga de varios cultivos, las infestaciones de las pasturas pueden ser mayores si éstas se hallan cerca de los cultivos hospedantes. Se han observado daños en las plántulas de *A. gayanus* en Brasil.¹⁰

9. Lapointe, S. L. Información sin publicar.

10. Spain, J. M. Comunicación personal.

Conclusiones

Las plagas de las especies forrajeras que han recibido mayor atención en los trópicos han sido los depredadores de las gramíneas. De éstos, dos son de importancia económica; otras son plagas menores, de importancia ocasional o esporádica. Las especies de salivazos (*Cercopidae*) son la mayor limitante biótica de las pasturas constituidas por *Brachiaria* spp.; por consiguiente, se está haciendo un esfuerzo considerable para desarrollar cultivares resistentes de esta gramínea. Hasta la fecha, el control biológico del salivazo no ha sido efectivo.

Las hormigas arrieras de los géneros *Acromyrmex* y *Atta* son plagas serias, particularmente de la gramínea *Andropogon gayanus*. Algunas especies de *Atta* pueden causar también un daño severo a algunas leguminosas durante la germinación, como a las de los géneros *Centrosema* y *Stylosanthes*. Hasta el momento, la estrategia de control más efectiva ha sido la siembra de materiales resistentes, como *B. humidicola*, en las áreas infestadas con esas hormigas. El desarrollo de un cebo tóxico (de baja toxicidad para los mamíferos) es una alternativa promisorio, pero la relación costo-eficiencia de su uso en los sistemas de pastoreo extensivo debe ser verificada.

Con la introducción exitosa de leguminosas forrajeras en América Latina se espera un incremento en la incidencia del daño causado por las chizas (larvas de *Scarabaeidae*) y por otros insectos. El gusano de los botones (*Stegasta bosquella*) reduce el rendimiento de algunas especies de leguminosas, principalmente de *Stylosanthes*.

Dada la gran diversidad del germoplasma disponible, y los problemas asociados con algunos métodos de control de plagas, la estrategia más promisorio para manejar insectos plaga en las pasturas seguirá siendo la resistencia de las plantas hospedantes.

Referencias

- Barrientos, A. y Miret, R. 1979. Plagas y enfermedades. En: Funes, F. et al. (eds.). Los pastos en Cuba. Ministerio de Agricultura, La Habana, Cuba. p. 377-390.
- Borror, D. J.; De Long, D. M. y Triplehorn, C. A. 1981. An introduction to the study of insects. 5a. ed. Saunders College Publishing. 827 p.

- Byers, R. A. y Wells, H. D. 1966. Phytotoxemia of coastal bermudagrass caused by the two-lined spittlebug, *Prosapia bicincta* (Homoptera:Cercopidae). Ann. Entomol. Soc. Amer. 59(6):1067-1071.
- Calderón, M. y Arango, G. 1985. Insectos asociados con especies forrajeras en América tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 44 p.
- Carvalho, R. 1976. Lagarta das capinzais [*Mocis latipes* (Guenée, 1852)]: Primeira abordagem do problema. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Espírito Santo, Brasil. 24 p.
- Cherrett, J. M. 1968. The foraging behaviour of *Atta cephalotes* L. (Hymenoptera: Formicidae); 1: Foraging pattern and plant species attacked in tropical rain forest. J. Anim. Ecol. 37:387-403.
- _____. 1986. Chemical control and bait formulations for leaf-cutting ants. En: Lofgren, C. S. y van der Meer, R. K. (eds.). Fire ants and leaf-cutting ants; biology and management. Westview Press, Londres. p. 357-368.
- _____. y Peregrine, D. J. 1976. A review of the status of leaf-cutting ants and their control. Ann. Appl. Biol. 84:124-128.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1982. Descripción de las plagas que atacan los pastos tropicales y características de sus daños; gufa de estudio [complemento de la unidad audiotutorial]. Cali, Colombia. 50 p.
- _____. 1983. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia. 362 p.
- _____. 1988. Informe anual 1987; Programa de Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 45. Cali, Colombia. p. irr.
- Fennah, L. G. 1968. Revisionary notes of the new world genera of cercopid froghoppers (Homoptera: Cercopidae). Bull. Entomol. Res. 58:165-190.
- Ferrufino, A. 1985. Dinámica de población de cercópidos en dos especies de *Brachiaria*. Pasturas tropicales (CIAT) 7(2):11-13.
- _____. 1986. Entomofauna asociada con pasturas en Chipiriri, Bolivia. Pasturas tropicales (CIAT) 8(1):18-21.
- _____. y Lapointe, S. L. 1989. Host plant resistance in *Brachiaria* grasses to the spittlebug *Zulia colombiana*. Entom. Exp. Appl. 51:155-162.
- Fowler, H. G. y Robinson, S. W. 1977. Foraging and grass selection by the grass-cutting ant *Acromyrmex landolfi* (Forel) (Hymenoptera: Formicidae) in habitats of introduced forage grasses in Paraguay. Bull. Entomol. Res. 67:659-666.

- González, J.; Arregocés, O.; Hernández, R. y Parada, O. 1983. Insectos y ácaros plaga, y su control, en el cultivo de arroz en América Latina. Federación Nacional de Arroceros de Colombia (FEDEARROZ), Bogotá, Colombia. 60 p.
- Guagliumi, P. 1962. Contribuciones al estudio de la candelilla de las gramíneas en Venezuela; 4: Descripción de una nueva subespecie de *Aeneolamia flavilatera* (Urich) que ataca la caña de azúcar. Agron. Trop. 10(4):155-159.
- _____. 1970. Las plagas de la caña de azúcar en Venezuela. Monografía no. 2. Centro de Investigaciones Agronómicas, Ministerio de Agricultura y Cría, Maracay, Venezuela.
- Kard, B. M. R.; Hain, F. P. y Books, W. M. 1988. Field suppression of three white grub species (Coleoptera: Scarabaeidae) by the entomogenous nematodes *Steinernema feltiae* and *Heterorhabditis heliothidis*. J. Econ. Entomol. 81:1033-1039.
- King, A. B. S. y Saunders, J. L. 1984. Las plagas invertebradas de los cultivos anuales alimenticios en América Central: Una guía para su reconocimiento y control. Crown, Londres, Inglaterra. 182 p.
- Koller, W. W. y Valério, J. R. 1988. Efeito da remoção da palha acumulada ao nível do solo sobre a população de cigarrinhas (Homoptera: Cercopidae) em pastagens de *Brachiaria decumbens*. An. Soc. Entomol. Bras. 17(1):209-215.
- Maelzer, D. A. 1962. The emergence as a pest of *Aphodius tasmaniae* Hope (Scarabaeidae) in pastures in the lower south-east of South Australia. Aust. J. Zool. 10:95-112.
- Metcalf, Z. P. 1960. General catalogue of the Homoptera; Fascicle VII. Part 2: Cercopidae. Waverly, Baltimore, E. U. 607 p.
- _____. y Bruner, S. C. 1944. The Cercopidae of Cuba. J. Mitchell Society. v. 60.
- Miret, R. 1986. Grado de preferencia de *Mocis latipes* Guenée en cultivares de bermuda y pasto estrella. Pastos y Forrajes (Cuba) 9:37-42.
- Naves, M. A. 1980. As cigarrinhas das pastagens e sugestões para o seu controle. Circular técnica no. 3. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Brasília, Brasil. 27 p.
- Pinzón, B. 1984. Insectos en potreros de Panamá. En: Novoa, A. R. (ed.). Aspectos en la utilización y producción de forrajes en el trópico. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. p. 77-82.

- Posada, L.; de Polanía, I. Z.; de Arévalo, I. S.; Saldarriaga, A.; García, F. y Cárdenas, R. 1976. Lista de insectos dañinos y otras plagas en Colombia. 3 ed. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, Colombia. 484 p.
- Quisenberry, S. S. y Wilson, H. K. 1985. Consumption and utilization of bermuda grass by fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. J. Econ. Entomol. 78:820-824.
- Shenk, M. y Saunders, J. L. 1984. Vegetation management systems and insect responses in the humid tropics of Costa Rica. Trop. Pest Manage. 30(2):186-193.
- Silva, A. G. A. E. *et al.* 1968. Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil. Ministerio da Agricultura, Servicio de Defensa Sanitaria Vegetal, Rio de Janeiro. Tomo 1, p. 87-89.
- Silva, A. de B. 1982. Determinação de danos da cigarrinha-das-pastagens (*Deois incompleta*) a *Brachiaria humidicola* y *B. decumbens*. Circular técnica no. 27. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Umido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Pará, Brasil. 19 p.
- y Magalhaes, B. P. 1980. Insetos nocivos as pastagens no Estado do Pará. Boletim de pesquisa no. 8. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Umido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Pará, Brasil. 20 p.
- Toledo, J. M. y Nores, G. A. 1986. Tropical pasture technology for marginal lands of tropical America. Outlook Agric. 15(1):2-9.
- Urich, F. W. 1913. The frog hopper egg parasite (*Oligosita giraulti* Crawford) and its colonization in the cane fields. Circular no. 11. Board of Agriculture, Trinidad y Tobago. p. 5-9.
- Valério, J. R. 1985. Caracterização e avaliação do dano causado pelo adulto da cigarrinha-das-pastagens *Zulia entleriana* (Berg, 1879) em *Brachiaria decumbens* Stapf. cv. Basilisk. (Tesis, Doutor em Ciencias). Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil. 152 p.
- Valles, C. y van der Meer, F. 1975. El control químico de la hormiga "indanera" *Acromyrmex landolti* (Forel, 1884) (Hymenoptera: Formicidae), en pasto Castilla (*Panicum maximum* Jacq.). Informe técnico no. 20. Centro Regional de Investigación Agraria del Nororiente, Tarapoto, Perú. 9 p.
- Watts, J. G.; Huddleston, E. W. y Owens, J. C. 1982. Rangeland entomology. Annu. Rev. Entomol. 27:283-311.
- Withycombe, C. L. 1926. Studies on the aetiology of sugar cane frog hopper blight in Trinidad; 1: Introduction and general survey. Ann. Appl. Biol. 13:64-108.

Factores Climáticos y de Competencia que Afectan el Desarrollo de la Planta en el Establecimiento de una Pastura

Zdravko Baruch y Myles J. Fisher

Introducción

El establecimiento, crecimiento y desarrollo de las plantas que conforman una pastura están influenciados por el medio aéreo y edáfico, y por la competencia intraespecífica e interespecífica. Por tanto, para entender la respuesta de la comunidad del pastizal a las variables ambientales y a la competencia, es necesario entender primero esas respuestas en una planta individual.

El establecimiento de una plántula es la etapa más vulnerable en su ciclo de vida. En efecto, las reservas limitadas de la semilla que le dio origen, la baja capacidad fotosintética de las primeras hojas, y la ausencia de un sistema radicular bien desarrollado dificultan la absorción eficiente de agua y nutrimentos (Coyne y Bradford, 1985). Sin embargo, es posible seleccionar genéticamente ciertas características de la semilla y de la plántula, que mejoren el establecimiento de ésta (Johnson, 1986).

El crecimiento y el desarrollo de las plantas dependen de la actividad del sistema fotosintético, el cual se halla funcionalmente relacionado con el clima del habitat particular de las plantas gracias al flujo de energía, de agua, de dióxido de carbono, y de nutrimentos minerales del suelo (Gates, 1980). Además, la calidad de la luz, el fotoperíodo, y las fluctuaciones térmicas del ambiente regulan los procesos morfogénicos mediante su acción específica a nivel enzimático o de la actividad hormonal—o de ambos.

Zdravko Baruch es investigador del Departamento de Estudios Ambientales de la Universidad Simón Bolívar, Caracas, Venezuela. Myles J. Fisher es ecofisiólogo del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia.

Las plantas compiten entre sí por recursos del medio ambiente como el agua, los nutrimentos y la luz. Por lo tanto, la severidad de la competencia y el resultado de la misma están modulados por la disponibilidad de esos recursos. La competencia sobre el nivel del suelo se ejerce usualmente por la luz, como ocurre en el sombreado de las plantas pequeñas por las altas; la competencia subterránea, en cambio, es por agua y nutrimentos, y es probablemente más importante que la primera, aunque más difícil de cuantificar.

La radiación solar y la temperatura altas, y relativamente uniformes, durante todo el año caracterizan los climas tropicales. Sin embargo, el régimen de lluvias es ampliamente variable en esa zona; por tanto, el exceso o la deficiencia de agua son, generalmente, las mayores limitantes de la vida de las plantas en los trópicos porque reducen notablemente su capacidad de crecimiento y de reproducción.

En su mayor parte, los estudios ecofisiológicos han sido enfocados hacia las respuestas y adaptaciones de las plantas a elementos ambientales aislados, como la luz, la temperatura o la sequía. Ahora bien, es necesario comprender que, en condiciones naturales, las plantas enfrentan múltiples exigencias o estreses ambientales simultáneamente, y que los efectos de la interacción entre esos estreses son probablemente mayores que su simple adición (Billings, 1970; Chapin et al., 1987).

La mayor parte de la literatura sobre las relaciones planta-ambiente y planta-planta proviene de las zonas templadas, y la escasa literatura disponible en el trópico sobre esos temas se encuentra muy dispersa en revistas e informes gubernamentales de difícil acceso. El objetivo de este trabajo es discutir algunos factores ambientales y de competencia relacionados con el desarrollo—y crecimiento—de las plantas que intervienen en el establecimiento de una pastura tropical.

Agua

La cantidad, frecuencia e intensidad de la precipitación pluvial son cruciales en la distribución de las plantas sobre la tierra. La importancia ecológica del agua deriva de su gran efecto en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que actúa en ellas como constituyente,

solvente, reaccionante, responsable del turgor celular, y reguladora de su temperatura.

El agua es limitante tanto por defecto como por exceso. La deficiencia de agua, o sea, la sequía, puede definirse como una combinación del suministro restringido de agua y de la alta tasa de evaporación característica de los ecosistemas tropicales durante una parte del año. La inundación, o exceso de agua, ocurre generalmente en los suelos mal drenados durante la estación lluviosa, o en las regiones donde la precipitación es alta durante todo el año, como ocurre en el trópico húmedo.

Efectos de la sequía

La sequía causa un déficit hídrico. Este afecta el comportamiento de las plantas a nivel celular, fisiológico y morfológico, disminuye la tasa de crecimiento, y retarda el desarrollo de la planta. Existe, sin embargo, un amplio rango de grados de susceptibilidad al estrés hídrico y de efectos causados por él, que dependen (Figura 1) del proceso involucrado, de la intensidad del estrés, y de las características de la planta (Hsiao et al., 1976; Bradford y Hsiao, 1982).

En general, los estomas moderan la pérdida excesiva de agua a la vez que optimizan la fotosíntesis (Schulze y Hall, 1982). Pueden lograrlo de diferente manera, ya sea respondiendo al estado hídrico de la planta o a las condiciones externas. En el primer caso, el cierre estomático ocurre cuando la planta ha estado expuesta a cierta desecación del tejido foliar. Esta respuesta ocurre, en algunas especies, solamente después de ciertos valores umbrales, mientras que en otras especies el cierre estomático comienza inmediatamente después de disminuir el turgor celular (Ludlow y Ng, 1976; Ludlow, 1980). Existe una gran variabilidad en las gramíneas en cuanto a la respuesta estomática a la sequía. Por ejemplo, y bajo condiciones de campo, *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa* son menos sensibles a la sequía que *Panicum maximum* (Jones et al., 1980).

Las respuestas que den a los factores externos les permiten a las plantas evadir la pérdida de agua de sus hojas. Una de tales respuestas

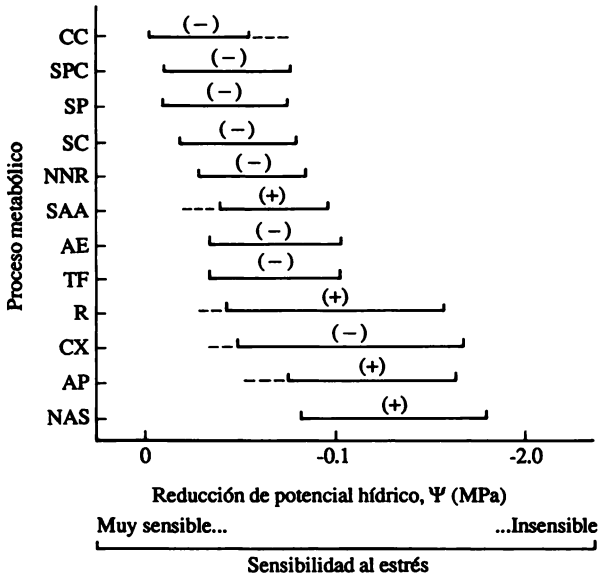


Figura 1. Influencia del estrés hídrico expresada como reducción del potencial hídrico (Ψ) necesario para afectar algunos procesos metabólicos de las plantas mesófitas. CC = crecimiento celular; SPC = síntesis de la pared celular; SP = síntesis de proteínas; SC = síntesis de clorofila; NNR = nivel de nitrato reductasa (proceso de acumulación); SAA = síntesis del ácido abscísico; AE = apertura estomática; TF = tasa fotosintética; R = respiración; CX = conductancia xilemática; AP = acumulación de prolina; NAS = nivel de azúcares libres (proceso de acumulación); (-) = efecto negativo; (+) = efecto positivo.

FUENTE: Hsiao et al. (1976).

es el cierre estomático cuando baja la humedad atmosférica, como hacen *Macroptilium atropurpureum* (Sheriff y Kaye, 1977), *Hyparrhenia rufa*, *Melinis minutiflora* y *Trachypogon plumosus* (Baruch et al., 1985). En otras especies, como *A. gayanus*, no se produce cierre estomático cuando baja la humedad del aire (El-Sharkawy et al., 1984). En algunas plantas los estomas se cierran a medida que se seca el suelo, como ocurre en el trigo (Passioura, 1986; Davies et al., 1986). Es posible entonces que este mecanismo propio de una gramínea se encuentre también en algunas especies forrajeras tropicales. Se sabe que el cierre de los estomas por cambios externos, como la humedad del aire o del suelo, está controlado por la acción de la hormona ácido abscísico (Cowan, 1982), aunque todavía no se ha hallado un método para aprovechar estos efectos con fines agrícolas.

Algunas especies, como *Cenchrus ciliaris*, *P. maximum* y *Heteropogon contortus*, son capaces de ajustar el comportamiento estomático a medida que aumenta el estrés hídrico (Ludlow et al., 1983). Se ha sugerido que este mecanismo permite a la planta mantener cierto grado de turgor y un relativo crecimiento a medida que avanza el período de sequía. Sin embargo, las ganancias en términos productivos son bajas y han sido puestas en duda recientemente (Munns, 1988).

Los déficit hídricos severos afectan el desarrollo—y el crecimiento—de las plantas, porque reducen la tasa fotosintética y, en casos extremos, causan desajustes en el aparato fotosintético. El estrés hídrico afecta también el desarrollo de la planta porque retarda el envejecimiento y la ontogenia de gramíneas como *P. maximum* (Wilson y Ng, 1975), o porque acelera la floración y la producción de semillas, como en la leguminosa *Stylosanthes humilis* (Fisher y Campbell, 1977); en esta misma especie redujo la concentración de P y N (Fisher, 1980).

Los demás procesos metabólicos de la planta pueden estar afectados de manera similar por la sequía, que reduce, por ejemplo, la tasa de traslocación de nutrimentos, y aumenta notablemente el catabolismo de las proteínas. Este último efecto se deduce de los altos niveles de prolina y betaína que generalmente se encuentran en los tejidos de plantas sometidas a estrés hídrico (Jones, 1985).

La germinación de la semilla y el desarrollo de la plántula son procesos especialmente susceptibles a la sequía. Por tanto, es posible suponer que muchas especies forrajeras, adaptadas a regiones tropicales donde hay períodos estacionales de sequía, posean mecanismos de dormencia o de posmaduración que inhiban la germinación inmediata y la pospongan hasta las próximas lluvias. Tal es el caso de *Themeda triandra* (Mott, 1978) y de varias especies de *Stylosanthes* (McKeon y Mott, 1984) en Australia. La germinación de la semilla y la emergencia de la plántula también son afectadas por la textura y la estructura del suelo, porque estas dos propiedades modifican la disponibilidad de agua (Winkworth, 1969).

Respuestas adaptativas a la sequía

Como ocurre con las respuestas adaptativas a otros estímulos ambientales, las plantas responden a la sequía a nivel de la célula, del

organismo, de la población, y de la comunidad. A nivel del organismo, las respuestas de las plantas a la sequía se han clasificado como de escape, de evasión y de tolerancia (Kramer, 1980).

Escapar a la sequía es una característica de las plantas anuales que cumplen su ciclo de vida durante la estación favorable, y producen semilla antes de que se agote la provisión de agua en el suelo, como ocurre con *S. humilis* (Fisher y Ludlow, 1984).

La respuesta de tipo evasivo incluye modificaciones estructurales y fisiológicas. Entre las primeras está el aumento en la profundidad y extensión de las raíces que aprovecharán así el agua contenida en un mayor volumen de suelo. Tal es el caso de *Stylosanthes humilis* (Torrsell, 1976) y de *M. atropurpureum* (Peake et al., 1975). En general, las gramíneas tienen raíces más superficiales que las leguminosas; Sheriff et al. (1986) lo comprobaron comparando las de *C. ciliaris* con las de *M. atropurpureum*.

Los movimientos foliares son otra respuesta de tipo evasivo. La hoja se orienta paralelamente a los rayos solares, disminuyendo así la temperatura foliar y la tasa de transpiración, como ocurre en *M. atropurpureum* (Begg, 1980), en *H. rufa*, y en *M. minutiflora* (Baruch et al., 1989).¹ La reducción del área foliar por senescencia o abscisión también reduce la pérdida de agua; este tipo de evasión se ha encontrado en *H. rufa*, *M. minutiflora*, y *Trachypogon* spp.² y en leguminosas como *M. atropurpureum* y *S. humilis* (Fisher y Ludlow, 1984). Un control estomático preciso es otra respuesta evasiva, que es muy efectiva en *M. atropurpureum* (Ludlow e Ibaraki, 1979; Fisher, 1982) y en algunas gramíneas tropicales (Ludlow et al., 1985).

La tolerancia a la sequía o a la deshidratación implica mecanismos fisiológicos y el mantenimiento de cierto grado de actividad metabólica a bajos potenciales hídricos foliares. La tolerancia a la deshidratación se puede cuantificar tomando como base el potencial hídrico foliar al cual se marchita la última hoja de la planta (Ludlow, 1980). Muchas gramíneas tropicales toleran la sequía, y hay entre ellas, al

1. Baruch et al. Información adicional sin publicar.

2. Baruch y Fernández. Información sin publicar.

parecer, relativamente poca variación atribuible a su habitat de origen o a la ruta fotosintética que posean (Cuadro 1). Por su parte, las leguminosas forrajeras son más variables que las gramíneas respecto a la tolerancia a la sequía.

Cuadro 1. Tolerancia a la deshidratación (TD) y ajuste osmótico máximo (AOM) en gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales.

Especie	TD (MPa)	AOM (MPa)
Leguminosas		
<i>Macroptilium atropurpureum</i> ^a cv. Siratro	-2.3	0.2-0.3
<i>Rhynchosia minima</i> ^a	-3.8	0.2
<i>Stylosanthes humilis</i> ^a cv. Patterson	-6.5	0.9
<i>Centrosema pubescens</i> ^a cv. Belalto	-8.2	0.5
<i>Stylosanthes guianensis</i> ^a cv. Oxley	-10.4	1.0
<i>Centrosema pascuorum</i> ^a CPI 55697	-12.1	0.6
<i>Stylosanthes hamata</i> ^a cv. Verano	-12.5	0.8
Gramíneas		
<i>Heteropogon contortus</i>	-13.0 ^b	0.4 ^c
<i>Panicum maximum</i> var. <i>trichoglume</i>	-13.0 ^b	0.5 ^c
<i>Cenchrus ciliaris</i> cv. <i>Biloela</i>	-13.0 ^b	0.7 ^c
<i>Axonopus compressus</i> ^d	-13.0	1.4
<i>Melinis minutiflora</i> ^d	-13.0	1.1
<i>Setaria sphacelata</i> ^d cv. Nandi	-10.7	0.7
<i>Brachiaria decumbens</i> ^d	-13.0	0.9
<i>Brachiaria mutica</i> ^d	-12.5	1.0
<i>Chloris gayana</i> ^d	-13.0	0.7
<i>Trachypogon plumosus</i> ^d	-11.6	1.6
<i>Hyparrhenia rufa</i> ^d	-12.2	0.9
<i>Andropogon gayanus</i> ^d	-13.0	1.0

a. Fisher y Ludlow (1984).

b. Ludlow (1980).

c. Wilson et al. (1980).

d. Baruch, Z.; Ludlow, M. M. y Wilson, J. R. Información sin publicar.

Las plantas tolerantes a la sequía hacen generalmente un ajuste osmótico, que consiste en una disminución progresiva del potencial osmótico foliar—por aumento en la concentración de solutos o por cambios estructurales—a medida que aumenta el estrés hídrico. Este

mecanismo permite el mantenimiento parcial del turgor celular a potenciales hídricos bajos, y cierto grado de actividad en la planta ya que se mantienen parcialmente la capacidad de absorción de agua y la apertura estomática. Las leguminosas forrajeras tropicales, por su parte, tienen una amplia variación en su capacidad de ajuste osmótico (Ludlow, 1978; Fisher y Ludlow, 1984). Actualmente, la contribución del ajuste osmótico a la tolerancia a la sequía en las plantas no se considera tan importante como en el pasado (Wilson y Ludlow, 1983, Munns, 1988).

Hay evidencias de que la respuesta a la sequía de las especies forrajeras tropicales perennes es efecto de una combinación de estrategias de tipo evasivo y de tolerancia. En *H. rufa* predominan las respuestas evasivas y en *Trachypogon plumosus* las de tolerancia.³ Otro ejemplo es la asociación de *C. ciliaris* y *M. atropurpureum* en pasturas de Australia. En este caso, la gramínea es capaz de sobrevivir a la sequía gracias a su mayor tolerancia a la deshidratación, mientras que la leguminosa sobrevive gracias a mecanismos de evasión y a que no compite con la gramínea por el agua del suelo porque las raíces de una y otra se desarrollan a diferente profundidad (Sheriff y Ludlow, 1984).

Inundación

Las sabanas inundables del trópico americano son un importante recurso forrajero ya que su extensión es considerable. Muchas gramíneas semiacuáticas son importantes en la sabana inundable, y algunas como *Leersia hexandra* e *Hymenachne amplexicaulis* tienen un valor especial; son, en efecto, gramíneas C3 que poseen mayor digestibilidad que las gramíneas C4 típicas de las sabanas tropicales bien drenadas (González-Jiménez y Escobar, 1977).

Los efectos de la inundación y la respuesta de las plantas a los excesos de agua en el suelo no han sido tan ampliamente estudiados como los de la sequía. El exceso de agua, o inundación, causa anoxia a nivel de las raíces, la cual afecta el desarrollo del resto de la planta. Se ha propuesto que las diferencias en tolerancia a la inundación de las

3. Baruch y Fernández. Información sin publicar.

plantas se deben, en parte, a la actividad de la enzima alcohol deshidrogenasa—que inactiva el etanol producido en la respiración anaeróbica—y a la capacidad de las células de tolerar altas concentraciones de alcohol (McMannon y Crawford, 1971). Muchos efectos de la inundación tienen un intermediario en la producción y acumulación de etileno.

Respuestas de tipo evasivo a la inundación, en ciertas plantas, son la producción de aerénquima en tallos y raíces, y el desarrollo de raíces adventicias; una y otro contribuyen a la aireación de la planta, como ocurre en las gramíneas *B. mutica* y *Echinochloa polystachya*⁴ y en otras especies (Humphreys, 1981).

Los efectos negativos del exceso de agua en el crecimiento de los pastos aumentan con la profundidad de la inundación en el suelo y con la duración de ésta. Las aguas en movimiento disminuyen los daños de la inundación (Humphreys, 1981). La tolerancia a la inundación varía entre especies forrajeras tropicales siendo, en general, las gramíneas más tolerantes que las leguminosas (Cuadro 2). Es más, hasta los diferentes ecotipos de *C. ciliaris* presentan diversos grados del daño causado por la inundación (Anderson, 1974).

Temperatura

Las tasas de las reacciones químicas sencillas aumentan exponencialmente con la temperatura. Sin embargo, la mayoría de las reacciones químicas de las plantas tienen un óptimo térmico característico, y se desaceleran tanto a las temperaturas superiores al óptimo como a las inferiores a él. Esto se debe, en primera instancia, a que la actividad enzimática y la integridad de las membranas celulares son afectadas por temperaturas extremas. El óptimo térmico para el crecimiento y el desarrollo de la planta resulta de la integración de las diferentes respuestas térmicas de procesos fisiológicos concurrentes. Por su parte, la temperatura de la planta, en un momento dado, es el resultado del equilibrio entre la radiación neta absorbida y la disipada por transpiración y convección.

4. Baruch. Información sin publicar.

Cuadro 2. Tolerancia a la inundación de algunas gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales.

Buena tolerancia	Moderada tolerancia	Poca tolerancia
Gramíneas		
<i>Brachiaria mutica</i> ^b	<i>Pennisetum clandestinum</i> ^d	<i>Brachiaria ruziziensis</i> ^d
<i>Panicum coloratum</i> ^d	<i>Pennisetum purpureum</i> ^d	<i>Panicum maximum</i> ^d
<i>Digitaria decumbens</i> ^d	<i>Brachiaria decumbens</i> ^d	<i>Melinis minutiflora</i> ^d
<i>Setaria anceps</i> ^d	<i>Chloris gayana</i> ^d	<i>Andropogon gayanus</i> ^b
<i>Leersia hexandra</i> ^a	<i>Cenchrus ciliaris</i> ^c	<i>Hyparrhenia rufa</i> ^b
<i>Panicum laxus</i> ^a		
<i>Hymenachne amplexicaulis</i> ^a		
<i>Echinochloa polystachya</i> ^b		
Leguminosas		
<i>Macroptilium atropurpureum</i> ^c	<i>Macroptilium atropurpureum</i> ^c	<i>Neonotonia wightii</i> ^c
	<i>Centrosema pubescens</i> ^c	<i>Leucaena leucocephala</i> ^c
	<i>Desmodium intortum</i> ^c	<i>Stylosanthes humilis</i> ^c
	<i>Pueraria phaseoloides</i> ^c	
	<i>Stylosanthes guianensis</i> ^f	

a. González-Jiménez y Escobar (1977).

b. Baruch. Datos no publicados.

c. Anderson (1974).

d. Whiteman (1980).

e. Humphreys (1981).

f. McIvor (1976).

La planta puede modificar activamente su temperatura, dentro de ciertos límites, por medio de respuestas morfológicas y fisiológicas que afectan su balance energético (Gates, 1980; Nobel, 1983). La respuesta de las plantas a la temperatura depende de su estado de desarrollo y del ambiente térmico anteriormente experimentado. Cada especie posee sus temperaturas cardinales (mínimo, óptimo y máximo) bien definidas que pueden ser parcialmente modificadas por la aclimatación.

En los trópicos, la temperatura, por sí sola, rara vez afecta la actividad de la planta, siempre y cuando la sequía no sea un factor adicional. Sin embargo, en las áreas subtropicales y áridas, tanto las temperaturas altas como las bajas restringen la supervivencia, y la producción, de ciertas especies forrajeras (Whiteman, 1980).

La materia prima para el crecimiento, y el desarrollo, de una planta proviene del equilibrio entre la fotosíntesis y la respiración, procesos

que aumentan con la temperatura. La respiración es más sensible a la temperatura, por lo que el crecimiento es menor a temperaturas superiores a la óptima. En general, el óptimo térmico de ambos procesos está relacionado con la temperatura promedio del habitat de origen de la especie vegetal. Para muchas gramíneas tropicales, el óptimo fotosintético está (Figura 2 y Cuadro 3) alrededor de 39 °C (Ludlow y Wilson, 1970; Baruch et al., 1985). Si bien las leguminosas tropicales no han sido estudiadas con igual detenimiento que las gramíneas, se sabe que tienen temperaturas óptimas para la fotosíntesis y el crecimiento relativamente menores (25-30 °C) que las de las gramíneas (Figura 3 y Cuadro 3). Sin embargo, las temperaturas mínimas para la fotosíntesis (Cuadro 3) son similares en ambos grupos de plantas.

En general, las especies forrajeras tropicales son más tolerantes a las altas temperaturas que a las bajas, si las comparamos con las especies de las zonas templadas. Por otra parte, la aclimatación térmica puede

Cuadro 3. Temperaturas óptima, máxima y mínima para la fotosíntesis neta en leguminosas y gramíneas forrajeras tropicales.

Especie	Temperatura		
	Mínima	Óptima	Máxima
Gramíneas			
<i>Cenchrus ciliaris</i> ^a	6.0	39.0	61.0
<i>Pennisetum purpureum</i> ^a	6.7	36.7	58.5
<i>Panicum maximum</i> cv. Hamil ^a	9.7	37.5	58.3
<i>Brachiaria ruziziensis</i> ^a	8.5	37.8	55.8
<i>Sorghum alnum</i> ^a	5.0	38.3	57.3
<i>Trachypogon plumosum</i> ^b	—	35.0	—
<i>Melinis minutiflora</i> ^b	—	35.0	—
<i>Hyparrhenia rufa</i> ^b	—	39.0	—
Leguminosas			
<i>Calopogonium mucunoides</i> ^a	6.7	33.7	50.7
<i>Glycine wightii</i> ^a	5.0	30.8	50.5
<i>Macroptilium atropurpureum</i> ^a	6.2	30.2	50.2
<i>Vigna luteola</i> ^a	7.5	31.2	49.0

a. Ludlow y Wilson (1970).

b. Baruch et al. (1985).

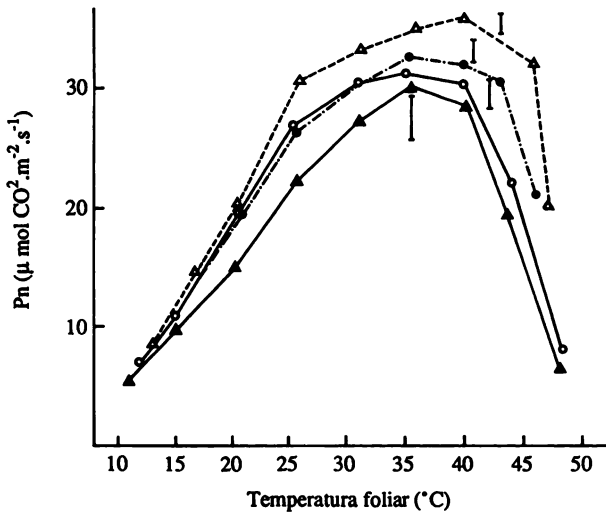


Figura 2. Relación entre la tasa de fotosíntesis neta (Pn) y la temperatura foliar en *Hyparrhenia rufa* (Δ), *Melinis minutiflora* ($\bullet$) y en dos poblaciones de *Trachypogon plumosus* ($\circ$, $\blacktriangle$). Las mediciones se hicieron en $1600 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ y a presión parcial atmosférica de CO_2 y O_2 .

FUENTE: Baruch et al. (1985).

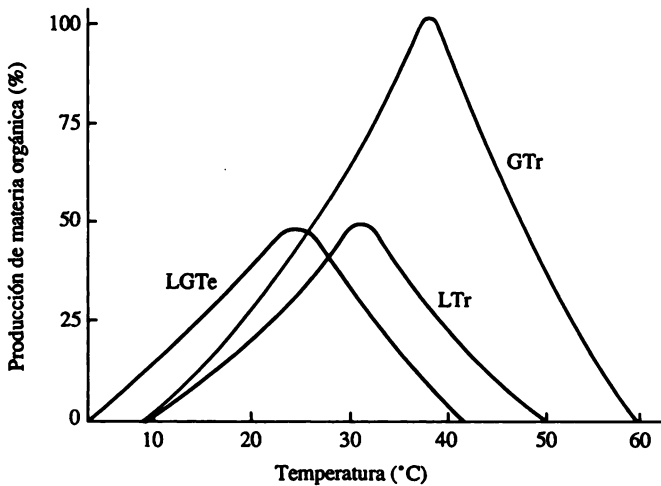


Figura 3. Representación esquemática del efecto de la temperatura en la producción de materia orgánica, en pastos de origen y ruta fotosintética diferentes. LGTe = leguminosas y gramíneas de zonas templadas (C3); LTr = leguminosas tropicales (C3); GTr = gramíneas tropicales (C4).

FUENTE: Whiteman (1980).

afectar el valor de la tasa fotosintética máxima y la relación temperatura-fotosíntesis. Tanto la temperatura óptima de ese proceso como el punto superior de compensación térmica (temperatura a la cual la fotosíntesis iguala a la respiración) son desplazadas a menudo en la dirección de la temperatura de aclimatación (Patterson, 1980). La capacidad de aclimatación térmica de la fotosíntesis es importante en aquellas especies forrajeras que experimentan variaciones considerables de temperatura durante su ciclo de vida.

Los cambios de temperatura, usualmente acompañados por cambios en el fotoperíodo, actúan como estímulos activadores o desactivadores de la germinación y la floración, y son más evidentes en los hábitats donde hay amplias fluctuaciones térmicas. Los síntomas visuales causados por extremos térmicos son variados y numerosos, mientras que la adaptación y la aclimatación son procesos que ocurren en una escala de tiempo diferente, y pueden impedir o moderar los efectos del estrés térmico o alterar la sensibilidad de la planta a ese estrés. A nivel celular, los daños de los extremos térmicos se deben básicamente a la inactivación enzimática o a la alteración de la permeabilidad de las membranas celulares, o a ambos fenómenos (Steponkus, 1981).

Temperaturas bajas

En las especies forrajeras sensibles a la temperatura baja, los efectos negativos en el crecimiento ocurren entre 0 y 15 °C, y en algunas especies tropicales pueden observarse aun a 20 °C. Los efectos de las bajas temperaturas se traducen en marchitamiento, reducción del crecimiento, fallas en la germinación de la semilla—y en la reproducción—y muerte de los tejidos. Los daños dependen de cuán baja sea la temperatura y del tiempo de exposición a ella, que varían considerablemente entre las especies vegetales y según el estado de desarrollo de éstas (McWilliam, 1978).

Además de la reducción directa de la tasa fotosintética y del crecimiento, el frío interfiere en el control estomático y reduce la conductividad hidráulica de las raíces, efectos que ocasionan severo estrés hídrico (Jones, 1985). La clorosis es común a bajas temperaturas, y se debe a la reducción en la síntesis de clorofila y de caroteno (McWilliam, 1978). La acumulación de almidón en los cloroplastos es

otro efecto del frío, y es una consecuencia del retardo en la traslocación de metabolitos y de la disminución de la actividad amilolítica.

Esta acumulación limita el crecimiento y produce daños físicos en los cloroplastos (Humphreys, 1981). La síntesis y el transporte de hormonas, principalmente de giberelinas, también resultan afectados por las bajas temperaturas, lo que causa retardos en el crecimiento (Jones, 1985).

De las gramíneas tropicales, las más tolerantes al frío son *Chloris gayana* y *Pennisetum clandestinum*; las siguen *Paspalum dilatatum*, *Panicum maximum* var. *trichoglume* y *Setaria anceps* cv. Nandi. *Cenchrus ciliaris*, *Urochloa mosambicensis* y *P. maximum* var. Hamil son las más sensibles al frío (Mannetje y Pritchard, 1974). De las leguminosas, *Lotononis bainesii* es la más tolerante al frío; la siguen *Desmodium intortum*, *Neonotonia wightii*, *M. atropurpureum*, *Pueraria phaseoloides*, *S. humilis* y *S. guianensis*. *Centrosema pubescens* es la más sensible al frío (Mannetje y Pritchard, 1974).

Se ha intentado explicar la tolerancia al frío de ciertas especies forrajeras como una función de la estabilidad térmica de las enzimas, y de las características estructurales de las membranas celulares. Ciertos factores morfológicos de las plantas son también importantes para explicar la tolerancia al frío. La capacidad de algunas especies de sobrevivir cuando la temperatura es baja se debe a que sus puntos de crecimiento se hallan debajo de la superficie del suelo, y están así protegidos del frío (Clements y Ludlow, 1977).

Los bajos potenciales osmóticos reducen los daños causados por la temperatura baja, porque disminuyen la temperatura de congelación de los líquidos celulares. De este modo, las plantas sometidas a estrés hídrico deberían tolerar mejor el frío que las plantas bien regadas. La pubescencia foliar y el rocío que se forma sobre las hojas también contribuyen a minimizar los daños que causarían las bajas temperaturas.

Por último, algunos factores externos influyen también en la tolerancia al frío. Las hojas de *M. atropurpureum*, cuando la planta está en crecimiento en un suelo cubierto por una capa de materia orgánica, mueren por efecto de la congelación; en cambio, las hojas de esta leguminosa sembrada en suelo desnudo no sufren los efectos de las bajas

temperaturas. Aparentemente, la materia orgánica muerta impide que la radiación térmica del suelo caliente las hojas (Ludlow y Fisher, 1976).

Temperaturas altas

En las regiones tropicales, la temperatura promedio del aire durante el día raramente alcanza los 35 °C, y la temperatura foliar apenas sí sobrepasa los 40 °C (Ludlow, 1978).⁵ Por esta razón, el estrés térmico a altas temperaturas, por sí solo, posiblemente tenga escasa importancia. Sin embargo, en condiciones naturales, los efectos de las altas temperaturas están asociados, generalmente, con los del estrés hídrico a través del aumento de la transpiración.

A nivel celular, las altas temperaturas inhiben tanto la síntesis de RNA como la fotosíntesis, a causa de la inactivación de varias enzimas que actúan en la fijación del carbono (Bjorkman et al., 1980). Un aumento paralelo en las tasas de respiración y de fotorespiración resulta en considerables disminuciones del carbono asimilado.

Las altas temperaturas que se registran en la superficie de los suelos cuya vegetación ha sido quemada pueden inhibir la germinación de las raíces y el crecimiento de las plántulas de especies de *Stylosanthes* (Mott et al., 1976). En *A. gayanus* el desarrollo fenológico se acelera cuando hay altas temperaturas (Tompsett, 1976). La digestibilidad in vitro de *P. maximum* disminuye cuando aumenta el porcentaje de carbohidratos estructurales de las hojas, puesto que el desarrollo fisiológico se acelera cuando la temperatura es alta (Wilson y Ng, 1975; Wilson et al., 1976). Sin embargo, la sequía y la anatomía foliar típica de las plantas C4 también contribuyen, cuando se asocian, a reducir la digestibilidad de la planta (Wilson y Hacker, 1987).

La estrategia de escape de las altas temperaturas es también común en las plantas anuales; en efecto, disipan el calor por transpiración, lo que les ayuda a mantener el equilibrio térmico. El tamaño reducido de las hojas de ciertas especies facilita la disipación de calor por convección. Los movimientos foliares también reducen el calentamiento

5. Baruch y Fernández. Información sin publicar.

porque disminuyen la incidencia de la radiación solar, como ocurre en *S. humilis* (Begg, 1980) y en *M. atropurpureum* (Fisher, 1982). El recubrimiento de las hojas con ceras y pubescencia aumenta el coeficiente de reflectancia foliar (Ehleringer et al., 1976; Richards et al., 1986), efecto que contribuye a reducir más la temperatura.

Luz

Por medio de la fotosíntesis, la intensidad de la radiación solar afecta el desarrollo y el crecimiento de las plantas autótrofas. La calidad y la periodicidad de la luz influyen en el desarrollo de las plantas porque estimulan o reprimen la germinación, la floración, los movimientos de la planta, y otros fenómenos. La percepción del estímulo luminoso se realiza mediante un fotoreceptor adecuado, como la clorofila, el caroteno o el fitocromo, que son sensibles a diferentes longitudes de onda.

Los habitat terrestres presentan un amplio rango de intensidades y calidades luminosas que dependen, tanto de los ciclos diarios y estacionales, como de gradientes espaciales específicos. Cuando la concentración de CO₂, el suministro de agua y de nutrimentos, y la temperatura no son limitantes, la tasa fotosintética es directamente proporcional—dentro de ciertos límites—a la radiación absorbida por la hoja, o sea, aquélla de longitud de onda entre 400 y 700 nm. Es posible distinguir claramente las plantas adaptadas a condiciones de ‘sol’ y aquéllas adaptadas a condiciones de ‘sombra’; efectivamente, la capacidad fotosintética de las últimas es mucho menor, y el proceso se puede saturar a niveles tan bajos como el 5% de la máxima radiación solar (Figura 4). El estudio de estas plantas permite entender las características que contribuyen a la adaptación de especies forrajeras a condiciones de sombra, la cual es importante en sistemas agro-silvo-pastoriles.

La mayoría de las especies forrajeras tropicales son plantas de ‘sol’, y el sistema fotosintético de las gramíneas C₄ no se satura ni con la máxima radiación solar (Figura 5). Sin embargo, tanto las gramíneas como las leguminosas tropicales pueden aclimatarse a niveles bajos de luz. *Panicum maximum*, por ejemplo, puede comportarse como planta de sombra (Ludlow y Wilson, 1970). Las plantas de sombra, en cambio, no son capaces de responder a las altas intensidades de radiación ya que están fotoinhibidas (Bjorkman, 1981).

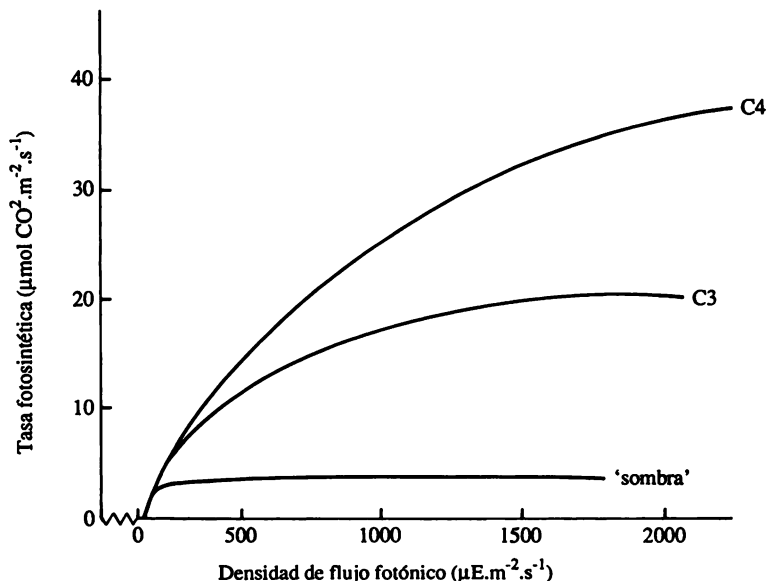


Figura 4. Representación esquemática de la respuesta fotosintética a la densidad del flujo fotónico, según el habitat ('sombra') y el tipo de ruta fotosintética de la planta.

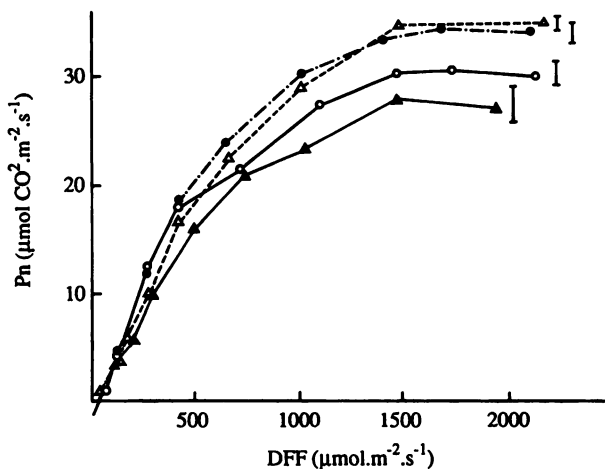


Figura 5. Relación entre la tasa de fotosíntesis neta (Pn) y la densidad del flujo fotónico (DFF) en *Hyparrhenia rufa* (Δ), en *Melinis minutiflora* ($\bullet$), y en dos poblaciones de *Trachypogon plumosus* ($\circ$, $\blacktriangle$). Las mediciones fueron hechas a 32 °C y a presión parcial atmosférica de CO_2 y O_2 .

FUENTE: Baruch et al. (1985)

A altas intensidades de radiación, y por razones bioquímicas y anatómicas, las plantas C4 fotosintetizan más por unidad de radiación absorbida que las plantas C3. Por las mismas razones, las plantas C4 son fotosintéticamente superiores a las plantas C3 a altas temperaturas (35-40 °C), pero inferiores a ellas cuando la temperatura está por debajo de los 30 °C. Esto permite explicar por qué rara vez se encuentran plantas C4 en los habitat sombreados y a bajas temperaturas. Este comportamiento tiene implicaciones en las pasturas tropicales en que se asocian leguminosas de ruta fotosintética C3 y gramíneas de tipo C4.

Estrés por sombreado

En una pastura, la intensidad luminosa disminuye exponencialmente desde las hojas más elevadas hasta la superficie del suelo. Por otra parte, la intensidad luminosa depende del índice de área foliar, de la elevación del sol, de la estructura de los estratos foliares, del estado de desarrollo de las plantas, y de las especies consideradas (Ludlow, 1978). El éxito de una planta en la pastura dependerá de su capacidad de crecer a mayor altura o de apoyarse en sus competidores y enrollarse en ellos; así lo hacen algunas leguminosas como *M. atropurpureum*, *Centrosema* spp. y *Pueraria phaseoloides*.

En ausencia de otros estreses ambientales, las gramíneas son, aparentemente, más sensibles al sombreado que las leguminosas. Sin embargo, con niveles de nitrógeno bajos o moderados, algunas gramíneas parecen ser menos susceptibles a la sombra que las leguminosas. El sombreado estimula, aparentemente, la absorción de nitrógeno en las gramíneas y, por ende, su crecimiento, pero no causa ese efecto en las leguminosas (Wong y Wilson, 1980; Wilson et al., 1986; Navarro y McKersie, 1983). En las leguminosas sometidas a baja radiación solar se reduce la fijación de N, ya que el proceso de nodulación está controlado por el sistema del fitocromo. Asimismo, en *A. gayanus* el sombreado induce un mayor tamaño foliar y mayor biomasa total (Toledo y Fisher, 1989).

Fotoinhibición

La fotoinhibición, o sea, el daño que sufre el aparato fotosintético por una deficiente disipación de la energía radiante, ocurre cuando plantas

adaptadas a la sombra son expuestas a altas intensidades luminosas, o cuando las plantas que sufren estrés hídrico son sometidas a temperaturas y radiaciones luminosas altas (Bjorkman, 1981).

La fotoinhibición no suele ocurrir en condiciones naturales, ya que la fotosíntesis y otros mecanismos disipadores de energía protegen la hoja del exceso de radiación solar. Se ha propuesto además que las plantas C4 deben ser menos sensibles a la fotoinhibición, ya que la anatomía Kranz facilita un mayor ciclaje interno de CO₂ que consume gran parte de la energía solar (Bjorkman, 1981). Sin embargo, es posible que la fotoinhibición sea una limitación importante del crecimiento en las plántulas de especies forrajeras tropicales, ya que éstas experimentan además dos efectos negativos: uno, el escaso desarrollo de las raíces, que puede ocasionar estrés hídrico, y otro, las altas temperaturas que ocurren a nivel del suelo.

El control estomático, y el tamaño de las hojas, sus movimientos, y la reflectancia que poseen son algunos de los mecanismos de evasión que han sido considerados como respuestas efectivas de la planta a la fotoinhibición. Como mecanismos de tolerancia se han propuesto diversos ajustes y grados de aclimatación que aún se comprenden imperfectamente (Ludlow, 1987).

Otros efectos de la luz

En la germinación. En muchas especies, la germinación es promovida o inhibida por la luz; así se garantiza que la semilla germina sólo si está en el ambiente adecuado. La actividad del fitocromo sirve de intermediaria de esta respuesta, porque forma parte de la relación Pr/Pfr—relación entre el rojo y el infrarojo que recibe la semilla en el suelo—e interviene en la intensidad de sombreado de la vegetación adyacente, y en el fotoperíodo. En la mayor parte de las gramíneas tropicales, la germinación es promovida por la luz; los ejemplos específicos, estudiados por Prodonoff en 1970, son los siguientes: *C. gayana*, *M. minutiflora*, *P. dilatatum* y *Setaria anceps* (Humphreys, 1981).

En la floración. El fotoperíodo varía poco en el trópico. No obstante, muchas especies forrajeras tropicales responden a diferencias en fotoperíodo de sólo 10 ó 15 minutos, con la consiguiente promoción o

inhibición del proceso fisiológico que resulte involucrado. Al efecto de la luz solar directa hay que añadir el de la luz difusa y de baja intensidad del amanecer y del atardecer, que altera significativamente la relación Pr/Pfr. Asimismo, las plantas sombreadas reciben una baja relación Pr/Pfr, lo que puede inhibir la floración.

Las especies forrajeras tropicales tienen diversas procedencias geográficas y, por lo tanto, la respuesta que dan en su floración refleja el fotoperíodo de su habitat original (Nada, 1980). Entre las principales especies forrajeras tropicales hay tanto plantas de día corto—inducidas a florecer cuando el tiempo de oscuridad supera cierto valor mínimo—como plantas de día largo—florecen cuando el tiempo de oscuridad es menor que un valor máximo—y plantas neutras (Cuadro 4). Predominan, sin embargo, las especies de día corto.

Cuadro 4. Fotoperíodos que determinan la inducción a la floración en algunas gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales.

Días cortos	Días neutros	Días largos
Gramíneas		
<i>Andropogon gayanus</i>	<i>Cenchrus ciliaris</i>	<i>Panicum maximum</i>
<i>Brachiaria mutica</i>	<i>Eragrostis curvula</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>
<i>Hyparrhenia rufa</i>	<i>Pennisetum clandestinum</i>	<i>Paspalum notatum</i>
<i>Melinis minutiflora</i>		
<i>Panicum antidotale</i>		
<i>Panicum maximum</i> var. <i>trichoglume</i>		
<i>Pennisetum purpureum</i>		
Leguminosas		
<i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>guianensis</i>	<i>Lotononis bainesii</i>	<i>Stylosanthes guianensis</i> var. <i>intermedia</i>
<i>Stylosanthes humilis</i>		
<i>Stylosanthes hamata</i>		
<i>Macroptilium atropurpureum</i>		
<i>Desmodium intortum</i>		
<i>Desmodium uncinatum</i>		
<i>Centrosema pubescens</i>		
<i>Calopogonium mucunoides</i>		

FUENTES: Nada (1980); Humphreys (1981).

En otros fenómenos. El alargamiento de los culmos en la oscuridad (etiolación) y los movimientos fotonásticos de las hojas de algunas leguminosas tropicales (p. ej., *M. atropurpureum*) tienen también como mediador al sistema del fitocromo. Estos movimientos consisten en mantener las hojas perpendiculares a la radiación solar durante el día, lo que maximiza la radiación recibida y les permite así competir más efectivamente con las gramíneas por la luz. Cuando las hojas se mantienen paralelas a la radiación solar, se evitan la fotoinhibición, las altas temperaturas, y las excesivas pérdidas de agua.⁶ En algunas gramíneas, la mayor cantidad de radiación infraroja—una característica de los habitat sombreados—causa mayor crecimiento de las hojas y produce vástagos más altos; ambos efectos favorecen la competencia por la luz (Casal et al., 1987).

Competencia

Las plantas pueden competir entre sí por cualquier recurso escaso del ambiente. La verdadera naturaleza de esta competencia rara vez se define, aunque se trata generalmente de competencia por luz, por agua, por nutrientes del suelo, o por alguna combinación de estos factores.

Con frecuencia, es difícil determinar el recurso por el que están compitiendo las plantas en una comunidad vegetal, porque la competencia que empieza por un recurso se puede trasladar a otro. Harper (1977) recalcó este punto al considerar un experimento de competencia comunicado por Stern y Donald en 1962, entre una gramínea y una leguminosa (trébol), con aplicación de nitrógeno y sin ella. Cuando las plantas estaban bien provistas de nitrógeno, la gramínea creció más rápidamente y suprimió completamente la leguminosa. En cambio, cuando no se aplicó nitrógeno adicional, la leguminosa aventajó a la gramínea. Harper concluyó que, obviamente, era irreal la separación de los efectos de la fuente de nitrógeno (el fertilizante o el trébol) de los efectos de la radiación. El experimento había comenzado como uno de un solo factor, y rápidamente se convirtió en un estudio de la interacción que había entre varios factores.

6. Sheriff y Fisher. Información sin publicar.

En pasturas conformadas por una gramínea asociada con una leguminosa se pueden visualizar otras circunstancias complejas de la competencia. Por ejemplo, si durante una sequía uno de los componentes de una asociación biespecífica compite con el otro componente por el agua que éste no puede utilizar, probablemente crecerá más rápido que él, y pronto sombreará a las plantas sometidas a estrés. Por consiguiente, la especie más agresiva comienza compitiendo por el agua, pero pronto compite también por la luz. En una etapa posterior, si el estado hídrico de la especie suprimida mejora a causa de la sombra, quizás ya no sea obvio que la competencia original haya sido por agua.

Cualquier estudio de competencia entre las plantas debe evaluarse muy cuidadosamente para comprender su naturaleza real. En el proceso de competencia, la especie más agresiva controla el desarrollo de las especies más débiles porque reduce el abastecimiento del recurso escaso. Por lo tanto, el comportamiento de las especies sembradas en asociación será controlado por el factor, o los factores, que escaseen, estén ellos solos o combinados. La competencia, por tanto, se puede considerar como una limitación de la tasa de crecimiento de la especie sometida, independientemente del mecanismo mediante el cual opere.

Competencia por la luz

Si la tasa de crecimiento de una especie en una asociación se reduce, por cualquier causa, por debajo de la de su especie cohabitante, tarde o temprano la primera especie será sombreada por la segunda. En forma similar, si las tasas de crecimiento de dos especies de una asociación son intrínsecamente diferentes—aunque inicialmente no haya competencia entre ambas—aquella especie con la tasa más rápida de crecimiento sombreará inevitablemente a la otra.

Como se discutió anteriormente en este documento, algunas plantas pueden crecer, adaptándose, en un medio que tenga niveles bajos de radiación incidente; sin embargo, tendrán siempre tasas de crecimiento inferiores que las de las especies de ‘sol’. Por esto, y según la intensidad de la sombra, algunas plantas no experimentan quizás la competencia por la luz cuando las sombrea una especie que cohabite con ellas en la asociación. No hay datos que documenten esta situación en las pasturas tropicales, aunque se ha observado que las tasas de

crecimiento de varias gramíneas y leguminosas tropicales mejoran cuando hay moderados niveles de sombra (Wilson y Wong, 1982).⁷ Los mecanismos que explican este comportamiento no se han esclarecido aún.

Como se ha mencionado, las leguminosas tropicales, que son todas plantas C3, poseen generalmente tasas de fotosíntesis inferiores a las de las gramíneas tropicales—que son plantas C4—y tienen, por tanto, tasas de crecimiento menores que las de ellas. En una pastura tropical de leguminosas-gramíneas, esta diferencia conducirá, probablemente, al sombreado de la leguminosa por la gramínea, luego a una verdadera competencia por la luz, y finalmente a la supresión de la leguminosa (Fisher y Thornton, 1989). En cambio, si el nivel de radiación solar es menor que la luz solar total, las tasas de fotosíntesis y, por tanto, las tasas de crecimiento quizás no sean muy diferentes en los dos componentes de la asociación; es posible, entonces, que la leguminosa resulte favorecida. En estas circunstancias, las gramíneas C4 no compiten quizás exitosamente por la luz con la leguminosa, y ésta puede llegar a dominarlas. La menor radiación solar puede deberse a períodos prolongados de nubosidad, comunes en las zonas tropicales húmedas, o a la sombra que den los árboles bajo los cuales se siembran las pasturas, como sucede en la agricultura de plantación y en otros sistemas de producción silvo-pastoriles.

La interferencia más obvia de la sombra ocurre cuando, en virtud de su altura, la vegetación ya establecida monopoliza la luz en perjuicio de las plántulas emergentes.

Competencia por el agua

La competencia por el agua rara vez se puede demostrar convincentemente en el campo. En principio, los resultados de un experimento de 'reemplazos en serie' (de Wit, 1960), bien sea con un adecuado abastecimiento de agua o sin él, deben indicar si hay competencia o no la hay. Un corolario importante es el siguiente: si los componentes de una asociación dan diferentes respuestas fisiológicas al déficit hídrico, para que cohabiten con éxito es necesario entonces que no compitan

7. Toledo y Trujillo. Información sin publicar.

por el agua; en otras palabras, que ocupen nichos separados, en sentido ecológico, con relación al agua. Por ejemplo, la gramínea *Cenchrus ciliaris* tolera la desecación de los tejidos y, gracias a su ajuste osmótico y estomatal, continúa traspirando; en cambio, *Macroptilium atropurpureum*, una de las leguminosas con las cuales aquella gramínea comúnmente se asocia, no tolera la desecación de los tejidos. Por consiguiente, estas dos especies no deberían ser compatibles en zonas donde es frecuente la sequía. Sin embargo, *M. atropurpureum* enraiza mucho más profundamente que *C. ciliaris*, por lo cual, durante la sequía, tiene acceso preferencial al agua profunda, y evita así la desecación letal de los tejidos (Sheriff y Ludlow, 1984). Las dos especies pueden cohabitar con éxito en ambientes secos porque la gramínea no compete por el agua que la leguminosa necesita para sobrevivir.

Competencia por nutrimentos del suelo

La competencia entre las gramíneas y las leguminosas de una pastura por los nutrimentos del suelo fue claramente demostrada por Hall (1974a; 1974b), quien modificó la técnica clásica del remplazo en serie (de Wit, 1960). En lugar de tomar Hall el rendimiento de materia seca (MS) de los componentes de la asociación y relacionarlo con su rendimiento en monocultivo, tomó los rendimientos relativos de MS, de potasio en la MS, y de fósforo en la MS, en presencia y ausencia de fertilizantes de fósforo y potasio. De esta manera, Hall mostró que la leguminosa *Desmodium intortum* compitió con *Setaria anceps* por el potasio (Figura 6).

Si la competencia entre las raíces de las plantas recientemente establecidas y las ya existentes se elimina mediante tubos poco profundos introducidos en el suelo, es razonable suponer que las diferencias en el crecimiento de las plantas, con protección del tubo y sin ella, se deben a la competencia de ellas en el suelo. Por ejemplo, la leguminosa bianual *Stylosanthes capitata* se cultiva en asociación con la gramínea tropical perenne *Andropogon gayanus* en los Llanos Orientales de Colombia. *Stylosanthes capitata* se establece y crece bien cuando se siembra al mismo tiempo que *A. gayanus*, pero la población de la leguminosa suele disminuir a medida que las plantas originales mueren, puesto que las plántulas de semillas recientemente germinadas no se pueden establecer.

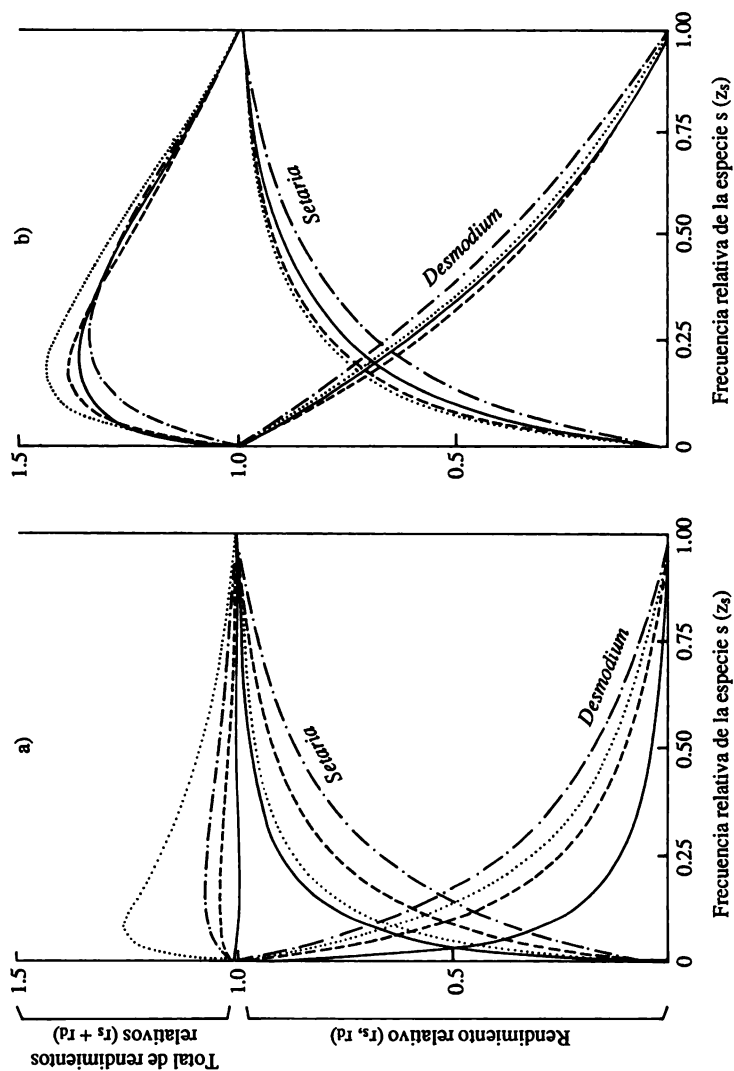


Figura 6. Diagramas de sustitución que muestran la influencia de la fertilización con potasio en las relaciones que hay entre el rendimiento de materia seca (—), de nitrógeno (---), de fósforo (---), y de potasio (---) de las especies *Setaria anceps* (*Setaria nandi*, especie s) y *Desmodium ovalifolium* (*Greenleaf*, especie d), cultivadas en diversas frecuencias (z). El diagrama incluye valores totales ($r_s + r_d$) de los rendimientos relativos. a) Sin fertilizar con potasio. b) Fertilizando con potasio.

Para evaluar los efectos que puede causar la competencia entre la gramínea y *S. capitata*, se localizaron plántulas de la leguminosa en radios que partían de macollas de *A. gayanus* en diversas direcciones—minimizando así el efecto de una posible sombra diferencial—con la protección de tubos poco profundos y sin ella (Valencia, 1983). Sin los tubos, el crecimiento de las plántulas de la leguminosa fue proporcional a la distancia entre ellas y los macollos de la gramínea, pero con los tubos, el crecimiento de aquéllas no fue afectado por la proximidad de la gramínea. En otros experimentos se demostró que, cuando se aplicaba potasio a las pasturas de *A. gayanus* con *S. capitata*, se mejoraba el establecimiento de las plántulas de la leguminosa; se supuso, por tanto, que las plantas establecidas de *A. gayanus* competían por el potasio con las plántulas de la leguminosa que trataba de establecerse.

Otro ejemplo de esta competencia se da entre plántulas de *C. ciliaris*, *Panicum maximum* var. *trichoglume*, y *M. atropurpureum*, y la gramínea perenne de porte medio *Heteropogon contortus*, en las praderas naturales del subtrópico situadas al este de Australia. Estas especies suelen sembrarse empleando un exceso de semilla y métodos de labranza mínima. Las plántulas que emergen permanecen pequeñas, no se desarrollan, y son incapaces de sobrevivir a las heladas o a las sequías largas e impredecibles que son frecuentes en el clima de esa zona (Cook, 1984; Cook y Dolby, 1981). Cuando la competencia de la gramínea se elimina mediante tubos poco profundos enterrados en el suelo, las plántulas de la leguminosa crecen normalmente (Cook y Ratcliff, 1985). Existe, sin duda, competencia entre las plántulas y entre las raíces de las plantas ya establecidas, y es un hecho que las plántulas crecen mejor si se les aplican fertilizantes (P y N); se requieren, sin embargo, más experimentos para entender mejor todos los procesos involucrados en estos fenómenos.

Competencia y desarrollo de las plántulas

Se pueden distinguir dos aspectos en la competencia que se crea entre las plántulas de especies forrajeras establecidas en una pastura. Primero, cuando se establecen plántulas a partir de semilla, generalmente en un intento previo de reducir la cantidad de vegetación existente y, por tanto, la competencia entre ésta y las plántulas. En este caso, la

interferencia en el crecimiento de las plántulas puede provenir de la vegetación existente—cuando se toman medidas inadecuadas para su control—o del crecimiento vigoroso de las malezas coemergentes (las que estrictamente se deben considerar vegetación existente), o de otros componentes de la pastura sembrada al mismo tiempo. Segundo, cuando se establecen plántulas a partir del banco de semilla del suelo como parte del proceso de repoblación. En este caso, las plántulas se establecen y se desarrollan afrontando la interferencia de las plantas adultas de la vegetación existente (plantas de la misma especie, de la especie asociada en la pastura, o de malezas).

Desarrollo de plántulas en las pasturas en formación. La forma de vida de las plantas y la naturaleza del recurso limitante (agua, luz, nutrimentos) determinan el resultado de la competencia entre las plántulas que emergen. Por ejemplo, en las zonas tropicales monzónicas secas del Territorio Norte de Australia, la leguminosa anual *S. humilis* se mostró muy promisorio como leguminosa forrajera; era susceptible, sin embargo, al dominio ejercido por un conjunto de gramíneas anuales (Norman y Begg, 1973). La región tiene una estación húmeda de diciembre a marzo, cuando caen de 900 a 1200 mm de precipitación. Después de las primeras lluvias, que promueven la germinación, pueden presentarse varias semanas sin lluvia con temperaturas máximas de más de 40 °C (Slatyer, 1960). Si la estación húmeda comenzara allí en forma regular y confiable, las gramíneas anuales dominarían a la leguminosa porque poseen mayores tasas de crecimiento aéreo en el estado de plántula que aquélla; la leguminosa, en cambio, destina gran parte de sus recursos, inmediatamente después de la emergencia, a desarrollar un sistema radicular profundo (Torrsell, 1972). Si se presentara, en cambio, una sequía después de las primeras lluvias que favorecen la germinación, la leguminosa, de raíces más profundas, tendría una notable capacidad para sobrevivir durante muchas semanas, mientras que las gramíneas, de raíces poco profundas, morirían. Al llegar nuevas lluvias, la leguminosa, que ya tendría un sistema radical establecido, crecería rápidamente y podría competir con éxito con las gramíneas. Por tanto, el patrón de precipitación de la zona, al comienzo de la estación húmeda, determina el equilibrio que habrá entre gramíneas y leguminosas en la siguiente época de crecimiento. Naturalmente, la especie que tuvo más éxito el año anterior siempre tendrá una

ventaja al comenzar la nueva época de crecimiento, porque cuenta con una reserva de semilla en el suelo.

Desarrollo de plántulas en pasturas ya establecidas. Hay pocos datos en las regiones tropicales sobre las interrelaciones que ocurren entre las plántulas en una comunidad de plantas ya establecida. Por tal razón, este escrito se ha limitado a considerar los casos específicos descritos en las secciones anteriores, de los cuales se pueden hacer solamente generalizaciones amplias.

La conservación de la población de especies de vida corta en una pastura depende, en alto grado, del reclutamiento de plántulas a partir de la reserva de semilla del suelo. Esta circunstancia pone a estas especies en desventaja cuando cohabitan con especies de vida larga o perennes, ya que no sólo deben establecerse por semilla, sino que sus plántulas tienen que competir con plantas adultas de la especie de vida más larga. Esta situación es especialmente importante en las asociaciones de gramíneas y leguminosas en las cuales una de las especies tiene una vida notoriamente más corta que la otra. Si una plántula emerge en una comunidad establecida, está sujeta inevitablemente a la interferencia de la vegetación residente. Las plantas adultas, a diferencia de las plántulas, tienen sistemas radiculares bien establecidos, reservas nutritivas más o menos considerables, y una mayor altura, lo que les da una ventaja muy significativa para competir por los recursos limitados del medio.

Manejo de la pastura para reducir la competencia

Cuando se comprueba que una especie debe competir con otras durante su establecimiento, se procura eliminar esa competencia, o por lo menos reducirla, para mejorar el establecimiento de la especie que se desea sembrar. La manera más común de hacerlo es eliminar o reducir considerablemente la cobertura vegetal existente, ya sea por labranza, quema o pastoreo intenso.

Muchas gramíneas tropicales son vulnerables a la defoliación intensa causada ya sea por el pastoreo o por la quema que se practica inmediatamente después de comenzar la época lluviosa (Norman, 1965; Miller y Perry, 1968). Las gramíneas perennes experimentan un período

de latencia durante la estación seca; al iniciarse las lluvias, movilizan sus reservas hacia el tejido nuevo de las hojas. Las gramíneas anuales recientemente establecidas, en cambio, no pueden acumular suficientes reservas cuando están bajo pastoreo fuerte, y si se practica la quema en esa pastura, las nuevas plantas son consumidas por el fuego. En general, después de comenzar la estación lluviosa se podría aplicar el sobrepastoreo o la quema, posiblemente en combinación con alguna forma de labranza; así se garantizaría el éxito del establecimiento de las plántulas de las nuevas especies de gramíneas y leguminosas que han sido introducidas mediante la eliminación de la especie existente (Norman y Begg, 1973; Stocker y Sturtz, 1966).

Técnicas experimentales para medir la competencia

Hasta ahora se ha discutido la competencia por los recursos escasos, ya sea tomándolos uno a la vez o cuando interactúan entre sí. Ahora bien, es muy posible que la fertilización con un solo nutriente cambie la competitividad entre los componentes de una asociación de plantas. Por ejemplo, la gramínea de una asociación puede ser sensible al nitrógeno, mientras que la leguminosa acompañante quizás no responda a él, o sea incluso autosuficiente en este nutriente. Se deduce entonces que aunque las gramíneas sean estimuladas por el nitrógeno, las leguminosas no competirán con ellas por este elemento.

En los estudios de competencia entre plantas, el problema antes expuesto se supera aplicando el diseño de “reemplazo en serie” (de Wit, 1960); éste permite evaluar cambios en los rendimientos relativos de los componentes de una asociación. Según este diseño, las dos especies vegetales en estudio se siembran en forma individual, y en un serie de combinaciones en la cual la suma de las frecuencias o proporciones de los componentes es siempre igual a la unidad. El rendimiento de los componentes de la mezcla se expresa como una fracción del rendimiento de la especie pura respectiva, y los resultados se incluyen en un diagrama de reemplazo (Figura 6). Si la curva que resulta para una especie es una línea recta, significa que esa especie no experimenta competencia de su cohabitante. En cambio, si la curva es convexa—o sea, con desplazamiento hacia arriba—entonces el rendimiento de una de las especies mejora con la presencia de su cohabitante. Pero si la curva es cóncava—con desplazamiento hacia abajo—entonces la especie es

afectada por la competencia de su cohabitante. El grado de concavidad o convexidad es una medida de la competencia, y se expresa en función de la tasa de remplazo relativa; esta es, a su vez, una medida de la tasa a la cual un componente de una asociación remplaza al otro.

Mayores detalles sobre el diseño de remplazo en serie y su aplicación se encuentran en los trabajos de de Wit y sus colegas en Wagenin-gen (de Wit, 1960; de Wit et al., 1966). Una discusión sobre esta técnica, así como sus limitaciones en estudios con especies forrajeras se encuentran en Hall (1978), Trenbath (1978), y Fisher y Thornton (1989).

Es difícil dar una recomendación general para investigar los factores específicos que afectan el grado de competencia entre plantas que cohabitan. Con relación a competencia por nutrimentos del suelo, la técnica de remplazo en serie utilizada con o sin aplicación del nutrimento limitante, y analizada según los rendimientos relativos de ese nutrimento, se considera una técnica útil (Hall, 1974a; 1974b).

Sin embargo, este diseño rara vez se aplica en estudios de campo, porque requiere una cantidad muy elevada de mano de obra para el establecimiento de las poblaciones necesarias. Los experimentos de este tipo se llevan a cabo generalmente en el invernadero en macetas; por consiguiente, surge la dificultad de extrapolar los resultados a las condiciones de campo. Es necesario agregar que, aunque el diseño de remplazo en serie se puede usar para demostrar el grado de competencia entre dos especies cohabitantes, los resultados serán válidos solamente para el rango de densidades incluido en la prueba. Además, aunque se demuestre que hay competencia y se definan los factores que provocan esa competencia entre las plantas, se necesitan más experimentos para investigar mejor los mecanismos de la competencia.

Conclusiones

1. Los factores climáticos (agua, luz, temperatura) actúan sobre los procesos fisiológicos y bioquímicos de la planta a nivel celular; éstos, a su vez, afectan el funcionamiento de aquellos órganos que

modifican las respuestas de las plantas al medio ambiente y, por ende, su comportamiento. También la comunidad de las plantas (la pastura) y el ecosistema sufren modificaciones. Por tanto, para entender las respuestas de las especies que conforman una pastura a los factores climáticos, es necesario estudiar los efectos que éstos, en forma integrada, causan en los niveles celular y organizmico.

2. Los efectos de la sequía en el crecimiento, y en el desarrollo, de las plántulas de especies forrajeras se conocen más que los de la inundación. Es posible que la susceptibilidad a la inundación de ciertas especies contribuya a la inestabilidad de algunas pasturas tropicales. Esta susceptibilidad se ha estudiado poco en las especies forrajeras, y por ello no se la reconoce como causa de inestabilidad.
3. La temperatura, por sí sola, rara vez limita el crecimiento de las plantas en el trópico. Las altas temperaturas, sin embargo, pueden ser nocivas para el establecimiento de las plantas cuando están acompañadas por una sequía prolongada.
4. La intensidad de la radiación solar es alta y relativamente uniforme en las regiones tropicales. Las gramíneas son más eficientes y productivas que las leguminosas a altas intensidades luminosas; ese mayor desarrollo puede causar cierto grado de sombreado, el cual afecta notoriamente el establecimiento de plántulas más bajas.
5. Los ambientes más predecibles (p. ej., el trópico húmedo) presentan menos limitantes ambientales para la germinación de la semilla y para el establecimiento de la plántula de las especies forrajeras. En estos lugares, la competencia, tanto intraespecífica como interespecífica, es muy importante para un exitoso establecimiento. Lo contrario ocurre en los ambientes menos predecibles (p. ej., los Llanos Orientales de Colombia y el Cerrado de Brasil), donde los efectos del ambiente físico parecen ser lo más determinante. Por estas razones, las características de la especie vegetal que se seleccione para establecerla en cada ambiente deberían ser muy diferentes.

Prioridades en la Investigación

Desarrollo de plántulas en pasturas recién sembradas

En el establecimiento de una pastura puede surgir la competencia entre las plántulas emergentes, o entre éstas y la vegetación existente. No siempre se sabe con claridad por cuál de los recursos escasos (agua, nutrimentos, etc.) están compitiendo en realidad las plantas; por consiguiente, es difícil formular soluciones específicas cuando surjan problemas en el desarrollo de las plantas. La metodología experimental utilizada para determinar la naturaleza de la competencia entre plantas—como el diseño de remplazos en serie—es compleja, y se emplea, con sentido realista, únicamente en el invernadero. Por ello, es prioritario desarrollar metodologías simples que sirvan para identificar, a nivel del campo, los recursos por los cuales compiten las plantas. Con estas metodologías será posible evaluar objetivamente los efectos de los tratamientos, es decir, la eliminación o reducción de la competencia entre las plántulas y los componentes de la vegetación.

Regeneración de plántulas en pasturas establecidas

Hay pocos estudios detallados sobre las causas de desaparición o falta de persistencia de las especies asociadas en una pastura; por consiguiente, resulta difícil hacer generalizaciones sobre la importancia de los diversos factores presuntamente responsables. Aunque no parece adecuado afirmar que cada asociación de gramínea y leguminosa se debe estudiar individualmente para determinar las razones de su éxito o fracaso, es forzoso llegar a esta conclusión.

Para que una de las especies que compone una asociación pueda mantener en ella su población, es necesario que la muerte de sus plantas individuales se compense con el reclutamiento de plantas nuevas; este resultado se obtiene con el establecimiento de plántulas originadas de la reserva de semilla del suelo, o mediante la reproducción vegetativa por estolones o rizomas. Es necesario, entonces, determinar cuál de estos procesos es crítico para la supervivencia de alguna especie de la asociación.

Esto se puede determinar mediante estudios demográficos, que se hacen de preferencia en diferentes sistemas de manejo del pastoreo. El proceso de sobrevivencia que se identifique en estos estudios deberá examinarse detalladamente para establecer relaciones de efecto o causa. Se requieren, por tanto, estudios detallados sobre varios mecanismos fisiológicos.

Desafortunadamente, los estudios de comunidades vegetales requieren varios ciclos de vida de las plantas, los cuales pueden durar varios años. Aunque estos estudios facilitan, generalmente, la formulación de hipótesis, éstas se presentan casi siempre cuando la especie de interés en la asociación ya ha fracasado. Parece obvio, entonces, que una de las principales necesidades de la investigación es desarrollar una metodología que determine rápidamente el factor crítico en el establecimiento exitoso de un componente de la asociación específica bajo estudio.

El desarrollo de las plántulas en una pastura ya formada tiene una importancia fundamental: de ella depende la supervivencia a largo plazo de las especies de una asociación. Es necesario, por tanto, investigar los factores que determinan el fracaso o el éxito del establecimiento de las plántulas en condiciones de competencia. Cada asociación debe pues estudiarse detalladamente—cada una es un caso diferente—para poder predecir si las plántulas de las especies que la componen se establecerán tan bien que garanticen el éxito de la pastura a largo plazo. Si las plántulas no se establecen satisfactoriamente, es importante conocer el factor—o los factores—que restringieron su emergencia o su desarrollo; conviene entonces saber cuáles de esas limitaciones se pueden subsanar mediante el manejo correcto de la fertilización y el pastoreo dados a la pastura asociada, o por medio del fitomejoramiento.

Referencias

- Anderson, E. R. 1974. The reaction of seven *Cenchrus ciliaris* L. cultivars to flooding. Trop. Grassl. 8:33-40.
- Baruch, Z.; Hernández, A. B. y Montilla, M. G. 1989. Dinámica del crecimiento, fenología y repartición de biomasa en gramíneas nativas e introducidas de una sabana neotropical. Ecotrópicos 2:1-13.

- _____; Ludlow, M. M. y Davis, R. 1985. Photosynthetic responses of native and introduced C4 grasses from Venezuelan savannas. *Oecologia* 67:288-293.
- Begg, J. E. 1980. Morphological adaptation of leaves to water stress. En: Turner, N. C. y Kramer, P. J. (eds.). *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Wiley and Sons, Nueva York. p. 3-42.
- Billings, W. D. 1970. *Plants, man and the ecosystem*. 2a. ed. Wadsworth Publ., Belmont, California. 160 p.
- Bjorkman, O. 1981. Responses to different quantum flux densities. En: Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B. y Ziegler, H. (eds.). *Physiological plant ecology*; 1: *Encyclopedia of plant physiology*. Springer-Verlag, Berlín. v. 12A, p. 57-107.
- _____; Badger, M. R. y Armond, P. A. 1980. Response and adaptation of photosynthesis to high temperatures. En: Turner, N. C. y Kramer, P. J. (eds.). *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. Wiley and Sons, Nueva York. p. 233-249.
- Bradford, K. J. y Hsiao, T. C. 1982. Physiological responses to moderate water stress. En: Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B. y Ziegler, H. (eds.). *Physiological plant ecology*; 2: *Encyclopedia of plant physiology*. Springer-Verlag, Berlín. v. 12B, p. 263-324.
- Casal, J. J.; Sánchez, R. A. y Deregibus, V. A. 1987. The effect of light quality on shoot extension growth in three species of grasses. *Ann. Bot.* 59:1-7.
- Chapin, F. S.; Bloom, A. J.; Field, C. B. y Waring, R. H. 1987. Plant responses to multiple environmental factors. *BioScience* 37:49-57.
- Clements, R. J. y Ludlow, M. M. 1977. Frost avoidance and frost resistance in *Centrosema virginianum*. *J. Appl. Ecol.* 14:551-566.
- Cook, S. J. 1984. Establishment of four pasture grasses and Siratro from seed oversown into dense and open speargrass pastures. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 24:360-369.
- _____; y Dolby, G. R. 1981. Establishment of buffel grass, green panic and Siratro from seed broadcast into a speargrass pasture in southern Queensland. *Aust. J. Agric. Res.* 32:749-759.
- _____; y Ratcliff, D. 1985. Effect of fertilizer, root and shoot competition on the growth of Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) and green panic (*Panicum maximum* var. *trichoglume*) seedlings in a native speargrass (*Heteropogon contortus*) sward. *Aust. J. Agric. Res.* 36:233-245.

- Cowan, I. R. 1982. Regulation of water use in relation to carbon gain in higher plants. En: Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B. y Ziegler, H. (eds.). Physiological plant ecology; 2: Encyclopedia of plant physiology. Springer-Verlag, Berlín. v. 12B, p. 589-613.
- Coyne, P. I. y Bradford, J. A. 1985. Morphology and growth in seedlings of several C4 perennial grasses. J. Range Manage. 38:504-512.
- Davies, W. J.; Metcalfe, J.; Lodge, T. A. y da Costa, A. R. 1986. Plant growth substances and the regulation of growth under drought. Aust. J. Plant Physiol. 13:105-125.
- de Wit, C. T. 1960. On competition. Versl. Landbouwk. Onderz. 66:8:1-81.
- Ehleringer, J.; Bjorkman, O. y Mooney, H. A. 1976. Leaf pubescence and photosynthesis in a desert shrub. Science 192:376-377.
- El-Sharkawy, M. A.; Cock, J. H. y Held, A. A. 1984. Water use efficiency of cassava; 2: Differing sensitivity of stomata to air humidity in cassava and other warm-climate species. Crop Sci. 24:503-507.
- Fisher, M. J. 1980. The influence of water stress on nitrogen and phosphorus uptake and concentration in Townsville stylo (*Stylosanthes humilis*). Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 20:175-180.
- _____. 1982. Responses of Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) to water stress. Tesis (Ph. D.). University of Queensland, Australia. 130 p.
- _____. y Campbell, N. A. 1977. The influence of water stress on the growth and development of Townsville stylo (*Stylosanthes humilis*) in pure ungrazed swards at Katherine, Northern Territory. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 17:598-606.
- _____. y Ludlow, M. M. 1984. Adaptation to water deficits in *Stylosanthes*. En: Stace, H. M. y Edye, L. A. (eds.). The biology and agronomy of *Stylosanthes*. Academic Press, Sydney, Australia. p. 163-179.
- _____. y Thornton, P. K. 1989. Growth and competition as factors in the persistence of legumes in pastures. En: Marten, G. C.; Matches, A. G.; Barnes, R. F.; Brougham, R. W.; Clements, R. J. y Sheath, G. W. (eds.). Persistence of forage legumes. ASA, Madison. p. 293-309.
- Gates, D. M. 1980. Biophysical ecology. Springer-Verlag, Nueva York. 611 p.
- González-Jiménez, E. y Escobar, A. 1977. Flood adaption and productivity of savanna grasses. Proceedings of the Thirteenth Grassland Congress, Leipzig. v. 3, p. 87.
- Hall, R. L. 1974a. Analysis of the nature of interference between plants of different species; 1: Concepts and extension of the de Wit analysis to examine effects. Aust. J. Agric. Res. 25:739-747.

- _____. 1974b. Analysis of the nature of interference between plants of different species; 2: Nutrient relations in a Nandi *Setaria* and Greenleaf *Desmodium* association with particular reference to potassium. Aust. J. Agric. Res. 25:749-756.
- _____. 1978. The analysis and significance of competitive and non-competitive interference between species. En: Wilson, J. R. (ed.). Plant relations in pastures. CSIRO, Melbourne. p. 163-174.
- Harper, J. L. 1977. Population biology of plants. Academic Press, Londres. 361 p.
- Hsiao, T. C.; Acevedo, E.; Ferreres, E. y Henderson, D. W. 1976. Water stress, growth and osmotic adjustment. Phil. Trans. R. Soc. Ser. B 273:479-500.
- Humphreys, L. R. 1981. Environmental adaptation of tropical pasture plants. MacMillan, Londres. 261 p.
- Johnson, D. A. 1986. Improved rangeland species: A physiological perspective. En: Joss, P. J.; Lynch, P. W. y Williams, O. B. (eds.). Rangelands: A resource under siege. Proceedings of the Second International Rangeland Congress. Australian Academy of Sciences, Canberra. p. 444-446.
- Jones, C. A. 1985. C4 grasses and cereals: Growth, development and stress response. Wiley and Sons, Nueva York. 419 p.
- _____.; C. A.; Peña, D. y Gómez, C. 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. 57:211-219.
- Kramer, P. J. 1980. Drought stress and the origin of adaptations. En: Turner, N. C. y Kramer, P. J. (eds.). Adaptation of plants to water and high temperature stress. Wiley and Sons, Nueva York. p. 7-20.
- Ludlow, M. M. 1978. Stress physiology of tropical pasture plants. Trop. Grassl. 14:136-145.
- _____. 1980. Adaptive significance of stomatal responses to water stress. En: Turner, N. C. y Kramer, P. J. (eds.). Adaptation of plants to water and high temperature stress. Wiley and Sons, Nueva York. p. 123-138.
- _____. 1987. Light stress at high temperatures. En: Kyle, D. J.; Osmond, C. B. y Arntzen, C. J. (eds.). Photoinhibition; topics in photosynthesis. Elsevier, Amsterdam. v. 9, p. 89-110.
- _____. y Fisher, M. J. 1976. Influence of soil surface litter on frost damage in *Macropodium atropurpureum*. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 42:134-136.

- _____ e Ibaraki, K. 1979. Stomatal control of water loss in Siratro (*Macroptilium atropurpureum* (DC) Urb.), a tropical pasture legume. Ann. Bot. 43:639-647.
- _____ y Ng, T. T. 1976. Effect of water deficit on CO₂ exchange and leaf elongation rate of *Panicum maximum* var. *trichoglume*. Aust. J. Plant Physiol. 3:401-413.
- _____ y Wilson, G. L. 1970. Studies on the productivity of tropical pasture plants; 2: Growth analysis, photosynthesis and respiration of 20 species of grasses and legumes in a controlled environment. Aust. J. Agric. Res. 21:183-194.
- _____; Chu, A. C. P.; Clements, R. J. y Kerslake, R. G. 1983. Adaptation of species of *Centrosema* to water stress. Aust. J. Plant Physiol. 10:119-130.
- _____; Fisher, M. J. y Wilson, J. R. 1985. Stomatal adjustment to water deficits in three tropical grasses and a tropical legume in controlled conditions and in the field. Aust. J. Plant Physiol. 12:131-149.
- Mannetje, L. t y Pritchard, A. J. 1974. The effect of daylength and temperature on introduced legumes and grasses for the tropics and subtropics of coastal Australia; 1: Dry matter production, tillering and leaf area. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 14:173-181.
- McIvor, J. G. 1976. The effect of waterlogging on the growth of *Stylosanthes guyanensis*. Trop. Grassl. 10:173-178.
- McKeon, G. M. y Mott, J. J. 1984. Seed biology of *Stylosanthes*. En: Stace, H. M. y Edye, L. A. (eds.). The biology and agronomy of *Stylosanthes*. Academic Press, Sydney, Australia. p. 311-332.
- McMannon, M. y Crawford, R. M. M. 1971. A metabolic theory of flooding tolerance: The significance of enzyme distribution and behaviour. New Phytol. 70:299-306.
- McWilliam, J. R. 1978. Response of pasture plants to temperature. En: Wilson, J. R. (ed.). Plant relations in pastures. CSIRO, Melbourne. p. 17-34.
- Miller, H. P. y Perry, R. A. 1968. Preliminary studies on the establishment of Townsville lucerne (*Stylosanthes humilis*) in uncleared native pasture at Katherine, N. T. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 8:26-32.
- Mott, J. J. 1978. Dormancy and germination in five native grass species from savannah woodland communities of the Northern Territory. Aust. J. Bot. 26:621-631.

- ____; McKeon, G. M. y Moore, C. J. 1976. Effects of seed bed conditions on the germination of four *Stylosanthes* species in the Northern Territory. Aust. J. Agric. Res. 27:811-823.
- Munns, R. 1988. Why measure osmotic adjustment? Aust. J. Plant Physiol. 15:717-726.
- Nada, Y. 1980. Photoperiodic responses in flowering of main tropical pasture grasses. J. Japan. Grassl. Sci. 26:157-164.
- Navarro, Ch. G. y McKersie, B. D. 1983. Growth, development and digestibility of guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) in two controlled environments differing in irradiance. Trop. Agric. (Trinidad) 60:184-188.
- Nobel, P. S. 1983. Biophysical plant physiology and ecology. Freeman, Salt Lake City, Utah. 608 p.
- Norman, M. J. T. 1965. Post-establishment grazing management of Townsville lucerne on uncleared land at Katherine, N. T. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 31:311-313.
- ____ y Begg, J. E. 1973. Katherine Research Station: A review of published work, 1965-72. CSIRO Aust. Div. Land Res. Tech. Paper no. 33.
- Passioura, J. B. 1986. Resistance to drought and salinity: Avenues for improvement. Aust. J. Plant Physiol. 13:191-201.
- Patterson, D. T. 1980. Light and temperature adaptation. En: Hesketh, J. D. y Jones, J. W. (eds.). Predicting photosynthesis for ecosystem models. CRC Press, Boca Ratón, Florida, E. U. p. 205-235.
- Peake, D. C. I.; Stirk, G. D. y Henzell, E. F. 1975. Leaf water potentials of pasture plants in a semi-arid subtropical environment. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 15:645-654.
- Richards, R. A.; Rawson, H. M. y Johnson, D. A. 1986. Glauconess in wheat: Its development and effect on water use efficiency, gas exchange and photosynthetic tissue temperatures. Aust. J. Plant Physiol. 13:465-474.
- Schulze, E. D. y Hall, A. E. 1982. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. En: Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B. y Ziegler, H. (eds.). Physiological plant ecology; 2: Encyclopedia of plant physiology. Springer-Verlag, Berlín. p. 181-230.
- Sheriff, D. W. y Kaye, P. E. 1977. Response of diffusive conductance to humidity in a drought avoiding and drought resistant legume. Ann. Bot. 41:653-655.

- _____. y Ludlow, M. M. 1984. Physiological reactions to an imposed drought by *Macroptilium atropurpureum* and *Cenchrus ciliaris* in a mixed sward. Aust. J. Plant Physiol. 11:23-34.
- _____.; Fisher, M. J.; Rusitzka, G. y Ford, C. W. 1986. Physiological reactions to an imposed drought by two twining pasture legumes: *Macroptilium atropurpureum* (desiccation sensitive) and *Galactia striata* (desiccation insensitive). Aust. J. Plant Physiol. 13:431-445.
- Slatyer, R. O. 1960. Agricultural climatology of the Katherine area. CSIRO Aust. Div. Land Res. Reg. Surv. Tech. Paper no. 13.
- Steponkus, P. L. 1981. Responses to extreme temperatures. Cellular and subcellular bases. En: Lange, O. L.; Nobel, P. S.; Osmond, C. B. y Ziegler, H. (eds.). Physiological plant ecology; 1: Encyclopedia of plant physiology. Springer-Verlag, Berlín. p. 371-402.
- Stern, W. R. y Donald, C. M. 1962. Light relationships in grass-clover swards. Aust. J. Agric. Res. 13:599-614.
- Stocker, G. C. y Sturtz, J. D. 1966. The use of fire to establish Townsville lucerne in the Northern Territory. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 6:277-279.
- Toledo, J. M. y Fisher, M. J. 1989. Aspectos fisiológicos de *Andropogon gayanus* y su compatibilidad con las leguminosas forrajeras. En: Toledo, J. M.; Vera, R.; Lascano, C. y Lenné, J. L. (eds.). *Andropogon gayanus* Kunth: Un pasto para los suelos ácidos del trópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 69-104.
- Tompsett, P. B. 1976. Factors affecting the flowering of *Andropogon gayanus* Kunth. Responses to photoperiod, temperature and growth regulators. Ann. Bot. 40:695-705.
- Torssell, B. W. R. 1973. Patterns and processes in the Townsville stylo—annual grass pasture ecosystem. J. Appl. Ecol. 10:463-478.
- _____. 1976. Drought resistance effects on species composition of an annual pasture in a dry monsoonal climate. J. Appl. Ecol. 13:943-953.
- Trenbath, B. R. 1978. Models and the interpretation of mixture experiments. En: Wilson, J. R. (ed.). Plant relations in pastures. CSIRO, Melbourne. p. 145-162.
- Valencia, I. M. 1983. Root competition between *Andropogon gayanus* and *Stylosanthes capitata* in an oxisol in Colombia. Tesis (Ph. D.). University of Florida, Gainesville. (Diss. Abstr. 45/07:1976b.)
- Whiteman, P. C. 1980. Tropical pasture science. Oxford Univ. Press, Oxford. 392 p.

- Wilson, J. R. y Ng, T. T. 1975. Influence of water stress on parameters associated with herbage quality of *Panicum maximum* var. *trichoglume*. Aust. J. Agric. Res. 26:127-136.
- _____ y Hacker, J. B. 1987. Comparative digestibility and anatomy of some sympatric C3 and C4 arid zone grasses. Aust. J. Agric. Res. 38:287-295.
- _____ y Ludlow, M. M. 1983. Time trends for change in osmotic adjustment and water relations of leaves of *Cenchrus ciliaris* during and after water stress. Aust. J. Plant Physiol. 10:15-24.
- _____ y Wong, C. C. 1982. Effects of shade on some factors influencing nutritive quality in green panic and Siratro pastures. Aust. J. Agric. Res. 33:937-949.
- _____; Taylor, A. O. y Dolby, G. R. 1976. Temperature and atmospheric humidity effects on cell wall content and dry matter digestibility of some tropical and temperate grasses. N. Z. J. Agric. Res. 19:41-46.
- _____; Ludlow, M. M.; Fisher, M. J. y Schultze, E. D. 1980. Adaptation to water stress of the leaf water relations of four tropical forage species. Aust. J. Plant Physiol. 7:207-220.
- _____; Catchpoole, V. R. y Weier, K. L. 1986. Stimulation of growth and nitrogen uptake by shading a rundown green panic pasture on brigalow clay soil. Trop. Grassl. 20:134-143.
- Winkworth, R. E. 1969. Germination of Townsville lucerne (*Stylosanthes humilis* H.B.K.) in relation to weather at Katherine, N. T. J. Aust. Inst. Agric. Sci. 35:201-204.
- 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.

Factores Edáficos cuyas Propiedades Físicas Afectan el Desarrollo de las Plántulas de las Especies Forrajeras

Miguel Ara

Introducción

El éxito en el establecimiento de una pastura está relacionado con las propiedades del suelo que confieren: a) un adecuado suministro de nutrientes para las plántulas, y b) el medio físico apropiado para los procesos de germinación de la semilla, y de emergencia y crecimiento inicial de la plántula.

El establecimiento de una pastura puede dividirse en dos procesos: a) germinación y b) desarrollo inicial. Las propiedades físicas del suelo afectan el proceso de imbibición (acceso del agua a la semilla); este proceso es muy importante en la germinación de la semilla. Por otra parte, los componentes del desarrollo inicial de las plántulas más afectados por las propiedades físicas del suelo son la penetración radicular—en el caso de siembras superficiales—y la emergencia y el alargamiento radicular, cuando la semilla se entierra. La imbibición es básicamente un proceso de transporte de agua, mientras que la emergencia, la penetración de la raíz, y el alargamiento radicular son procesos de trabajo contra una resistencia mecánica.

El objetivo de este capítulo es describir la forma en que las propiedades físicas del suelo afectan la imbibición, la emergencia, y el alargamiento radicular, y discutir su posible cuantificación. No se discute el efecto de la temperatura del suelo ni el movimiento gaseoso (difusión de oxígeno) en el establecimiento de una pastura. La temperatura del suelo, en condiciones tropicales, rara vez es una limitante per se. El efecto del movimiento gaseoso es más bien de naturaleza local.

Miguel Ara es científico del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, con sede en Pucallpa, Perú.

Proceso de Imbibición

La buena y oportuna germinación es el requisito para el establecimiento satisfactorio de una plántula. La condición indispensable, aunque no suficiente, para que se inicie el proceso de germinación es que la semilla alcance un contenido de humedad igual o mayor que un determinado nivel crítico. El proceso de imbibición es el que regula la velocidad de obtención de ese nivel crítico de humedad y, en último término, lo hace posible.

Antes de describir el efecto de las propiedades físicas del suelo sobre la imbibición, es necesario considerar la naturaleza del proceso. Bouaziz y Bruckler (1989) propusieron un modelo de transporte para describir la imbibición de las semillas de trigo. Estos autores obtuvieron también constantes empíricas que permiten predecir la velocidad y la extensión de este proceso en el campo. Enseguida se discuten brevemente algunas de las características de este modelo.

a) La fuerza impelente de la imbibición es la diferencia de potencial entre la semilla y el suelo. Los componentes de esta diferencia son el potencial hídrico (líquido) y la presión de vapor (gaseosa).

b) El área de sección disponible para el transporte regula la tasa de imbibición; esa área es, básicamente, la superficie total de la semilla. Una fracción de esta superficie es afectada por el transporte del agua líquida, mientras que la otra fracción lo es por el transporte del agua en vapor. La relación entre ambas fracciones está controlada por el contacto semilla-suelo, el cual, a su vez, lo está en gran parte por la estructura del suelo.

Para utilizar el modelo con fines predictivos, es necesario suponer que la tasa de difusión de oxígeno no es limitante, y que el área de la sección disponible para el transporte tiene propiedades de conductividad específicas tanto para la fase líquida como para la fase de vapor. Por otra parte, también se debe suponer que los potenciales hídricos del suelo y de la semilla dependen de sus respectivos contenidos de agua, y que el flujo de agua tanto líquida como en vapor, son aditivos pero no son complementarios.

El escenario del proceso de imbibición se idealiza en la Figura 1. En ella se muestran los diferentes aspectos del flujo de agua y se esquematizan los factores que lo regulan.

Propiedades físicas del suelo que controlan la imbibición

La descripción anterior permite afirmar que son dos las propiedades físicas del suelo que regulan la imbibición: a) su contenido de humedad, y b) su estructura.

El contenido de humedad en el suelo actúa mediante su efecto en el potencial hídrico. La relación que existe entre el contenido de humedad y el potencial hídrico (es decir, el estado energético con que es retenida el agua) es única para cada suelo. Esta función es comúnmente denominada curva de retención de humedad; en términos generales, a mayor contenido de humedad mayor potencial hídrico y, consecuentemente, mayor diferencia de potencial entre el suelo y la semilla. La diferencia de presión de vapor no es independiente de la diferencia de

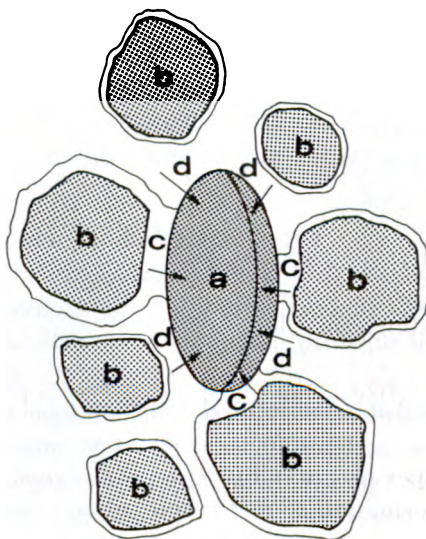


Figura 1. Idealización del ambiente físico que rodea la semilla durante el proceso de imbibición. a = semilla; b = sólidos del suelo; c = superficie de la semilla afectada por el transporte de agua en forma líquida; d = superficie de la semilla afectada por el transporte de agua en forma de vapor.

potencial hídrico, ya que la presión de vapor en el espacio aéreo del suelo es función directa del potencial hídrico.

Las propiedades estructurales del suelo (densidad aparente, espacio poroso total, espacio poroso aéreo) afectan el contacto semilla-suelo y, consecuentemente, la fracción de la superficie de la semilla que es influenciada por el transporte en forma líquida o en forma gaseosa. En general, y para un determinado contenido de humedad, a mayor contacto semilla-suelo mayor será la superficie de la semilla disponible para el transporte líquido. Ahora bien, el estado de agregación del suelo afecta inversamente el contacto suelo-semilla. Estas relaciones fueron obtenidas empíricamente para semillas de trigo por Bouaziz y Bruckler (1989), y se ilustran en las Figuras 2 y 3. A mayor densidad aparente, mayor contacto suelo-semilla y mayor intensidad de transporte líquido (Figura 2). Esta relación, con respecto al espacio poroso aéreo, es inversa, como era de esperarse.

Cuantificación del proceso de imbibición

Una consecuencia práctica de las relaciones anteriormente discutidas debería ser la cuantificación del proceso de imbibición. Mejor aún, con estas relaciones debería predecirse la posibilidad de que las semillas alcancen, mediante el proceso de imbibición y en condiciones de campo, el nivel crítico de humedad a una velocidad determinada.

La aplicación exitosa del modelo descrito requiere la estimación adecuada de sus parámetros. Existen parámetros inherentes al suelo y a la semilla, y hay también un grado de interacción entre ellos. Indudablemente, los parámetros inherentes a la semilla, como la permeabilidad del tegumento y la interacción del tamaño y forma de la semilla con el contacto semilla-suelo deben estimarse específicamente para semillas de especies forrajeras tropicales. Hay procedimientos experimentales para tal fin, los cuales han sido descritos por Bruckler (1983a; 1983b), y por Bouaziz y Bruckler (1989).

Las semillas de las especies forrajeras tropicales son generalmente más pequeñas y de diferente forma que las del maíz y las del trigo. Por consiguiente, en las siembras a voleo la imbibición será mayor en las

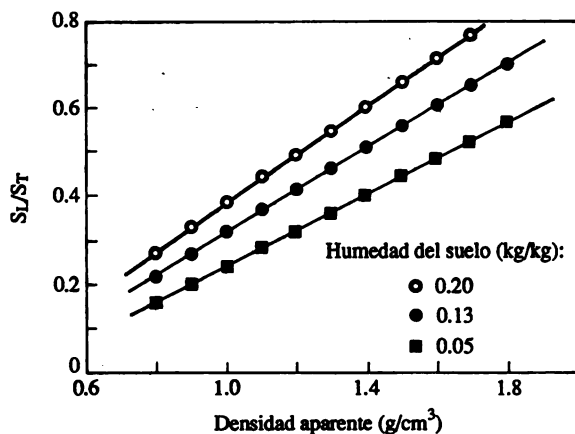


Figura 2. Relación entre la fracción de la superficie de la semilla afectada por el transporte en fase líquida (S_L/S_T) y la densidad aparente del suelo, para tres niveles de humedad del suelo. S_L = superficie de la semilla en contacto con agua líquida; S_T = superficie total de la semilla.

FUENTE: Calculado de Bouaziz y Bruckler, 1989.

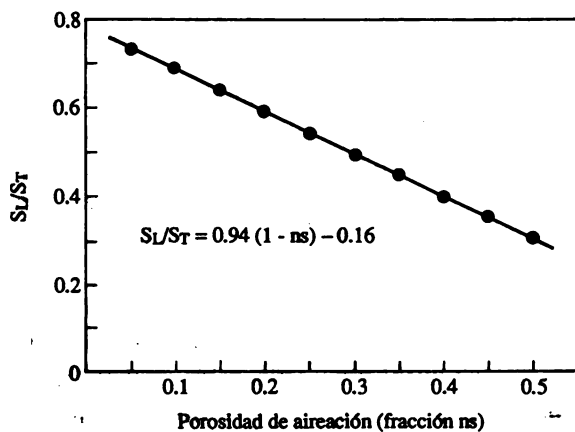


Figura 3. Relación entre la fracción de la superficie de la semilla de maíz afectada por la fase líquida del agua (S_L/S_T) y la porosidad estructural de aireación del suelo. S_L = superficie de la semilla en contacto con agua líquida; S_T = superficie total de la semilla; ns = porosidad de aireación, en fracciones de unidad.

FUENTE: Calculado de Bruckler, 1983b.

semillas pequeñas de las leguminosas (como en *Desmodium ovalifolium*) que en las semillas grandes (*Pueraria phaseoloides*, *Arachis pin-toi*). Esto se debe a que es mayor el contacto de la semilla pequeña con el suelo, y a que ésta se entierra más después de las lluvias. Es probable que semillas pequeñas sembradas a voleo o enterradas en suelos muy estructurados (es decir, aquéllos con alto porcentaje de espacio poroso aéreo) pero con buen contenido de humedad logren su imbibición por el flujo de vapor de agua, principalmente. Lo mismo sucede con semillas que, a causa de su estructura, tienen capas de aire que rodean la cariósida (*Andropogon gayanus*, *Hyparrhenia rufa*). Por la tensión superficial del agua, gran parte del flujo de agua hacia estas semillas ocurre en forma de vapor.

La predicción del efecto de la estructura del suelo en la tasa de imbibición de la semilla se dificulta cuando las semillas se siembran con portadores inertes, como arena, aserrín o fertilizante. En este caso, el contacto de la semilla con el suelo depende más de las propiedades físicas del portador que del suelo.

La mayoría de los parámetros inherentes al suelo que intervienen en la imbibición pueden ser estimados en el campo. El potencial hídrico se determina a partir del contenido de humedad del suelo si se conoce la curva de retención de humedad para un suelo determinado. Pueden usarse también dispositivos que midan directamente el potencial hídrico, como tensiómetros, bloques de yeso, psicrómetros, etc. (Cassel y Klute, 1986; Campbell y Gee, 1986). Por otra parte, el valor del potencial hídrico del suelo permite estimar la presión de vapor del medio gaseoso empleando la relación de Kelvin (Baver et al., 1972). La diferencia de potencial hídrico y de presión de vapor se obtiene suponiendo un valor de cero para esas dos variables en el contenido de humedad de las semillas 'secas' (humedad de almacenamiento).

La proporción del contacto fase líquida-semilla puede estimarse mediante el espacio poroso aéreo, y partiendo de relaciones obtenidas empíricamente en las cuales el potencial hídrico no es una limitante (suelo húmedo). Ejemplos de estas relaciones se muestran en las Figuras 2 y 3.

El espacio poroso aéreo es un parámetro de la estructura del suelo relacionado con el tamaño de los poros más que con su volumen total.

Este espacio se calcula en forma indirecta a partir de la curva de retención de humedad del suelo, usando el principio del flujo capilar y suponiendo que el espacio poroso aéreo ha sido ocupado por un volumen de agua retenida a menos de 0.033 MPa (Baver et al., 1972). El espacio poroso aéreo también puede medirse directamente mediante el picnómetro de aire (Baver et al., 1972; Danielson y Sutherland, 1986).

La densidad aparente es una propiedad física del suelo relacionada con la estructura de éste. Esta propiedad se puede evaluar fácilmente en el campo. Desafortunadamente, no hay una relación única entre el espacio poroso aéreo del suelo y su densidad aparente. Sin embargo, cuando el contenido de agua y la densidad de las partículas es constante, la porosidad aérea y la densidad aparente guardan una relación lineal.

Procesos de Emergencia y de Crecimiento Radicular

A diferencia de la imbibición, que depende de propiedades físicas del suelo que facilitan el transporte del agua, la emergencia de la plántula y el crecimiento radicular están afectados por la resistencia mecánica del suelo.

Aunque las radículas y los brotes emergentes pueden crecer a lo largo de espacios aéreos en los suelos de estructura abierta, cada vez que esos órganos penetran en unidades estructurales y en horizontes que carezcan de poros grandes, deben deformar el suelo. El suelo resiste mecánicamente esta fuerza que lo deforma, y el órgano en desarrollo sufre un estrés por esa resistencia del suelo. Se sabe ya que los horizontes cementados o endurecidos excluyen el crecimiento radicular, y que el encostramiento de la superficie del suelo impide la emergencia de las plántulas; conviene reconocer, no obstante, que estas mismas limitaciones ocurren en suelos con propiedades físicas 'normales'.

La resistencia mecánica del suelo y las propiedades físicas de éste que la afectan dependen de la naturaleza de la deformación provocada por los órganos en crecimiento. Hay tres tipos principales de deformación: a) falla por tensión, b) falla de corte sin compresión (falla general), y c) falla de corte con compresión (falla local) (Barley y Greacen, 1967). La resistencia del suelo a uno o más tipos de deformación

afecta los procesos de establecimiento de las plántulas después de la germinación (emergencia, y penetración y crecimiento radiculares). Brevemente se describe la naturaleza de estas deformaciones y su efecto en los procesos posteriores a la germinación.

La falla por tensión es la separación o ruptura de una unidad estructural del suelo. La resistencia del suelo a esta falla es producto de la atracción físico-química entre las partículas del suelo de diferente naturaleza. Esta atracción depende, a su vez, de cierto número de factores entre los que sobresalen el contenido de humedad, la cantidad y tipo de los coloides del suelo, y el tipo de iones en el complejo de cambio.

Las fallas de corte, con o sin compresión, implican la existencia de un plano de deslizamiento; estas fallas también se denominan fallas por cizallamiento. La resistencia principal se ejerce contra la creación de este plano, y está descrita por la ecuación de Coulomb (Baver et al., 1972). En esa ecuación, la resistencia es una función de la presión efectiva normal al plano de deslizamiento, y de la fricción interna. La fricción interna depende, a su vez, de la resistencia al deslizamiento (la fricción propiamente dicha) y de la forma en que se han trabado las partículas (dilatancia).

En la falla de corte sin compresión el plano de deslizamiento se prolonga hasta los límites del sistema, que puede ser, por ejemplo, un agregado. En la falla de corte con compresión, el plano no se prolonga hasta los límites del sistema, y el aumento en volumen es absorbido por la compresión. La resistencia a la reducción del volumen es, entonces, un componente adicional de la resistencia del suelo a este tipo de falla.

Emergencia de plántulas

Después de la germinación, la resistencia contra el crecimiento ascendente del coleoptilo es, generalmente, una resistencia a la falla de corte con compresión, siempre y cuando el incremento en volumen no se prolongue hasta la superficie del suelo. Al llegar a la superficie, el brote puede vencer la resistencia de la costra superficial del suelo de dos maneras. Primera, puede levantar una costra individual y partirla en dos; en este caso estaría deformando el suelo con una falla por tensión

(Figura 4). La segunda manera es, prácticamente, perforando la costra. La superficie del suelo cede completamente hacia arriba en forma de un cono invertido (Figura 5). Este es un caso de falla de corte sin compresión.

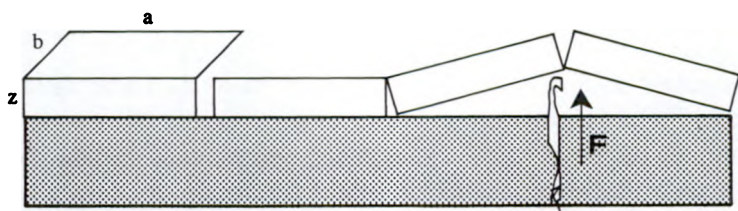


Figura 4. Esquematzación de la deformación del suelo por emergencia de las plántulas. La resistencia del suelo encostrado a la ruptura por tensión estaría dada por el módulo de ruptura, que es igual a $3aF/2bz^2$. F = fuerza ejercida por la plántula en emergencia.

FUENTE: CSIRO, 1966.

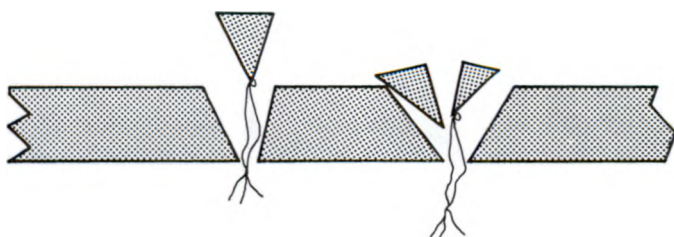


Figura 5. Ejemplo gráfico de la deformación por corte sin compresión. La falla se produce durante la emergencia de la plántula.

Crecimiento radicular

Las raíces en crecimiento penetran en los poros del suelo y se dilatan a lo largo de ellos. Cuando el diámetro radicular es mayor que el de los poros más grandes, las raíces deben deformar el suelo. La deformación más común en suelos normales no saturados es la falla de corte con compresión (Barley y Greacen, 1967). Las raíces deforman el suelo durante la penetración de los poros y durante la dilatación radicular. Obviamente, los suelos compactados ofrecen máxima resistencia a este tipo de deformación.

Las raíces también pueden deformar el suelo mediante fallas por tensión. Se ha observado que las raíces de la arveja (*Pisum sativum*) de 2 mm de diámetro fueron capaces de partir bloques de suelo franco compactado (Barley et al., 1965). La deformación por falla de corte sin compresión rara vez se presenta durante el proceso de crecimiento radicular.

Entrada de radículas en el suelo

La entrada de radículas en el suelo a partir de semillas sembradas superficialmente es una acción modificada por la resistencia del suelo. La resistencia a esta penetración parece depender de los mismos factores que afectan el crecimiento radicular. Sin embargo, los siguientes factores son también importantes: el ángulo de penetración radicular, la aparición precoz de pelos en la coleoriza, la rugosidad del suelo, y la presencia de materia vegetal muerta (Campbell y Swain, 1973).

Cuantificación de la resistencia del suelo

La cuantificación de la resistencia del suelo al crecimiento de los órganos de la plántula ha sido hecha tradicionalmente empleando métodos de mecánica de suelos. Existen por ello modelos teóricos de resistencia y se ha logrado relacionar valores de propiedades físicas básicas del suelo con valores puntuales de resistencia. Por otra parte, datos estimados de resistencia del suelo se han comparado con datos de máximo poder deformante de algunas raíces, obtenidos a partir de parámetros fisiológicos. Esto ha permitido definir valores teóricos que limitan esas

propiedades físicas básicas. Por su parte, estas propiedades básicas son difíciles de medir e interpretar y están fuera del alcance de este escrito. Detalles adicionales pueden ser consultados en las publicaciones de Barley y Greacen (1967), Barley (1968), y Greacen et al. (1968).

Afortunadamente, hay cierto número de medidas empíricas de la resistencia y de otras propiedades físicas del suelo, que se relacionan con medidas de valor agronómico. Algunas de estas medidas se discuten a continuación.

Módulo de ruptura. Operacionalmente, el módulo de ruptura es una aproximación a la resistencia que opone la costra superficial del suelo a la emergencia de las plántulas (falla por tensión). En él se mide, básicamente, la fuerza necesaria para romper un bloque de suelo de anchura, longitud y espesor determinados, en el punto medio de la longitud (Reeve, 1965). Con estas mediciones se ha determinado que valores superiores a 1.5 dinas/cm^2 pueden manifestar problemas de encostramiento que reducen significativamente la emergencia de las plántulas (Cassel, 1983).

Impedancia mecánica. La impedancia mecánica es la resistencia del suelo a la introducción vertical de un penetrómetro, y se expresa normalmente en unidades de presión (bares, MPa). El penetrómetro no es más que una sonda metálica, usualmente cilíndrica, de diámetro variable. La punta del penetrómetro puede ser completamente aguda ($\leq 5^\circ$ de ángulo interno), puede tener forma cónica (30° de ángulo interno), o ser completamente plana como en los penetrómetros de bolsillo (Bradford, 1986). Eventualmente, el índice de cono (IC) se usa para homogeneizar medidas de impedancia mecánica. Para la obtención del IC se divide la impedancia mecánica por el área de la base del penetrómetro.

En varios estudios se ha tratado de relacionar algunas actividades del crecimiento radicular con un nivel de impedancia mecánica, tanto en condiciones de laboratorio, como de invernadero o de campo. En el Cuadro 1 se muestran varias aproximaciones a niveles críticos de impedancia para combinaciones de especies vegetales y de tipos de suelo.

Es importante resaltar la interacción que existe entre los valores de impedancia mecánica y el contenido de humedad del suelo. Esta

Cuadro 1. Valores de la impedancia mecánica (IM) del suelo en los cuales cesa el alargamiento radicular, para especies vegetales y tipos de suelo diferentes.

Especie	Tipo de suelo	Valor IM límite (bares)	Referencia
Arveja	Arcilla agregada	24.0	Cockcroft et al. (1969)
Maíz	Arcilla	8.0	Phillips y Kirkham (1962)
Algodón	Franco-arenoso fino	34.0	Taylor y Gardner (1963)
Arveja	Franco	36.0	Barley et al. (1965)
Trigo	Franco	36.0	Barley et al. (1965)
Arveja	Franco	7.0	Greacen et al. (1968)
Algodón	Franco-arenoso fino	25.0-30.0	Taylor y Burnett (1964)
Sésamo	Franco-arenoso fino	25.0-30.0	Taylor y Burnett (1964)
Guar	Franco-arenoso fino	25.0-30.0	Taylor y Burnett (1964)
<i>Sesbania</i>	Franco-arenoso fino	25.0-30.0	Taylor y Burnett (1964)
<i>Phaseolus</i>	Franco-arenoso fino	25.0-30.0	Taylor y Burnett (1964)
<i>Vigna</i>	Franco-arenoso fino	25.0-30.0	Taylor y Burnett (1964)
Sorgo	Franco-arenoso fino	25.0-30.0	Taylor y Burnett (1964)
Algodón	Franco	19.0	Camp y Lund (1964)
Algodón	Arena franca	20.0	Taylor y Bruce (1968)
Maíz	Arenoso	17.1	Fiskell et al. (1968)
Maíz	Franco	12.5	Shierlaw y Alston (1984)
<i>Lolium</i>	Franco	12.5	Shierlaw y Alston (1984)

interacción se debe al papel importante que desempeña el agua en la intensificación del componente cohesivo de la resistencia a la deformación. El efecto general es un aumento en la resistencia a medida que disminuye el contenido de humedad. Por ejemplo, en un suelo franco de Parafield, la impedancia se incrementó de 20 a 34 bares cuando la tensión de humedad aumentó de 0.3 a 0.7 bares (Barley y Greacen, 1967).

Numerosos investigadores han encontrado que los penetrómetros proporcionan una manera adecuada de estimar la resistencia a la penetración de las raíces. Sin embargo, se ha hallado también que éstas pueden penetrar suelos que tengan una impedancia superior, en mucho, a la fuerza máxima disponible (fisiológicamente) para deformar el suelo (Taylor et al., 1972). Esto sugiere que la impedancia sobreestima la resistencia encontrada por los órganos de la plántula en crecimiento.

Según Barley y Greacen (1967), las discrepancias se explican por muchas razones, siendo las principales éstas: a) los órganos de las plantas son flexibles y tienden a crecer alrededor de las obstrucciones; b) la forma de los órganos en crecimiento difiere de la de los penetrómetros; más aún, la forma de los órganos es modificada por la misma resistencia del suelo; c) las raíces penetran en el suelo más por alargamiento que por intrusión; d) la fricción y la adhesión entre el órgano en crecimiento y el suelo son diferentes a las que existen entre el metal y el suelo; e) la absorción de agua por las raíces provoca cambios locales en la humedad del suelo y, consecuentemente, en la resistencia del mismo.

A pesar de esas razones, los penetrómetros proporcionan una medida relativa de la resistencia del suelo a la penetración y pueden ser muy útiles para establecer correlaciones.

Densidad aparente. La densidad aparente (D_b) del suelo ha sido usada también como un índice de la resistencia de éste a la penetración de las raíces (Lowry et al., 1970; Gerard et al., 1982). Al igual que con la impedancia mecánica, se ha tratado de relacionar valores de D_b con el desarrollo de las raíces; algunos de estos valores se relacionan en el Cuadro 2 con el cese o reducción del alargamiento radicular. Sin embargo, la densidad aparente tiene limitaciones para predecir la resistencia del suelo a la penetración. Una de las principales es que la D_b se mide comúnmente en suelo seco y, por tanto, esa medida no toma en cuenta las variaciones en resistencia causadas por la humedad. Por otro lado, la capacidad de extensión de las raíces en un medio poroso no solamente está determinada por la cantidad y el diámetro de los poros, sino también por la susceptibilidad al desplazamiento de la matriz sólida. En este sentido, la impedancia mecánica mediría con relativa ventaja la resistencia del suelo.

Otras medidas. Otras medidas, o modificaciones de las anteriormente descritas, han sido usadas para predecir la resistencia del suelo al establecimiento de las plántulas. Se ha propuesto, como alternativa para medir la resistencia a la emergencia de las plántulas, determinar la fuerza requerida para extraer un hilo o una pequeña esfera al extremo

Cuadro 2. Valores de la densidad aparente (Db) del suelo en los cuales cesa o se restringe el alargamiento radicular, para especies vegetales y tipos de suelo diferentes.

Especie	Tipo de suelo	Valor Db límite (g/cm ³)	Referencia
Soya-maíz	Franco-arenoso	1.60 ^a	Mazurak y Pohlman (1968)
Soya-maíz	Franco-arenoso	1.80 ^b	Mazurak y Pohlman (1968)
Arveja	Franco-arenoso	1.70 ^c	Eavis (1972)
Algodón	Franco-arcilloso	1.75 ^d	Gerard et al. (1982)
Algodón	Franco	≥1.55	Shierlaw y Alston (1984)
<i>Lolium</i>	Franco	≥1.55	Shierlaw y Alston (1984)
Soya-Sudán	Arcillo-limoso	1.80	Zimmerman y Kardos (1961)
Soya-Sudán	Franco-arenoso	1.90	Zimmerman y Kardos (1961)
Soya-Sudán	Franco-arcilloso	2.00	Zimmerman y Kardos (1961)

a. Alargamiento radicular seriamente restringido.

b. Alargamiento radicular detenido.

c. Estimado para reducir el alargamiento radicular en 50%.

d. Estimado para un alargamiento radicular nulo.

de un hilo que hayan sido enterrados horizontalmente (Barley y Greacen, 1967). Para medir esa resistencia se han empleado también pruebas de indentación; estas pruebas miden la resistencia en la superficie del suelo, generalmente a una profundidad igual al diámetro del penetrómetro (Barley y Greacen, 1967). Sin embargo, se ha considerado que un penetrómetro que actúe hacia arriba daría una mejor idea de la resistencia a la emergencia, sobre todo cuando se aproxima a la superficie. Un penetrómetro con estas características fue diseñado por CSIRO (1966), pero su uso no es muy práctico.

Conclusiones

La estructura y el contenido de humedad del suelo parecen ser las características físicas fundamentales de éste en su relación con los procesos de germinación, emergencia, y crecimiento radicular. La estructura del suelo modifica la tasa de imbibición de las semillas mediante su efecto en el contacto semilla-suelo. Cuando la humedad es una limitante, la tasa de transporte de agua hacia la semilla depende del potencial hídrico. Si el potencial hídrico del suelo es mayor que el de la semilla,

la imbibición proseguirá a una tasa controlada por el contacto semilla-suelo.

La estructura del suelo afecta la resistencia mecánica del suelo a la penetración y, por tanto, limita el desarrollo inicial de las plántulas (emergencia, penetración y crecimiento radicular) durante su establecimiento. El contenido de humedad del suelo puede modificar el efecto que ejerce la estructura del suelo en el desarrollo de las plántulas.

El alargamiento de las raíces, una medida comúnmente usada como variable de respuesta, se correlaciona con el vigor de la plántula que se establece solamente cuando el acceso al agua y a los nutrimentos está limitado por el espacio que ocupan las raíces. Cuando una plántula que experimenta limitaciones para el alargamiento de sus raíces puede obtener, no obstante, los nutrimentos y el agua que necesita en su espacio radicular (que suponemos restringido), cualquier modificación de las propiedades físicas del suelo no se reflejará en un incremento del vigor de la plántula durante su establecimiento. Ahora bien, las pasturas tropicales se establecen generalmente en condiciones limitativas, principalmente de nutrimentos; por ello, la posibilidad de incrementar el vigor de las plántulas de esa pastura, mediante un mejoramiento de las propiedades físicas del suelo, es alta.

Prioridades de Investigación

Proceso de imbibición

La investigación debería apuntar hacia la estimación de los factores que regulan el proceso de imbibición en la semilla de las gramíneas y las leguminosas forrajeras tropicales. Específicamente, es necesario determinar la relación entre parámetros físicos del suelo (p. ej., el potencial hídrico y algunas medidas estructurales como la densidad aparente y el espacio aéreo) y la extensión del contacto semilla-suelo. Por otra parte, la estimación del parámetro conductividad hídrica—tanto de agua líquida como gaseosa—en las semillas de gramíneas y leguminosas ayudaría a comprender mejor el proceso de imbibición. Además, sería conveniente investigar la relación que exista entre las reservas de la semilla y la anatomía de ésta con esa conductividad hídrica.

Por último, sería importante determinar la significancia del flujo gaseoso en los suelos de estructura abierta, especialmente en relación con semillas pequeñas. Si las semillas de especies tropicales pueden germinar con un mínimo de contacto suelo-semilla, tal vez no sea necesario considerar los efectos de la estructura del suelo en el establecimiento de esas especies cuando la humedad no es una limitante.

Emergencia y desarrollo radicular

La investigación relacionada con la resistencia del suelo a la penetración de las raíces y a la emergencia de las plántulas debería fijarse esta meta: obtener, en el laboratorio o en el invernadero, niveles críticos de propiedades estructurales del suelo, en los cuales se reduciría significativamente el alargamiento radicular o la emergencia de las plántulas de especies forrajeras tropicales.

Asimismo, sería importante obtener relaciones entre estos niveles críticos y las características anatómicas y estructurales de las raíces de gramíneas y leguminosas tropicales. Finalmente, deberían obtenerse relaciones empíricas entre las diferentes medidas de la estructura del suelo (densidad aparente, espacio aéreo) y la impedancia mecánica, en suelos que contrasten entre sí; así se sabrá hasta dónde las propiedades físicas accesorias del suelo, como el contenido de humedad, modifican esas relaciones.

Referencias

- Barley, K. P. 1968. Deformation of the soil by the growth of plants. En: Ninth International Congress of Soil Science Transactions. American Elsevier e ISSS, Adelaide, Australia. v. 1, p. 759-767.
- ____ y Greacen, E. L. 1967. Mechanical resistance as a soil factor influencing the growth of roots and underground shoots. *Adv. Agron.* 19:1-43.
- ____; Farrel, D. A. y Greacen, E. L. 1965. The influence of soil strength on the penetration of a loam by plant roots. *Aust. J. Soil Res.* 3:69-79.
- Baver, L. D.; Gardner, W. H. y Gardner, W. R. 1972. *Soil physics*. 4 ed. Wiley & Sons, Nueva York.
- Bouaziz, A. y Bruckler, L. 1989. Modeling of wheat imbibition and germination as influenced by soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53:219-227.

- Bradford, J. M. 1986. Penetrability. En: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis; part 1*. 2 ed. Agronomy 9:463-468.
- Bruckler, L. 1983a. Rôles des propriétés physiques du lit de semences sur l'imbibition et la germination; 1: Elaboration d'un modele du système 'terre-graine'. *Agronomie* 3:213-222.
- _____. 1983b. Rôles des propriétés physiques du lit de semences sur l'imbibition et la germination; 2: Contrôle expérimental d'un modele d'imbibition de semences et possibilités d'application. *Agronomie* 3:223-232.
- Camp, C. R. y Lund, Z. F. 1964. Effect of soil compaction on cotton roots. *Crops & Soils* 17:13-14.
- Campbell, G. S. y Gee, G. W. 1986. Water potential: Miscellaneous methods. En: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis; part 1*. 2 ed. Agronomy 9:619-633.
- Campbell, M. H. y Swain, F. G. 1973. Effect of strength, tilth, and heterogeneity of the soil surface on radicle-entry of surface-sown seeds. *J. Br. Grassl. Soc.* 28:41-50.
- Cassel, D. K. 1983. *Soil physics; course notes*. North Carolina State University.
- _____. y Klute, A. 1986. Water potential: Tensiometry. En: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis; part 1*. 2 ed. Agronomy 9:563-596.
- Cockroft, B.; Barley, K. P. y Greacen, E. L. 1969. The penetration of clays by fine probes and root tips. *Aust. J. Soil Res.* 7:333-348.
- CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation). 1966. Resistance of soils to shoots and roots. *Rural Research in CSIRO* 56:10-15.
- Danielson, R. E. y Sutherland, P. L. 1986. Porosity. En: Klute, A. (ed.). *Methods of soil analysis; part 1*. 2 ed. Agronomy 9:443-461.
- Eavis, B. W. 1972. Soil physical conditions affecting seedling growth; 1: Mechanical impedance, aeration and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levels in a sandy loam soil. *Plant & Soil* 36:613-622.
- Fiskell, J. G. A.; Carlisle, V. W.; Kashirad, R. y Hutton, C. E. 1968. Effect of soil strength on root penetration in coarse textured soils. En: Ninth International Congress of Soil Science Transactions. American Elsevier e ISSS, Adelaida, Australia. v. 1, p. 793-801.
- Gerard, C. J.; Sexton, P. y Shaw, G. 1982. Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron. J.* 74:875-879.
- Greacen, E. L.; Farrell, D. A. y Cockroft, B. 1968. Soil resistance to metal probes and plant roots. En: Ninth International Congress of Soil Science Transactions. American Elsevier e ISSS, Adelaida, Australia. v. 1, p. 769-779.

- Lowry, F. E.; Taylor, H. M. y Huck, M. G. 1970. Growth rate and yield of cotton as influenced by depth and bulk density of soil pan. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:306-309.
- Mazurak, A. P. y Pohlman, K. 1968. Growth of corn and soybean seedlings as related to soil compaction and matric suction. En: *Ninth International Congress of Soil Science Transactions*. American Elsevier e ISSS, Adelaida, Australia. v. 1, p. 813-822.
- Phillips, R. E. y Kirkham, D. 1962. Mechanical impedance and corn seedling root growth. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:319-322.
- Reeve, R. C. 1965. Modulus of rupture. En: Black, C. A. (ed.). *Methods of soils analysis*; v. 1. *Agronomy* 9:431-447.
- Shierlaw, J. y Alston, A. M. 1984. Effects of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. *Plant & Soil* 77:15-28.
- Taylor, H. M. y Bruce, R. R. 1968. Effects of soil strength on root growth and crop yield in the southern Unites States. En: *Ninth International Congress of Soil Science Transactions*. American Elsevier e ISSS, Adelaida, Australia. v. 1, p. 803-811.
- ____ y Burnett, E. 1964. Influence of soil strength on the root growth habit of plants. *Soil Sci.* 98:174-180.
- ____ y Gardner, H. R. 1963. Penetration of cotton seedling tap roots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.* 96:153-156.
- ____; Huck, M. G. y Klepper, B. 1972. Root development in relation to soil physical conditions. En: Hillel, D. (ed.). *Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields*. Academic Press, Nueva York. p. 57-77.
- Zimmerman, R. P. y Kardos, L. T. 1961. Effect of bulk density on root growth. *Soil Sci.* 91:280-288.

Efecto de las Propiedades Químicas de los Suelos Acidos en el Establecimiento de las Especies Forrajeras

Miguel A. Ayarza

Introducción

En el proceso de formación de una pastura, es necesario suministrar a las especies forrajeras durante la fase de establecimiento los nutrimentos adecuados para la germinación de la semilla y el vigoroso desarrollo de la planta. Esta necesidad es de particular importancia en los suelos ácidos y de baja fertilidad natural, en los cuales el desarrollo de las especies puede ser severamente limitado por toxicidades y deficiencias nutricionales. El objetivo de este trabajo es el siguiente: a) describir las principales limitaciones químicas de los suelos ácidos del trópico latinoamericano; b) discutir el grado de tolerancia a esos suelos exhibido por las especies de gramíneas y leguminosas forrajeras seleccionadas por la RIEPT; y c) definir una estrategia de bajos insumos que considere tanto el empleo de especies adaptadas a la baja disponibilidad de nutrimentos como el manejo de la fertilidad del suelo. Se discuten además algunos criterios básicos para el diagnóstico visual de las deficiencias nutricionales; este diagnóstico se emplea para corregir esas deficiencias en las fases tempranas de crecimiento de las plantas.

Limitaciones Químicas de los Suelos Acidos

Más de la mitad de América tropical (56% del área) está cubierta por Oxisoles y Ultisoles (Sánchez y Salinas, 1981; Sánchez y Cochrane, 1980). Estos suelos se caracterizan por una acidez alta, y por un contenido de macronutrimentos muy bajo. Asociadas a la acidez del suelo, se presentan tanto la toxicidad causada por el aluminio o el manganeso—o por ambos elementos—como las deficiencias de fósforo,

Miguel A. Ayarza es especialista en suelos en la sección de Suelos/Reciclaje de Nutrimentos del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia.

calcio, potasio, magnesio, y algunos micronutrientes. Sin embargo, la severidad de esas deficiencias y toxicidades depende del sitio en que crezcan las plantas y, especialmente, del grado de adaptación de éstas al ambiente ya descrito. A continuación se describen con mayor detalle las limitaciones de la fertilidad de estos suelos y el grado de tolerancia a ellas de algunas gramíneas y leguminosas forrajeras seleccionadas por la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT).

Toxicidad del aluminio y del manganeso

La toxicidad del aluminio es una de las mayores limitantes del crecimiento de las especies forrajeras en los suelos ácidos. Un rango bajo de pH (4.5 a 5.5) y altos niveles de saturación de Al (60% o más) causan un incremento en la concentración del Al presente en la solución del suelo, y reducen el crecimiento aéreo y radicular de las plantas (McLean, 1976; Evans y Kamprath, 1970; Cate y Sukhai, 1964; Nye et al., 1961). Estudios a nivel celular han comprobado que el aluminio inhibe la división celular y la síntesis de DNA en los meristemas apicales de las raíces (Clarkson, 1965; 1969; Ali, 1973). Por lo tanto, las raíces afectadas no crecen y son ineficientes para absorber agua y nutrientes (Heylar, 1978; Lafever et al., 1977; Reid et al., 1971; Clarkson, 1969; Fleming y Foy, 1968).

Otra de las limitantes del desarrollo de las plantas forrajeras en algunos suelos ácidos es la toxicidad del Mn. Aunque no se sabe cuán extensa sea esta toxicidad, es menos común que la del Al (Salinas y Saif, 1989). El efecto tóxico del Mn ocurre en rangos de pH similares a los que propician la toxicidad del Al y en suelos inundados o compactados (Siman et al., 1974).

A diferencia del efecto causado por el Al en las plantas, el Mn no afecta directamente el sistema radicular. Un exceso de Mn en el suelo produce una acumulación de Mn en la parte aérea de las plantas y la distorsión de las hojas jóvenes (Foy, 1976; 1977). Por su parte, una toxicidad severa de Mn torna el sistema radicular de color café, cambio que ocurre, usualmente, sólo después de que el follaje haya sido afectado por la toxicidad. En muchos casos se ha observado en las plantas clorosis intervenal asociada a deficiencias inducidas de Fe (Hewitt, 1963).

Deficiencia de fósforo

Aunque el contenido total de fósforo de los suelos predominantes en el trópico latinoamericano es variable—desde 200 ppm hasta 3300 ppm (Fenster y León, 1978; Fassbender et al., 1968)—los niveles del fósforo disponible para la germinación y el desarrollo de las plantas son muy bajos (< 5 ppm, Bray II). Esto se debe a que gran parte del fósforo presente en el suelo está en forma orgánica y en forma de compuestos de hierro y de aluminio de muy baja solubilidad. Además, la presencia de óxidos e hidróxidos de Fe y de Al da a estos suelos la capacidad de fijar el fósforo aplicado, especialmente el que proviene de fuentes solubles como el superfosfato (Fenster y León, 1978).

En la Figura 1 se muestra la relación entre el fósforo aplicado en un Oxisol de Carimagua y el fósforo que queda en la solución del suelo. Se observa allí que, para alcanzar la concentración de 0.2 ppm de P que se considera adecuada para un cultivo, hay que aplicar más de

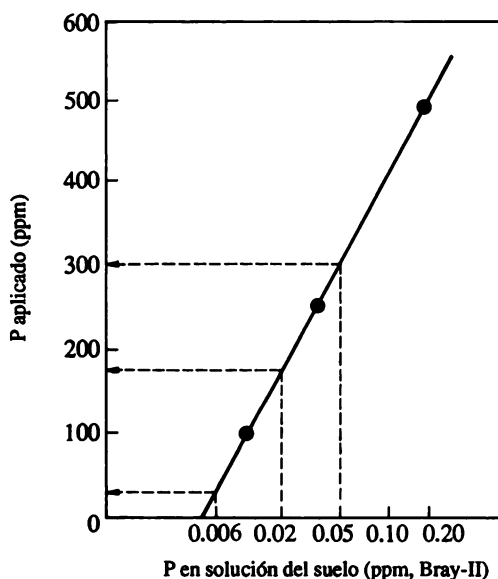


Figura 1. Relación entre el fósforo aplicado y el fósforo contenido en la solución del suelo, en un Oxisol de Carimagua, Colombia.

500 ppm (aproximadamente, 1000 kg/ha) de ese elemento. Las cantidades de P que deben añadirse a estos suelos varían con la textura del suelo y con la mineralogía de su arcilla (Fenster y León, 1978).

Deficiencia de nitrógeno

Con excepción de los terrenos recientemente ‘desmontados’, la mayoría de los suelos cultivados en el trópico son deficientes en nitrógeno (Sánchez, 1976). Aunque el contenido de nitrógeno asociado a la materia orgánica es relativamente alto en estos suelos, la disponibilidad del elemento está regida por procesos de mineralización. Algunos cálculos indican que entre 20 y 120 kg de N estarían disponibles gracias a la mineralización de la materia orgánica que se produce en la preparación del suelo, especialmente en la época de lluvias (Sánchez, 1976). Si este N no es utilizado rápidamente por las plantas, es inmovilizado o se pierde por lixiviación.

Deficiencia de calcio, de magnesio, y de potasio

Los Oxisoles y Ultisoles de sabanas y bosques tropicales, donde hay altas precipitaciones, presentan baja capacidad de retención de calcio, magnesio y potasio (Rodríguez, 1975). En consecuencia, en muchos de estos suelos el Ca, el Mg y el K disponibles para las plantas están por debajo de 0.4, 0.2 y 0.08 meq/100 g, que se consideran niveles críticos de deficiencia para el establecimiento de gramíneas y leguminosas forrajeras.

Deficiencia de azufre

El azufre es otro de los nutrimentos que limitan el uso de los suelos ácidos (Gualdrón y Salinas, 1981). A pesar de su baja disponibilidad (< 12 ppm), raras veces se ha informado de deficiencias de S en las plantas forrajeras. Dos razones explican este hecho: el S necesario para las plantas llega a través de fertilizantes fosfóricos como el superfosfato simple (Blair, 1979), y el azufre lixiviado de la capa arable es retenido en el subsuelo. Eventualmente, las plantas adaptadas a la acidez del suelo utilizan este azufre. El resto del azufre presente en el suelo se encuentra en forma orgánica, y su disponibilidad para las plantas depende de la capacidad de mineralización del suelo. Los Andosoles y los

Inceptisoles que han recibido cenizas volcánicas pueden ser deficientes en S a causa del alto grado de inmovilización de ese elemento cuando está ligado a la materia orgánica.

Deficiencia de micronutrientes

Los contenidos de zinc, cobre, boro y molibdeno son generalmente bajos en los suelos ácidos. Sin embargo, la acidez del suelo favorece la disponibilidad de todos excepto la del Mo.

De los micronutrientes, el zinc se considera el más limitante para el establecimiento de gramíneas y leguminosas forrajeras tolerantes a la acidez. Sus deficiencias son particularmente agudas en suelos arenosos cuyo contenido de materia orgánica es bajo. En experimentos hechos en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia, cuyo contenido de arena es 65%, se encontró que, en la fase de establecimiento, *C. acutifolium* fue muy sensible a la deficiencia de zinc, mientras que *Stylosanthes capitata* resultó menos afectado (CIAT, 1989). El nivel de zinc disponible en este suelo era inferior a 0.5 ppm, el cual se considera crítico en Cox y Kamprath (1972). La deficiencia de zinc puede afectar también el establecimiento y la productividad de algunas gramíneas. *Andropogon gayanus* respondió significativamente a la adición de 2 kg/ha de Zn cuando fue sembrado en un Oxisol de textura arenosa (Salinas y Saif, 1989).

El efecto de la aplicación de Cu, B y Mo en el desarrollo inicial de gramíneas y leguminosas forrajeras en un Oxisol francoarcilloso fue leve y variable (CIAT, 1981). Sin embargo, se espera que la deficiencia de esos elementos sea más intensa en los suelos arenosos y en los que reciban aplicaciones altas de fósforo y cal.

Selección de Especies Forrajeras Tolerantes a Suelos Ácidos Escasos en Nutrientes

Un modo de neutralizar el efecto tóxico del aluminio y del manganeso, y de corregir la baja disponibilidad de nutrientes en el suelo, es la aplicación de enmiendas y fertilizantes. En la Figura 2 se indica que para elevar el pH del suelo y reducir la saturación de aluminio hasta niveles adecuados a las especies no adaptadas, es necesario aplicar

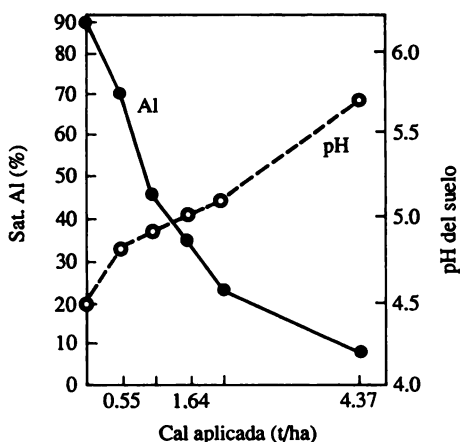


Figura 2. Efecto de la aplicación de cal dolomítica en el nivel de saturación de Al y en el pH de un Oxisol de Carimagua, Colombia.

aproximadamente 4 t de cal. Lo mismo ocurre si se trata de hacer disponible el fósforo, como se mencionó anteriormente. Estos son los métodos costosos de solucionar el problema, y son poco aplicables en las zonas marginales donde la infraestructura es deficiente. Por esta razón, los esfuerzos de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) se han concentrado, de una parte, en la selección de especies tolerantes a las principales limitaciones de estos suelos, y de otra, al manejo adecuado de la fertilidad del suelo.

Tolerancia a la toxicidad del aluminio

La evaluación de especies forrajeras recolectadas en América, Asia y África tropical—en suelos con alta saturación de aluminio y baja disponibilidad de nutrientes—ha dado como resultado la obtención de plantas tolerantes a estos factores. En la Figura 3 se muestra el comportamiento de varias gramíneas y leguminosas en suelos en que el nivel de cal es diferente; se observa allí que las especies adaptadas a la acidez del suelo sólo responden a aplicaciones de 0.5 t cal/ha, mientras que las especies no adaptadas responden a los niveles altos de cal. Esto indica que existe una tolerancia diferencial al aluminio, y que la

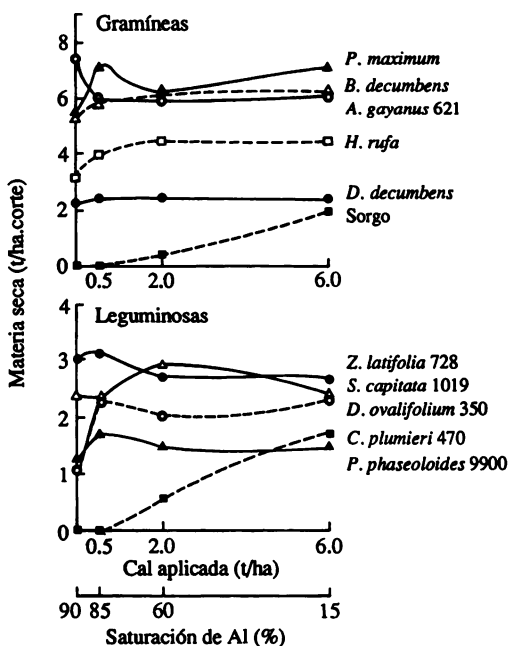


Figura 3. Respuesta de varias gramíneas y leguminosas forrajeras al encalado del suelo, en un Oxisol de Carimagua, Colombia. La producción de materia seca es un promedio de 4 ó 5 cortes, para las gramíneas, y es el primer corte, en las leguminosas. La producción de sorgo es de grano (t/ha).

respuesta a las bajas adiciones de cal en las especies tolerantes se debe esencialmente al suministro de Ca y de Mg.

Trabajos posteriores han permitido comprobar la respuesta diferencial al estrés causado por exceso de Al y deficiencia de P en gramíneas y leguminosas. En condiciones de 95% de saturación de Al, en un Oxisol de Carimagua, en Colombia, se encontró que *B. humidicola*, *B. decumbens*, *A. gayanus* y *B. brizantha* produjeron una cantidad de materia seca significativamente mayor que *Panicum maximum* 606, *B. ruziziensis* 664, *B. radicans* 6020, y *B. mutica* 6047 (CIAT, 1980). Asimismo, entre las leguminosas, *Stylosanthes capitata* 1315 y *Desmodium ovalifolium* tuvieron un buen comportamiento, en condiciones de alto estrés de Al, en comparación con especies de los géneros *Zornia* y de *Stylosanthes hamata*. El mayor grado de tolerancia al aluminio estuvo relacionado, generalmente, con el sitio de origen.

Aunque los mecanismos de tolerancia al Al no están plenamente identificados, se sabe que las plantas tolerantes a él han experimentado cambios fisiológicos y bioquímicos a nivel de la rizosfera, capaces de neutralizar el efecto tóxico del aluminio y mantener una adecuada tasa de absorción de otros nutrimentos (Foy, 1974; 1976; 1977; Foy y Brown, 1964).

En un estudio para determinar el efecto del aluminio en el crecimiento de tres especies de *Stylosanthes*, Ayarza y Salinas (1982) observaron que la presencia de aluminio en la solución nutritiva había reducido en casi un 70% el crecimiento radicular de *S. sympodiales*, en tanto que *S. capitata* y *S. guianensis* sufrieron una reducción en el crecimiento radicular de apenas 19%. Las especies menos sensibles al aluminio fueron capaces de elevar el pH de la solución nutritiva, y de acumular el aluminio absorbido en el espacio libre intercelular de las raíces, disminuyendo así su efecto tóxico. En las gramíneas se ha observado que especies tolerantes al Al, como *A. gayanus*, mantienen una concentración de aluminio en las hojas menor que las especies menos tolerantes, como *Digitaria decumbens* y *Panicum maximum* (Salinas y Delgadillo, 1980). Este resultado puede deberse a mecanismos de exclusión del Al similares a los observados en leguminosas.

Tolerancia a la toxicidad del manganeso

Hay varios trabajos que señalan la existencia de la tolerancia diferencial al manganeso en algunas especies de gramíneas y leguminosas. En el Cuadro 1 se muestra el rango de tolerancia a ese elemento de nueve leguminosas tropicales; en ellas, la tolerancia estuvo asociada con la acumulación de manganeso en las hojas. En los Cuadros 2 y 3 se presenta el índice relativo de tolerancia al manganeso de varios géneros y ecotipos de gramíneas y leguminosas sembradas en un Ultisol de CIAT-Quilichao. La tolerancia diferencial al manganeso fue mayor entre ecotipos de una misma especie que entre las especies.

Tolerancias a la baja disponibilidad de fósforo

Los problemas causados por la deficiencia de fósforo en los suelos ácidos se presentan junto con la toxicidad causada por el aluminio (Salinas y Saif, 1989). Por esta razón, las especies que resultan ser

Cuadro 1. Rango de tolerancia a diferentes concentraciones de manganeso en varias leguminosas forrajeras tropicales.

Especie forrajera	Rango de tolerancia ^a	Mn en parte aérea de planta (ppm)
<i>Centrosema pubescens</i>	1	1600
<i>Stylosanthes humilis</i>	2	1140
<i>Lotononis bainesii</i>	3	1320
<i>Desmodium uncinatum</i>	4	1160
<i>Macroptilium lathyroides</i>	5	840
<i>Leucaena leucocephala</i>	6	550
<i>Glycine wightii</i>	7	560
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	8	810
<i>Medicago sativa</i>	9	380

a. 1 = tolerante; 9 = susceptible.

FUENTE: Souto y Döbereiner, 1969.

Cuadro 2. Producción de materia seca y tolerancia diferencial a la toxicidad del Mn de varias especies y ecotipos de leguminosas tropicales, bajo condiciones de campo.

Especie	Ecotipo	MS (t/ha.año)		Índice relativo (Alto Mn/Bajo Mn)
		Bajo Mn (10 ppm)	Alto Mn (86 ppm)	
<i>Stylosanthes capitata</i>	1315	2.14	2.31	1.07
	1019	1.95	2.01	1.03
<i>Stylosanthes guianensis</i>	136	4.82	6.21	1.29
	184	5.39	5.80	1.07
<i>Stylosanthes hamata</i>	147	4.78	5.05	1.05
<i>Centrosema macrocarpum</i>	5065	3.11	2.72	0.87
<i>Centrosema brasilianum</i>	5237	2.10	2.52	1.20
<i>Centrosema pubescens</i>	5118	1.26	1.95	1.54
	438	3.16	2.55	0.80
	Común	2.47	1.89	0.76
<i>Desmodium ovalifolium</i>	350	3.95	4.52	1.14
<i>Desmodium heterophyllum</i>	349	2.80	2.36	0.84
<i>Pueraria phaseoloides</i>	9900	4.79	5.79	1.20
<i>Zornia latifolia</i>	728	1.54	1.27	0.82

FUENTE: CIAT, 1981.

Cuadro 3. Producción de materia seca y tolerancia diferencial a la toxicidad del Mn de varias especies de gramíneas tropicales, bajo condiciones de campo.

Especie	Ecotipo	MS (t/ha.año)		Índice relativo (Alto Mn/Bajo Mn)
		Bajo Mn (10 ppm)	Alto Mn (86 ppm)	
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	654	2.88	3.00	1.04
	655	4.86	3.10	0.64
<i>Brachiaria decumbens</i>	606	5.52	6.69	1.21
	6130	3.37	3.19	0.95
<i>Brachiaria humidicola</i>	675	2.66	2.63	0.98
	679	5.73	2.78	0.48
<i>Brachiaria brizantha</i>	665	5.74	6.05	1.05
	667	5.44	3.29	0.60
<i>Andropogon gayanus</i>	621	3.70	4.01	1.08
	6200	6.07	4.39	0.72
<i>Panicum maximum</i>	661	3.14	4.45	1.42
	684	2.28	1.95	0.85
<i>Pennisetum purpureum</i>	658	10.00	8.73	0.87

FUENTE: CIAT, 1981.

tolerantes al aluminio son, por lo regular, eficientes en utilizar bajas dosis de P (Foy, 1976). Los trabajos de Andrew y Robins (1969) fueron los primeros en demostrar que hay plantas capaces de utilizar bajos niveles de P. En un estudio sobre soluciones nutritivas, *Stylosanthes humilis* y *Centrosema pubescens* presentaron requerimientos internos de fósforo mucho menores que especies como *Medicago sativa* (alfalfa) y *Glycine wightii* (soja forrajera). Dentro del germoplasma seleccionado por la red, *S. capitata* y *S. guianensis*—y últimamente *A. pintoi* y *C. acutifolium*—se establecen bien en suelos que tengan muy bajos niveles de P disponible (3.5 ppm, Bray II). Resultados similares se han observado en gramíneas como *A. gayanus* y *B. humidicola*.

En la literatura se menciona que los mecanismos de tolerancia a la baja disponibilidad de fósforo están relacionados con tres características de las plantas: a) mayor capacidad radicular; b) efectiva asociación con micorrizas; y c) eficiente utilización del fósforo extraído por

la planta. Las diferencias que presenta el sistema radicular—en su capacidad de utilizar el P—han sido poco estudiadas en las especies forrajeras, en tanto que el papel de la micorriza en esta función ha sido plenamente reconocido.

Respecto al crecimiento radicular se ha observado lo siguiente: desde las fases tempranas de desarrollo, algunas gramíneas y leguminosas tolerantes a la acidez producen más raíces que parte aérea. Este mecanismo incrementaría su capacidad de explotación del P. Por otro lado, la efectiva asociación de los hongos micorrícicos con las raíces incrementa el volumen de suelo explorado por éstas, y contribuye así a una mejor utilización del fósforo disponible (Salinas y Saif, 1989). Se sabe también que especies tolerantes a la baja disponibilidad de P, como *A. gyanus* y *B. decumbens*, son altamente dependientes de su asociación con la micorriza (Saif, 1987).

Requerimientos Externos e Internos de Nutrimientos en Plantas Forrajeras que se Establecen

Para definir los requerimientos nutricionales del germoplasma forrajero adaptado a la acidez del suelo se ha aplicado el siguiente criterio: obtener la mayor productividad posible de forraje en la época de establecimiento de las especies en la pastura, con la menor adición posible de insumos (Sánchez y Salinas, 1981). Esta última condición no significa la eliminación total de la fertilización, sino la reducción de las cantidades iniciales de los fertilizantes; así se estimulará al máximo la habilidad de las plantas para producir aun disponiendo de bajos niveles de nutrimentos. Con este criterio se han determinado las concentraciones críticas internas de varios nutrimentos en el tejido de gramíneas y leguminosas forrajeras, y los requerimientos de fertilización necesarios para lograr un 80% de la producción máxima de materia seca (Ulrich, 1952).

Requerimientos de fósforo

A pesar de la tolerancia de las especies forrajeras seleccionadas por la RIEPT a los bajos niveles del P disponible en el suelo, es necesario

aplicar fósforo al momento de la siembra. La razón es que las plántulas recién emergidas requieren fósforo fácilmente asimilable para iniciar bien los procesos energéticos de fotosíntesis y de absorción de otros nutrientes. Se ha calculado que estos requerimientos iniciales equivalen a aplicar 20 kg/ha de P a voleo ó 5 kg/ha en banda, en un Oxisol arcilloso de Carimagua (Cuadro 4). Esta fertilización puede ser más alta en suelos que tengan mayor capacidad de fijación de P, como son algunos Oxisoles de Brasil y ciertos Andosoles de América Central.

Requerimientos de Ca y de Mg

Los trabajos de campo realizados en suelos con bajo contenido de Ca y de Mg intercambiables han mostrado que las especies seleccionadas por la RIEPT tienen requerimientos internos y externos más bajos que las especies tradicionales. En el Cuadro 5 se presentan los requerimientos de Ca de varias gramíneas y leguminosas establecidos en un

Cuadro 4. Requerimientos de fósforo en la fertilización y niveles internos óptimos de ese elemento, en el establecimiento de varias especies forrajeras, en un Oxisol de Carimagua, Colombia.

Especie	Ecotipo	Fertilización (kg/ha de P)	Nivel óptimo interno en el tejido (%)
Gramíneas			
<i>Andropogon gayanus</i>	621	20	0.10
<i>Brachiaria humidicola</i>	679	10	0.08
<i>Brachiaria decumbens</i>	606	20	0.08
<i>Brachiaria dictyoneura</i>		20	0.09
<i>Brachiaria brizantha</i>	665	20	0.09
<i>Panicum maximum</i>			
Leguminosas			
<i>Desmodium ovalifolium</i>	350	20	0.10
<i>Pueraria phaseoloides</i>	9900	20	0.22
<i>Stylosanthes capitata</i>	1019	20	0.11
<i>Centrosema macrocarpum</i>	5065	10	0.16
<i>Codariocalyx gyroides</i>	3001	35	0.17
<i>Arachis pintoi</i>	20	0.18	

FUENTES: CIAT, 1981; 1988.

Cuadro 5. Nivel crítico externo (NCE) y nivel crítico interno (NCI) de calcio en diversos ecotipos de gramíneas y leguminosas forrajeras sembrados en un Oxisol de Carimagua, en la época lluviosa de los Llanos Orientales de Colombia.^a

Especie	Ecotipo	NCE de Ca (kg/ha)	NCI de Ca (%)
Gramíneas			
<i>Brachiaria humidicola</i>	CIAT 679	50	0.22
<i>Andropogon gayanus</i>	CIAT 621	100	0.23
<i>Brachiaria decumbens</i>	CIAT 606	100	0.37
<i>Brachiaria brizantha</i>	CIAT 665	100	0.37
<i>Panicum maximum</i>	CIAT 604	600	0.60
<i>Digitaria decumbens</i>	CIAT 659	560	0.42
Leguminosas			
<i>Stylosanthes capitata</i>	CIAT 1019	100	0.93
<i>Stylosanthes capitata</i>	CIAT 1405	200	0.96
<i>Desmodium ovalifolium</i>	CIAT 350	100	0.74
<i>Pueraria phaseoloides</i>	CIAT 9900	100	1.04
<i>Centrosema macrocarpum</i>	CIAT 5065	100	0.72
<i>Arachis pintoi</i>	CIAT 17434	100	1.77

a. Requerimientos críticos asociados con 80% de la producción máxima de materia seca.

FUENTE: CIAT, 1981.

Oxisol de Carimagua; hay gramíneas como *B. humidicola* y *A. gayanus* en que ese requerimiento de Ca es más bajo que el de especies tradicionales como *Panicum maximum* o *Digitaria decumbens*, y hay leguminosas cuyo requerimiento interno de Ca es mayor que el de las gramíneas. Sin embargo, los requerimientos de fertilización son similares para gramíneas y leguminosas, y oscilan entre 100 y 200 kg/ha de Ca.

Respecto a la fertilización con Mg, se ha determinado que las concentraciones críticas internas, en gramíneas y leguminosas, están alrededor de 0.20% y 0.30%, respectivamente, porcentajes que equivalen a una aplicación de 10 kg/ha de Mg (Salinas y García, 1985). Algunas leguminosas, como *P. phaseoloides* y *A. pintoi*, presentan requerimientos de magnesio más altos (CIAT, 1984).

Requerimientos de N y de K

Todas las gramíneas tienen requerimientos internos de N similares. Sin embargo, los requerimientos externos de fertilización pueden variar entre ellas. Esto se demostró con experimentos de campo llevados a cabo en un Ultisol de CIAT-Quilichao, Colombia, aplicando niveles de 0 a 400 kg/ha de N. Los resultados mostraron que *Panicum maximum* y *Brachiaria decumbens* respondieron a las aplicaciones de 200 kg/ha de N (CIAT, 1979). En cambio, la gramínea *Andropogon gayanus* mantuvo un alto nivel de producción sin aplicación de nitrógeno. Este resultado se asoció con la mayor habilidad de *A. gayanus* para utilizar el nitrógeno nativo del suelo debido a su profuso sistema radicular. En las otras gramíneas en que la respuesta fue similar a la de *A. gayanus*, ésta se relacionó con su efectiva asociación con microorganismos fijadores de N (Boddey y Victoria, 1986). La demanda de N de las leguminosas se satisface mediante una eficiente fijación del nitrógeno atmosférico.

El requerimiento interno de K en gramíneas y en leguminosas es variable; generalmente depende de la especie (Cuadro 6). Sin embargo, las leguminosas tienen mayor necesidad de estos elementos que las gramíneas. La fertilización potásica necesaria para el establecimiento de las especies forrajeras adaptadas a un Oxisol de Carimagua, donde el nivel de potasio disponible en el suelo es bajo (< 0.10 meq/100 g), es de 10 a 20 kg/ha de K (Cuadro 6). Si el suelo tiene un contenido de K intercambiable mayor de 0.15 meq/100 g no será necesario fertilizarlo con potasio al momento del establecimiento.

Requerimientos de S y de micronutrientos

En general, las especies forrajeras adaptadas a la acidez del suelo tienen un bajo requerimiento interno de azufre. Estas plantas necesitan, en promedio, 0.15% de S (azufre) en sus tejidos, para que la relación N:S en las proteínas sea de 15:1 (Salinas y Saif, 1989). En el Cuadro 7 se presentan los niveles críticos de S de varias gramíneas y leguminosas sembradas en un Oxisol francoarcilloso de Carimagua. Estos niveles se obtuvieron en plantas que no recibieron S. Esto se explica por la mineralización del S orgánico al momento de la preparación del suelo

(CIAT, 1981). La fertilización con S se hace más importante en suelos arenosos cuyo nivel de materia orgánica es bajo. En estos casos es necesario aplicar de 10 a 20 kg/ha de S.

Cuadro 6. Nivel crítico externo (NCE) y nivel crítico interno (NCI) de potasio en cuatro gramíneas tropicales, durante la fase de establecimiento en una pastura de la sabana bien drenada isohipertérmica.

Especie	Ecotipo	NCE de K ^a (kg/ha)	NCI de K ^a (%)
<i>Andropogon gayanus</i>	621	20	0.95
<i>Brachiaria humidicola</i>	679	10	0.74
<i>Brachiaria decumbens</i>	606	20	0.83
<i>Brachiaria brizantha</i>	665	20	0.82
<i>Desmodium ovalifolium</i>	350	20	1.03
<i>Pueraria phaseoloides</i>	9900	20	1.22
<i>Stylosanthes capitata</i>	1019	20	1.15
<i>Centrosema macrocarpum</i>	5065	10	1.24
<i>Arachis pintoi</i> ^b	17434	20	1.30

a. Niveles críticos asociados con 80% de producción máxima obtenida a las ocho semanas de crecimiento.

b. Ver Grof, 1985.

Cuadro 7. Nivel crítico interno de S en la planta, y su relación con el azufre disponible en el suelo, en el establecimiento de varias gramíneas y leguminosas en un Oxisol de Carimagua.

Especie	S disponible (ppm)	S en tejidos (%)	Referencia
<i>P. maximum</i> 604	14	0.15	Salinas y Saif, 1989
<i>B. decumbens</i> 606	13	0.16	Salinas y Saif, 1989
<i>A. gayanus</i> 621	12	0.15	Salinas y Saif, 1989
<i>B. humidicola</i> 679	11	0.14	CIAT, 1981
<i>D. ovalifolium</i> 350	24	0.13	CIAT, 1981
<i>P. phaseoloides</i> 9900	24	0.12	CIAT, 1981
<i>S. capitata</i> 1315	24	0.13	CIAT, 1981

Los requerimientos externos de micronutrientes, en la mayoría de las especies forrajeras seleccionadas en la RIEPT, son bajos. En el Cuadro 8 se presenta una guía de las concentraciones de estos nutrientes, en el tejido y en el suelo, asociadas con los síntomas de deficiencia y de toxicidad de ellos, para las gramíneas tropicales; aparecen además los niveles de aplicación recomendados. Para las leguminosas se podrían tomar valores similares a éstos.

Cuadro 8. Rangos de concentración de micronutrientes en los cuales éstos causan deficiencia o toxicidad en especies forrajeras tropicales sembradas en varios tipos de suelo.

Micronutriente	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: Salinas y Saif, 1989.

Manejo de la Fertilización en el Establecimiento de Especies Tolerantes a la Acidez del Suelo

Una estrategia importante para reducir las cantidades de fertilizante que deben aplicarse es la de combinar fuentes, dosis y métodos de fertilización con métodos de siembra que maximicen el uso eficiente que hacen del fertilizante las plántulas recién establecidas. En el caso de la fertilización fosfórica, el efecto de las rocas fosfóricas en el establecimiento de una pastura ha sido similar al de las fuentes convencionales (Fenster y León, 1978; Toledo y Morales, 1978). Una ventaja adicional de las rocas fosfóricas es su aporte de Ca y de otros nutrientes, necesarios también para el establecimiento de especies forrajeras en suelos ácidos.

Otra alternativa para reducir la cantidad requerida de fósforo es la aplicación del fertilizante en bandas. Spain et al. (1989) observaron que *A. gayanus* + *C. acutifolium* y *B. dictyoneura* + *D. ovalifolium* se establecieron en forma similar cuando recibieron 5 kg/ha de P en bandas al momento de la siembra que cuando se les aplicaron 20 kg/ha a voleo. Esto se debió a la mayor concentración del fósforo cerca de la semilla, lo que favoreció particularmente a la gramínea. En estos ensayos se utilizó el superfosfato triple, que es una fuente de alta solubilidad. Si se aplicaran rocas fosfóricas en bandas, los resultados podrían ser negativos.

Un componente de manejo que aumentaría la eficiencia con que las plantas usan el fósforo disponible es la conservación de una efectiva simbiosis con el hongo de la micorriza. Los trabajos de Salinas et al. (1985) mostraron que existe una notoria interacción entre las tasas de aplicación de P y la inoculación con los hongos de la micorriza. Los mejores resultados se obtuvieron con niveles bajos de P y en presencia de la micorriza. Se ha observado también que hay mejor utilización del P de las rocas fosfóricas en presencia de micorrizas (Salinas y Saif, 1989).

Las fuentes de potasio diferentes de las fuentes convencionales (sulfatos, cloruros y nitratos) que se usan para el establecimiento de gramíneas y leguminosas han sido evaluadas en experimentos de invernadero y de campo (CIAT, 1984). Los estudios agronómicos han mostrado que si se aplican de 20 a 40 kg/ha de Mg y de 40 a 80 kg/ha de K a *B. decumbens* y a *P. phaseoloides*, empleando feldespatos, se obtiene una producción de materia seca similar a la obtenida con niveles de 10 kg/ha de Mg y de 20 kg/ha de K procedentes de fuentes solubles. Además, el efecto residual de los feldespatos es mayor.

Aunque las especies seleccionadas por la RIEPT están adaptadas a la acidez del suelo y a la baja disponibilidad de nutrimentos, se ha observado que pueden también responder a niveles altos de fertilidad. Los resultados de la siembra simultánea de arroz con gramíneas (como *A. gayanus*, *B. dictyoneura*) y con leguminosas (como *C. acutifolium* y *S. capitata*) en varios suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia mostraron que el establecimiento de estas especies, cuando aprovechaban el fertilizante aplicado al arroz, fue más rápido que su

establecimiento con los niveles de fertilización recomendados para pastos (CIAT, 1989).

Diagnóstico de las Deficiencias Nutricionales de Especies Forrajeras

Uno de los pasos iniciales para determinar si es necesario adicionar un nutrimento particular es el examen cuidadoso de la fertilidad natural del suelo. En el Cuadro 9 se presenta una clasificación tentativa de la fertilidad del suelo, que serviría como guía para identificar la limitación específica de algún nutrimento; señalaría también la necesidad de corregir la deficiencia de éste al momento de establecer gramíneas y leguminosas adaptadas a la acidez del suelo.

Cuadro 9. Clasificación de la fertilidad natural del suelo para el establecimiento de pasturas tropicales.

Parámetro del suelo	Nivel de fertilidad			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
pH	< 4.5	4.5-5.5	5.5-6.5	> 6.5
P (ppm) ^a	< 2	2-5	5-10	> 10
K (meq/100 g) ^a	< 0.05	0.05-0.10	0.10-0.15	> 0.15
Mg (meq/100 g) ^b	< 0.08	0.08-0.12	0.12-0.20	> 0.20
Saturación Al (%) ^b	> 80	60-80	20-60	< 20
Saturación Ca (%) ^b	< 20	20-40	40-60	> 60
Saturación Mg (%) ^b	< 5	5-15	15-30	> 30
S (ppm)	< 10	10-15	15-20	> 20
Zn (ppm) ^c	< 0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	> 1.5
Cu (ppm) ^c	< 0.5	0.5-1.0	1-3	> 3
B (ppm) ^c	< 0.3	0.3-0.5	0.5-1.0	> 1
Mn (ppm) ^c	< 1	1-5	5-10	> 10
Mn (ppm) ^d	> 80	50-80	20-50	< 20

a. Extractor: solución Bray-II.

b. Extractor: con KCl 1N. Calculados individualmente en base porcentual relacionada con los tres elementos.

c. Extractor: ácido doble 1:4.

d. Extractor: KCl 1N. Los contenidos de Mn se refieren al grado de toxicidad del elemento y no al requerimiento nutricional.

FUENTE: Salinas y García, 1985.

Otra forma de detectar deficiencias nutricionales después de la germinación de la semilla o de la emergencia de las plántulas, es la observación visual del estado de éstas. Aunque los síntomas de deficiencia y de toxicidad son específicos para cada elemento, la intensidad de los síntomas varía según la especie vegetal y los factores climáticos. Por ello, es necesario que el observador tenga suficiente experiencia en la identificación de síntomas. No obstante, los síntomas visuales son una guía para su corrección. A continuación se presenta una breve descripción de los principales síntomas de deficiencia nutricional de las plantas forrajeras, tomada del trabajo de Salinas y Sanz (1981).

Nitrógeno. En las leguminosas y gramíneas la deficiencia de N se manifiesta en la reducción del crecimiento, y en una clorosis de las hojas viejas. Si la deficiencia es severa, la clorosis se generaliza y va acompañada de enrojecimiento y necrosis de los bordes de las hojas.

Fósforo. La deficiencia de fósforo se manifiesta, en general, por una reducción del crecimiento. Las hojas de las leguminosas adquieren un color verde intenso anormal—por acumulación de N en el tejido—y toman una consistencia acartonada. En las gramíneas, las hojas viejas adquieren una coloración púrpura que se extiende, según la severidad de la deficiencia, a las hojas jóvenes.

Potasio. La deficiencia de potasio produce clorosis en el ápice de las hojas viejas; viene luego la necrosis de las hojas y la defoliación. En *P. phaseoloides*, por ejemplo, las clorosis son muy fuertes; en otras leguminosas, como *Stylosanthes* spp. y *Centrosema* spp., los síntomas de deficiencia son menos aparentes en el tejido foliar. En las gramíneas, los síntomas de esta deficiencia son similares a los de las leguminosas: se inician en el ápice de las hojas y avanzan hacia la base de éstas.

Azufre. Los síntomas de deficiencia son similares a los del nitrógeno. Sin embargo, la clorosis es más evidente en las hojas jóvenes. Las hojas viejas conservan su color verde.

Cobre. En las leguminosas, la deficiencia de este elemento se manifiesta por una clorosis que afecta a las hojas jóvenes. Si la deficiencia es severa, se presenta un enrojecimiento de los bordes de los folíolos, la abscisión de las hojas jóvenes, y la muerte de los meristemas.

Zinc. El síntoma general de deficiencia es una clorosis en las hojas jóvenes y el encrespamiento de los folíolos. Cuando la deficiencia es severa, los bordes de las hojas se enroscan hacia arriba y la necrosis de la hoja se extiende del centro a los bordes.

Hierro. El síntoma inicial es la clorosis intervenal de las hojas jóvenes, distribuida uniformemente. Si la deficiencia es severa, hay además abscisión abundante y muerte de las guías de la planta. En las gramineas se presentan síntomas similares.

Boro. Debido a la escasa movilidad del boro, los síntomas de su deficiencia aparecen inicialmente en los puntos de crecimiento activo, y luego ocurre la necrosis de las hojas jóvenes. Se produce además una deformación de las hojas y un encrespamiento de los folíolos. También se producen numerosos rebrotes en forma de roseta, que mueren al poco tiempo.

Molibdeno. La clorosis de su deficiencia se manifiesta cuando ocurre una deficiencia de nitrógeno, y va acompañada por una necrosis causada por la acumulación de nitratos.

Conclusiones y Necesidades de Investigación

Los resultados de este trabajo indican que es posible establecer pasturas mejoradas en suelos que tengan una alta saturación de aluminio y una baja disponibilidad de nutrimentos. El método consiste en sembrar especies tolerantes a la acidez del suelo y en aplicar bajas cantidades de fertilizantes. Ahora bien, nuevas evidencias plantean la necesidad de hacer más investigación básica y aplicada en el campo de la nutrición de las especies forrajeras para determinar el grado de adaptación de éstas en función de la textura del suelo. Se ha observado, por ejemplo, que *S. capitata* cv. Capica se comporta mejor en suelos arenosos, mientras que *A. pinto* se adapta mejor a suelos más arcillosos. Otras especies se adaptan igualmente bien a ambos tipos de suelo. No se conocen aún con exactitud las razones de tal comportamiento.

Es necesario, por lo tanto, identificar los mecanismos responsables de la adaptación de las plantas a determinada condición específica del

suelo en los siguientes términos: a) diferencias en el consumo de nutrientes entre gramíneas y leguminosas, y de especies dentro de cada una de estas familias; b) diferencias en el crecimiento de las raíces; y c) habilidad de las plantas para incrementar la disponibilidad de los nutrientes del suelo mediante la producción de enzimas. Con esta información será posible mejorar las recomendaciones que se hacen sobre la fertilización de un predio, y explicar el efecto de la fertilidad del suelo en el comportamiento de las plantas.

Referencias

- Ali, M. E. 1973. Influence of cations on aluminum toxicity in wheat (*Triticum aestivum* (Vill) Host). Tesis (Ph.D.). Oregon State University, Corvallis, OR, E. U.
- 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.
- Ayarza, M. A. y Salinas, J. G. 1982. Estudio comparativo de la tolerancia al aluminio en tres leguminosas forrajeras. Suelos Ecuatoriales 12(1):110-126. (Español e inglés.)
- Blair, G. 1979. Sulphur in the tropics. International Fertilizer Development Center (IFDC), Muscle Shoals, Alabama, E. U. s.p.
- Boddey, R. M. y Victoria, R. L. 1986. Estimations of biological nitrogen fixation associated with *Brachiaria* and *Paspalum* grasses using ^{15}N labelled organic matter and fertilizer. Plant & Soil 90:265-292.
- Cate, R. B. Jr. y Sukhai, A. P. 1964. A study of aluminum in rice soils. Soil Sci. 98:85-93.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1978. Informe anual 1977; Programa de Ganado de Carne. Cali, Colombia. p. A1-A124.
- _____. 1979. Informe anual 1978; Programa de Ganado de Carne. Cali, Colombia. p. B1-B188.
- _____. 1980. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales 1979. Cali, Colombia. p. 63-182.
- _____. 1981. Programa de Pastos Tropicales: Informe 1980. Cali, Colombia. p. 57-116.

- _____. 1982. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales 1981. Cali, Colombia. p. 171-248.
- _____. 1984. Programa de Pastos Tropicales: Informe anual 1982. Cali, Colombia. p. 187-302.
- _____. [1985]. Informe anual 1983; Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia. p. 179-320.
- _____. 1985. Informe anual 1984; Programa de Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 5. Cali, Colombia. p. 133-232.
- _____. 1986. Informe anual 1985; Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 17. Cali, Colombia. p. 216-304.
- _____. 1987. Informe anual 1986; Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 24. Cali, Colombia. p. 191-273.
- _____. 1988. Informe anual 1987; Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 45. Cali, Colombia. p. 10-1 a 15-24.
- _____. 1989. Informe anual 1988; Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 59. Cali, Colombia. p. 10-1 a 15-16.
- Clarkson, D. T. 1965. The effect of aluminum and some other trivalent cations on cell division in root apices of allium cepa. *Ann. Bot. (London)* N.S. 28:309-315.
- _____. 1966. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiol.* 41:165-172.
- _____. 1967. Phosphorus supply and growth rate in species of *Agrostis*. *L. J. Ecol.* 55:111-118.
- _____. 1969. Metabolic aspects of aluminum toxicity and some possible mechanisms for resistance. En: Rorison, I. H. (ed.). *Ecological aspects of the mineral nutrition of plants*. British Ecological Society Symposium No. 9. Blackwell Scientific Pub., Oxford. p. 381-397.
- _____. 1971. Inhibition of uptake and long distance transport of calcium by aluminum and other polyvalent cations. *J. Exp. Bot.* 22:837-851.
- Cox, F. R. y Kamprath, E. J. 1972. Micronutrients soil tests. En: Morvett (ed.). *Micronutrients in agriculture: Proceedings of a symposium held at Muscle Shoals, Alabama, 1972*. Soil Science Society of America, Madison, WI, E.U. p. 289-317.
- Evans, C. E. y Kamprath, E. J. 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:893-896.

- Fassbender, H. W.; Müller, L. y Balerdi, F. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central; 2: Formas y su relación con las plantas. Turrialba (Costa Rica) 18(4):333-347.
- Fenster, W. E. y León, L. A. 1978. 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 los suelos ácidos de los trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 119-133.
- Fleming, A. L. y Foy, C. D. 1968. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. Agron. J. 60:172-176.
- Foy, C. D. 1964. Toxic factors in acid soils; 2: Differential aluminum tolerance of plant species. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:27-32.
- _____. 1974. Effects of aluminum on plant growth. En: Carson, E. W. (ed.). The plant root and its environment. University Press of Virginia. p. 602-642.
- _____. 1975. Plant adaptation to mineral stresses in problem soils. Trabajo presentado en el Annual Northeastern Regional Grassland Council Meeting, Blackwater Falls, West Virginia, E.U. 15 p.
- _____. 1976. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. Ciencia e Cultura 28(2):15-155.
- _____. 1977. General principles involved in screening plants for aluminum and manganese tolerance. En: Wright, M. J. (ed.). Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell University, Ithaca, Nueva York. p. 255-267.
- _____ y Brown, J. C. 1964. Toxic factors on acid soils; 1: Characterization of aluminum toxicity in cotton. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27:403-407.
- Grof, B. 1985. *Arachis pinto*, una leguminosa forrajera promisorio para los Llanos Orientales de Colombia. Pasturas tropicales (CIAT) 7(1):4-5.
- Gualdrón, R. y Salinas, J. G. 1981. El azufre en suelos de los Llanos Orientales de Colombia. Suelos Ecuatoriales 12(2):221-230.
- Hewitt, E. J. 1963. The essential nutrient elements: Requirements and interactions in plants. En: Steward, F. D. (ed.). Plant physiology; inorganic nutrition of plants. Academic Press, Londres. v. 3, p. 137-360.
- Heylar, K. R. 1978. Effects of aluminum and manganese toxicities on legume growth. En: Andrew, S. C. y Kamprath, E. J. (eds.). Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Melbourne, Australia. p. 207-231.

- Lafever, H. N.; Campbell, L. G. y Foy, C. D. 1977. Differential response of wheat cultivars to aluminum. *Agron. J.* 69:563-568.
- Lohnis, M. P. 1951. Manganese toxicity in field and market garden crops. *Plant & Soil* 3:193-222.
- McLean, E. D. 1976. Chemistry of soil aluminum. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 7:619-636.
- Nye, P.; Craig, D.; Coleman, N. T. y Ragland, J. L. 1961. Ion exchange equilibria involving aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25:14-17.
- Quellete, G. J. y Dessureaux, L. 1958. Chemical composition of alfalfa as related to degree of tolerance to manganese and aluminum. *Can. J. Plant Sci.* 38:206-214.
- Reid, D. A.; Fleming, A. L. y Foy, C. D. 1971. A method for determining aluminum response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al toxic soil. *Agron. J.* 63:600-603.
- Rodríguez, M. S. 1975. Calcium, magnesium and potassium status in some soils of the Eastern Plains of Colombia. Tesis (M. S.). Cornell University, Ithaca, NY, E.U.
- Saif, S. ur R. 1987. Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae; 1: Growth, mineral uptake and mycorrhizal dependency. *Plant & Soil* 97:25-35.
- Salinas, J. G. y Delgadillo, G. 1980. Respuesta diferencial de ocho gramíneas forrajeras al estrés de Al y P en un Oxisol de Carimagua. Trabajo presentado en el Séptimo Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, Heredia, Costa Rica, 1980. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 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.
- _____ y Saif ur Rehman, S. 1989. Requerimientos nutricionales de *Andropogon gayanus*. En: Toledo, J. M.; Vera, R.; Lascano, C. y Lenné, J. M. (eds.). *Andropogon gayanus* Kunth: Un pasto para los suelos ácidos del trópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 105-165.
- _____ y Sanz, J. I. 1981. Síntomas de deficiencia de macronutrientes y nutrientes secundarios en pastos tropicales. Guía de estudio para Unidad Audiotutorial. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- _____; _____ y Sieverding, E. 1985. Importance of VA mycorrhizae for phosphorus supply to pasture plants in tropical Oxisols. *Plant & Soil* 84:347-360.

- Sánchez, P. A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley, Nueva York. 618 p.
- y Cochran, 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. (Español e inglés.)
- Siman, A.; Cradock, F. W. y Hudson, A. W. 1974. The development of manganese toxicity in pasture legumes under extreme climatic conditions. *Plant & Soil* 41:129-140.
- Spain, J. M.; Gualdrón, G. R.; Perdomo, C. y Avila, P. 1989. Effect of rate and placement of phosphorus on the establishment of legume-based tropical pastures on Oxisols. En: Proceedings of the Sixteenth International Grassland Congress, Niza, Francia. Association Française pour la Production Fourragère, Montrouge, Francia. p. 47-48.
- Toledo, J. M. y Morales, V. A. 1978. Establishment and management of improved pastures in the peruvian Amazon. 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. 177-194.
- Ulrich, A. 1952. Physiological bases for assessing the nutritional requirements of plants. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 3:207-228.

B

**Manejo del Establecimiento y
Recuperación de las Pasturas**

Manejo del Ambiente Físico y Químico en el Establecimiento de Pasturas Mejoradas

Miguel A. Ayarza y James M. Spain

Introducción

El establecimiento es una de las etapas más importantes para la productividad inicial de una pastura y para la estabilidad posterior de las especies que la conforman. Durante esta fase, la semilla debe tener un nivel óptimo de humedad y un adecuado suministro de nutrimentos para que su germinación, y la emergencia de la plántula, sean buenas. La creación de este ambiente requiere, en muchos casos, el control de la vegetación existente y la modificación de las condiciones físicas y químicas del suelo.

Durante los últimos años, la RIEPT ha identificado y seleccionado gramíneas y leguminosas forrajeras que toleran la acidez de los suelos y que tienen requerimientos nutricionales bajos. Estas especies forrajeras podrían incrementar la productividad pecuaria en muchas regiones marginales si su establecimiento se realizara con métodos adecuados. Tales métodos deben considerar las características de las especies forrajeras y el uso eficiente de los recursos de que dispone el productor.

En este capítulo se discuten algunos factores relacionados con el establecimiento de las pasturas, haciendo énfasis en los métodos de preparación, en las épocas de siembra, y en la fertilización prevalentes dentro del área de acción de la RIEPT.

Control de la Vegetación

Una de las prácticas más comunes para eliminar la vegetación existente antes de la siembra es destruirla con el fuego. En el trópico húmedo,

Miguel A. Ayarza es especialista en suelos, en la sección de Suelos/Reciclaje de Nutrimentos del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia. James M. Spain es agrónomo especialista en desarrollo de pasturas en el Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Planaltina, Brasil.

donde la vegetación predominante es el bosque y donde el rebrote de la vegetación secundaria es arbustivo, la eliminación se inicia con el corte y la quema durante la época seca (Sánchez, 1976; Toledo y Morales, 1979). En el desmonte a gran escala se han utilizado trituradores, cadenas o ‘tractor de estera’ (bulldózer) para remover los árboles (Toledo y Morales, 1979; Humphreys, 1980; Alegre, 1986). Después de la quema se siembran generalmente cultivos anuales mezclados con pastos (Crowder y Chheda, 1982); en otros casos se siembran a voleo especies “pioneras” como *Melinis minutiflora* o *Hyparrhenia rufa*. De este modo se aprovecha la fertilidad creada por la quema para el establecimiento de las especies forrajeras. Después de que se ha usado intensivamente la pastura durante cierto tiempo, el forraje remanente se utiliza como combustible para eliminar los residuos de los troncos de árboles dejados al comienzo; luego se siembra la pastura mejorada o se introducen las leguminosas.

En áreas de sabana (Oxisoles), el fuego se utiliza también para eliminar la vegetación existente antes de la preparación del suelo (Spain, 1982). En este caso, la operación se hace en la época seca para aprovechar la acumulación de residuos y de material seco que queman fácilmente. En regiones de bosque, donde no hay una época seca definida o ésta es muy corta, la vegetación se puede desecar con un herbicida y luego se quema (Motooba et al., 1967).

Preparación del Suelo

El suelo se prepara para mejorar sus condiciones físicas (porosidad y capacidad de almacenamiento de agua) reduciendo así, total o parcialmente, la competencia entre las especies forrajeras establecidas y la vegetación presente. La intensidad óptima de labranza depende de las características de las especies sembradas, de la textura y grado de pendiente del suelo, y de la intensidad de las lluvias. En general, cuanto más agresiva sea la especie que se sembrará, menos intensa deberá ser la preparación del suelo y el control de la competencia. En forma similar, mientras más arenoso sea el suelo, menor será la necesidad de prepararlo. En muchos casos, una labranza excesivamente intensa hecha con el fin de controlar malezas puede aumentar el riesgo de erosión.

En general, los métodos de preparación del suelo varían desde los convencionales hasta los de cero labranza. En el método convencional se deja la superficie relativamente nivelada y libre de terrones y residuos de plantas haciendo una arada seguida de varios pases del rastrillo de discos. El objetivo de este método es eliminar totalmente la vegetación existente. Sin embargo, este tipo de labranza en áreas de alta precipitación no es adecuado para sembrar pastos, ya que pueden ocurrir pérdidas de semilla por arrastre y 'tapado' (semilla cubierta por suelo en exceso). Además, estos suelos quedan expuestos al sellamiento de la superficie por el impacto de la lluvia, lo que dificultaría la emergencia de las plántulas. Este efecto es particularmente crítico en el establecimiento de especies de semilla pequeña como *A. gayanus*, *H. rufa*, *P. maximum*, *D. ovalifolium* y *Stylosanthes* spp. Por esta razón, se deben emplear métodos de labranza que disturben menos el suelo.

En áreas de sabana, donde la vegetación predominante es de gramíneas de sistema radicular superficial, el arado de cinceles ha remplazado con éxito al arado de discos (Spain, 1982). Este implemento rompe el césped y remueve los primeros 10 a 15 cm del suelo sin voltearlo demasiado. La labor se complementa con un pase de rastrillo, el cual incorpora los residuos de las plantas y deja la superficie del suelo relativamente estable y permeable (CIAT, 1984).

En suelos francos de buena estructura, la preparación se puede hacer utilizando solamente el rastrillo. El suelo preparado de este modo deja una superficie rugosa con gran número de terrones pequeños y medianos; éstos impiden el sellamiento del suelo y el arrastre de la semilla. En suelos arenosos, la preparación se reducirá a un solo pase del arado de cinceles o del rastrillo.

La profundidad de labranza depende de la estabilidad estructural del suelo. En suelos arenosos, la preparación debe ser superficial mientras que en suelos más pesados, es necesaria mayor intensidad de laboreo. Donde no hay maquinaria disponible o cuando los riesgos de erosión son muy altos, es recomendable evitar la labranza; se recomienda entonces controlar la competencia de la vegetación indeseada con fuego, con herbicidas o permitiendo el sobrepastoreo. Especies como *A. gayanus*, *D. ovalifolium* y *S. guianensis* se han establecido con éxito

mediante estos sistemas en los Oxisoles arenosos de Carimagua, Colombia (CIAT, 1985) y en Ultisoles del trópico húmedo.¹

En zonas de pendiente y donde no es posible usar maquinaria, la preparación del suelo se puede hacer en franjas empleando tracción animal, pequeños cultivadores mecánicos, o aplicando herbicidas. Este tipo de preparación es adecuado para establecer especies estoloníferas como *B. decumbens*, *B. humidicola* y *B. dictyoneura*, y leguminosas como *D. ovalifolium* y *C. pubescens* (Dextre et al., 1987). La anchura de las franjas y la distancia entre ellas debe ajustarse al grado de pendiente y al potencial de erosión del suelo: cuanto más frágil sea el suelo, mayor debe ser la distancia de las franjas de preparación.

Epocas de Preparación y de Siembra

Preparación. La época de preparación del suelo puede influir en el control de las malezas, en el control de insectos, y en la fertilidad del suelo. Esto ha sido observado en condiciones de sabana, cuando el suelo se prepara al final de la época lluviosa. Durante la época seca se descomponen los residuos y se eliminan los hormigueros; adicionalmente, se incrementan los niveles de N debido a la mineralización de la materia orgánica. Estos resultados suelen favorecer el crecimiento de las especies sembradas (Sylvester-Bradley, 1985). Si, por el contrario, la preparación del suelo se hace en la época de las lluvias, el control del rebrote de las malezas y los riesgos de pérdida de semilla y de suelo se incrementan.

Siembra. La mejor época de siembra está dada por la distribución de las lluvias. En sitios con períodos de lluvia bien definidos, es recomendable sembrar tan pronto como sea posible después del inicio de las lluvias. Esto es posible si el suelo ha sido preparado con anticipación (labranza temprana). Una de las desventajas de la siembra temprana es el riesgo de perder la semilla por secamiento temporal después de la germinación, si las lluvias no son regulares. Sin embargo, las semillas de algunas especies forrajeras como *A. gayanus*, *Stylosanthes* spp.

1. Ara, M. Comunicación personal.

y *D. ovalifolium*, pueden soportar desecamientos temporales según observaciones hechas en Carimagua.² Partiendo de estas observaciones, se está experimentando en Brasil la siembra de *A. gayanus* al final de la época seca.² Si por el contrario la siembra se hace durante los períodos de mayor precipitación, las semillas estarán expuestas a pérdidas por arrastre, por 'tapado' y por ataque de insectos.

Métodos de Siembra Tradicionales

Siembra a voleo. El método más corriente de sembrar pastos es a voleo. Su popularidad se debe a que se puede hacer con relativa facilidad y sin mayores necesidades de mecanización. Cuando se siembran grandes extensiones, se puede usar una voleadora de fertilizante (Spain, 1982). La semilla se mezcla con el fertilizante fosfatado y se esparcen los dos a un tiempo, en franjas de más de tres metros. En ocasiones, el viento y la lluvia presentes al momento de la siembra pueden afectar la distribución de las semillas y del fertilizante.

Cuando se siembran especies cuya semilla tiene pelos o aristas, como *A. gayanus* o *H. rufa*, se presenta un problema: esta semilla, en mezcla con el fertilizante, forma conglomerados difíciles de separar. Esta dificultad se ha resuelto en Brasil usando una voleadora Jan Lancer con doble agitadora y de brazo reciprocante, que ayuda a separar la semilla y la arroja fácilmente al suelo.³

En operaciones a gran escala, y donde las distancias y las condiciones de la topografía no permiten el uso de maquinaria, se ha intentado la siembra a voleo por vía aérea, con relativo éxito. En estos casos, la vegetación existente se quema o se controla con herbicidas, y la semilla se **esparce** después de ser inoculada y peletizada con fósforo (Crowder y Chheda, 1982).

Los métodos de siembra a voleo son rápidos y funcionan bien si el costo y la disponibilidad de la semilla no limitan la operación. En estos métodos siempre hay riesgos de pérdida de semilla por arrastre del

2. Spain, J. M. Comunicación personal.

3. Spain, J. M. Comunicación personal.

agua de escorrentía, por ataque de hormigas, y por desecación de la superficie del suelo cuando ocurren temperaturas excesivas. Estos riesgos se pueden contrarrestar con altas densidades de siembra.

Siembra en surcos. Con este método de siembra se incrementa la eficiencia de uso de la semilla y del fertilizante dando como resultado menores requerimientos de ambos insumos (Spain et al., 1989).

En áreas pequeñas la siembra se puede hacer en forma manual. En áreas grandes, en cambio, se requiere algún tipo de mecanización. Los equipos convencionales utilizados para sembrar granos no son muy apropiados para la siembra de semillas pequeñas, o muy peludas, de gramíneas y de leguminosas. Para sembrar este tipo de semilla, se pueden usar las sembradoras convencionales mezclando el fertilizante (superfosfato o roca fosfórica) con la semilla en una misma tolva.⁴ Este sistema de siembra se ha perfeccionado en Carimagua, Colombia, donde se ha diseñado una máquina que cumple las labores de preparación, fertilización y siembra en un solo pase. Este implemento consiste en un arado de cinceles, de tiro, con ruedas de profundidad de control remoto y con una sembradora de tolvas montada en la parte trasera del arado (CIAT, 1984). Con esta máquina se han realizado siembras a gran escala de *B. dictyoneura* y *P. phaseoloides* en los Llanos Orientales de Colombia (CIAT, 1985).

Estrategias de Siembra no Tradicionales

Cuando el capital y la mano de obra limitan el establecimiento de los pastos, y cuando la presión de las malezas es baja, los sistemas de siembra diferentes de los tradicionales pueden ser una opción atractiva para el productor. Estos sistemas consisten básicamente en usar la semilla y los fertilizantes en bajas densidades, y aplicarlos en forma localizada en el espacio, para obtener el remplazo de la vegetación existente después de cierto tiempo. Esto supone un menor requerimiento de semillas y fertilizante.

4. Gualdrón, R. Comunicación personal.

Estos sistemas de siembra se han probado con éxito en áreas de sabana en los Llanos Orientales de Colombia. En regiones donde hay mayor potencial de malezas, también se puede utilizar este sistema. Sin embargo, es necesario complementarlo con otras prácticas de control de la vegetación como herbicidas. A continuación se discuten algunas de las modalidades de este tipo de siembra.

Siembras ralas o de baja densidad. Este sistema consiste en establecer inicialmente, en franjas, bajas poblaciones de 'plantas forrajeras'; que tengan la capacidad de autopropagarse rápidamente, bien sea por medio de semilla, como *A. gayanus*, o por estolones, como *B. humidicola*, y que sean capaces de cubrir el área intermedia en un tiempo razonablemente corto (Spain et al., 1984). En estos sistemas, el método de preparación del suelo se dirige a las franjas que se van a sembrar. En áreas grandes, el método requiere implementos convencionales (arado de cinceles o rastrillo); en áreas pequeñas, las franjas se pueden preparar aplicando herbicidas.

La preparación del área intermedia dependerá de la capacidad de cobertura de las especies. En especies de hábito erecto, como *A. gayanus*, se logra el cubrimiento del área intermedia con la semilla proveniente de las 'plantas madre'. En condiciones de sabana, en los Llanos de Colombia, se ha observado que el paso de los cinceles o escardillos es suficiente para controlar la vegetación en las franjas, y lograr el establecimiento de las nuevas plántulas de *A. gayanus* en franjas separadas 5 m una de otra (CIAT, 1981). Cuando se siembran especies estoloníferas, como *B. humidicola* y *B. dictyoneura*, no es necesario preparar las franjas intermedias; se puede, sin embargo, aplicar herbicidas no selectivos y no residuales para controlar la vegetación existente. En ciertos casos, la vegetación en las franjas no sembradas puede controlarse mediante la quema o el pastoreo, favoreciendo así el desarrollo de las especies introducidas para que cubran adecuadamente el terreno. El Cuadro 1 muestra la cantidad de semilla requerida en las siembras ralas y en las siembras convencionales.

La aplicación de los fertilizantes en los sitios de siembra es una de las mayores ventajas de estos sistemas. Esta aplicación promueve el desarrollo rápido de las plantas madre y permite el cubrimiento del área en un tiempo mínimo. La fertilización del área intermedia se hace

Cuadro 1. Cantidad de semilla empleada en las siembras de baja densidad de algunas especies forrajeras.^a

Especie	Semilla (kg/ha) en siembra rala de:				Siembra tradicional (kg/ha)
	2500 pl./ha (2x2 m)	1111 pl./ha (3x3 m)	625 pl./ha (4x4 m)	400 pl./ha (5x5 m)	
<i>P. phaseoloides</i>	0.59	0.26	0.15	0.10	3.0
<i>D. ovalifolium</i>	0.26	0.17	0.07	0.05	2.0
<i>B. decumbens</i>	0.22	0.10	0.06	0.04	1.5
<i>A. gayanus</i> ^b	1.77	0.79	0.46	0.30	10.0

a. pl. = planta. Datos de semilla seleccionada.

b. Semilla cruda.

FUENTE: Spain et al., 1984.

cuando el área ha sido cubierta por semillas, estolones o tallos rastreiros. En los Llanos Orientales de Colombia, donde los suelos son ácidos y bajos en nutrimentos, se ha encontrado que el P y el K tienen gran influencia en la producción de semilla de *Andropogon* sp. y en el crecimiento de estolones de especies de *Brachiaria* (Spain et al., 1984). En el Cuadro 2 se presentan las recomendaciones de fertilización, por planta y por hectárea, para los Llanos de Colombia.

Sistemas de remplazo de la vegetación nativa. El objetivo de este sistema es el remplazo gradual de la vegetación nativa mediante la introducción de especies que cubran inicialmente un porcentaje del área total. Este sistema se maneja con pastoreo para controlar la vegetación nativa y permitir el avance de las especies introducidas. La fertilización inicial está dirigida sólo al área de siembra y debe expandirse gradualmente para estimular la colonización de las especies introducidas.

Los resultados obtenidos en los Llanos Orientales de Colombia indican que especies agresivas como *Pueraria phaseoloides*, *Desmodium ovalifolium* y *Brachiaria humidicola* se pueden establecer bien bajo este sistema, sembrando inicialmente el 20% del área total en franjas. La carga animal se aumentó aquí a medida que las especies sembradas ocupaban más área (Spain et al., 1984).

Cuadro 2. Dosis de nutrientes recomendadas para la siembra de baja densidad de las especies forrajeras bien adaptadas al área de influencia de Carimagua en los Llanos Orientales de Colombia.

Nutrimento	Dosis	
	(g/sitio)	(kg/ha) ^a
P ₂ O ₅	2	2
K ₂ O	1	1
Mg	0.5	0.5
Ca ^b	1	1
S	0.5	0.5

a. En una hectárea se siembran 1000 plantas.

b. El calcio contenido en la fuente de P satisface generalmente este requisito.

FUENTE: Spain et al., 1984.

Suplementación de la vegetación nativa. Con este sistema se pretende, fundamentalmente, introducir leguminosas en franjas entre la vegetación nativa para mejorar la calidad de la dieta de los animales. Los métodos de preparación del suelo son similares a los expuestos anteriormente, aunque en este caso no se desea el remplazo total de la vegetación existente. Para que este sistema funcione, se requiere una leguminosa agresiva y de relativa baja palatabilidad; así se garantiza la persistencia de ésta en asociación con la vegetación nativa. Los resultados obtenidos en condiciones de sabana en Carimagua indican que especies como *Desmodium ovalifolium* y *Centrosema acutifolium* cv. Vichada podrían adaptarse bien a este sistema. Esta estrategia parece aplicable también a pasturas de *Axonopus* sp. en el trópico húmedo (Ayarza et al., 1988).

Siembra con semilla 'peletizada'. Los 'peletes' se han usado como alternativa para mejorar la eficiencia tanto de los fertilizantes como de la inoculación cuando se siembran leguminosas a voleo. La técnica consiste en recubrir la semilla con una fina capa de fertilizante o de cal utilizando como adherente goma arábiga o resinas sintéticas. La semilla de las leguminosas se inocula con la cepa de *Rhizobium* adecuada

antes de peletizarla con el fertilizante. Este método ha sido utilizado con éxito en muchas regiones templadas y tropicales (Diatlof, 1971; Keya et al., 1971; Norris, 1972). Otro tipo de pelete es el denominado 'macropelete' (Mitamura et al., 1988) que se fabrica utilizando una matriz de caolín u otro material, a la cual se adhieren, en secuencia, fertilizantes de solubilidad variable. Una vez terminado el pelete, la semilla y el pelete se colocan en bolsas de papel. Estos macropeletes se esparcen en forma rala sobre el suelo una vez haya recibido éste algún control de la vegetación mediante fuego, pastoreo o maquinaria.

Los resultados preliminares obtenidos en Carimagua, Colombia, indican que *D. ovalifolium* se puede introducir, empleando este método, en pasturas de *B. humidicola* y en sabanas nativas bajo pastoreo.⁵ Se está ensayando la combinación de estos peletes con otras leguminosas forrajeras para ampliar el rango de uso de esta tecnología. Este sistema puede ser de gran utilidad en áreas no mecanizables, y donde haya poca mano de obra disponible.

Profundidad de Siembra

La profundidad óptima de siembra es aquella que proporciona las condiciones adecuadas para el desarrollo radicular, para la absorción de nutrimentos, y para la emergencia de las plántulas. El criterio que define la profundidad óptima de siembra es el tamaño de la semilla. Semillas de tamaño grande, como las de *C. macrocarpum* y *P. phaseoloides*, pueden emerger desde mayor profundidad que las semillas pequeñas de *A. gyanus*, *D. ovalifolium* y *S. capitata*; esta capacidad está asociada con las reservas de la semilla en el endosperma. Las semillas de tamaño pequeño son muy sensibles al tapado excesivo, y por eso deben sembrarse superficialmente. En este sentido, Spain y Couto⁶ sugieren que las semillas de *A. gyanus* se dejen sobre la superficie, si el suelo ha sido preparado para que haya encima terrones y residuos de plantas y de raíces. Con las primeras lluvias, las semillas se colocarán entre los terrones o bajo los residuos, y su contacto con el suelo húmedo será adecuado.

5. Nada, N. Comunicación personal.

6. Información sin publicar.

La profundidad de siembra depende también de la textura, el grado de compactación, y las condiciones de humedad del suelo. En los suelos arenosos, la profundidad de siembra puede ser mayor que en los arcillosos (Calheiro y da Rocha, 1977); así se evitarán las pérdidas de semilla por desecación cuando la siembra es superficial. Si el suelo ha sido compactado, la profundidad de siembra debe disminuir ya que la resistencia mecánica a la emergencia limitaría la germinación.

Compactación del Suelo

El contacto entre el suelo y la semilla es de gran importancia para garantizar un nivel constante de humedad y una cama firme, tanto para la semilla como para la plántula que emerge. Este resultado se logra compactando ligeramente el terreno después de la siembra, operación que forma alrededor de la semilla una zona de densidad más alta y de porosidad más baja (Calheiro y da Rocha, 1977). Esta práctica es de especial significado en los suelos arenosos de baja retención de humedad. En los suelos pesados también es conveniente esta práctica, ya que la preparación deja terrones cuya estructura no se modifica con las lluvias y que restringen el contacto entre el suelo y la semilla. Mendoza et al. (1990) informan que la capacitación fue crucial para lograr un buen establecimiento de *Centrosema* sp. en un Oxisol de Brasil. La compactación es aún más crítica cuando se siembran semillas pequeñas, para evitar así su arrastre y enterramiento.

A pesar de la importancia de esta práctica, su aplicación es relativamente limitada debido a la falta de implementos apropiados para realizarla. Un implemento sencillo se puede construir con llantas viejas sujetas a un eje transversal que tiene rodamientos en sus extremos; este implemento se conoce en el Cerrado brasileño⁷ como “rolo australiano” (Barcellos, 1961).

Cuando se siembra material vegetativo, se requiere también un buen contacto entre el suelo y el estolón para garantizar la mayor humedad posible alrededor del estolón. Esto se consigue haciendo un tapado parcial de ese material y una compactación inmediata del suelo.

7. Andrade, R. de. Comunicación personal.

Fertilización de Establecimiento

El fertilizante es uno de los insumos más costosos que se requieren para el establecimiento de praderas en suelos marginales de baja fertilidad (Oxisoles y Ultisoles). Por ello es necesario considerar estrategias que contribuyan al uso eficiente de este insumo, como las siguientes: a) siembra de especies forrajeras adaptadas a la acidez del suelo y a la baja disponibilidad de nutrimentos. b) Determinación de las dosis óptimas de fertilización y de los métodos más eficientes de aplicación de fertilizantes. c) Uso de fuentes más baratas de fertilizante.

Fósforo. El fósforo es el nutrimento más limitante para el adecuado establecimiento de pasturas en suelos ácidos (León y Toledo, 1982; Sánchez, 1976; CIAT, 1985). Sin embargo, la mayoría de las especies seleccionadas por la RIEPT requieren entre 10 y 20 kg de P para lograr el 80% de su máxima producción al establecimiento (Cuadro 3).

La fertilización fosfórica se hace, normalmente, con fuentes solubles, como el superfosfato o las Escorias Thomas, o con fuentes menos solubles, como las rocas fosfóricas. Una estrategia para hacer más eficiente la fertilización fosfórica en suelos con alta capacidad de fijación

Cuadro 3. Requerimiento de fertilización fosfórica para el establecimiento de varias especies de gramíneas y leguminosas en un Oxisol de Carimagua.

Especie	Dosis recomendada (kg/ha de P)	Nivel crítico interno (%)
<i>Andropogon gayanus</i> 621	20	0.10
<i>Brachiaria decumbens</i> 606	20	0.08
<i>Brachiaria humidicola</i> 679	10	0.08
<i>Desmodium ovalifolium</i> 350	20	0.10
<i>Pueraria phaseoloides</i> 9900	20	0.22
<i>Stylosanthes capitata</i> 1019	20	0.11
<i>Centrosema macrocarpum</i> 5065	10	0.16

FUENTE: CIAT, 1981.

es la fertilización con fuentes solubles en banda (CIAT, 1987). Con este método se ahorra fertilizante y se crean condiciones óptimas para el establecimiento de las plántulas. Especies como *A. gayanus*, *B. dictyoneura* y *D. ovalifolium* se han sembrado en suelos de bajo contenido de P, con 5 kg de P por hectárea aplicados en banda (Spain et al., 1989).

El uso de rocas fosfóricas como fuente alterna de P ha recibido especial interés durante los últimos años, puesto que el costo por unidad de P aplicado es menor que el de otras fuentes (León y Toledo, 1982). Sin embargo, su efectividad inicial es más baja que la de las fuentes solubles y su grado de reactividad es variable. Además, la roca debe aplicarse a voleo para incrementar su reactividad.⁸

Otra alternativa sería la aplicación de pequeñas cantidades de P soluble en banda, complementadas con una aplicación a voleo de la roca fosfórica.

Otros nutrientes. Aunque la mayoría de las especies de gramíneas y leguminosas seleccionadas por la RIEPT están adaptadas a bajos niveles de nutrientes en el suelo, es necesario aplicar pequeñas cantidades de Ca, Mg y K para lograr un adecuado establecimiento de la pastura. En el Cuadro 4 aparecen las recomendaciones de fertilización para algunas especies. El calcio y el magnesio pueden suministrarse en los fertilizantes calcáreos (cal dolomítica) y en algunas rocas fosfóricas. El potasio se aplica usando las fuentes convencionales (cloruros y sulfatos de potasio). Los feldespatos tienen potencial como fuente de K, según los trabajos hechos por Sanz en 1986. No se ha observado tampoco una respuesta de las especies forrajeras a las aplicaciones de S y a los micronutrientes, aun cuando podrían esperarse deficiencias de éstos en los suelos muy arenosos (CIAT, 1981).

En general, la necesidad de aplicar un fertilizante se debe ajustar a la disponibilidad en el suelo del nutriente suministrado por ese fertilizante. El Cuadro 5 es una guía para definir el nivel de suficiencia de los nutrientes en el suelo. El Cuadro 6 presenta una clasificación de los factores que componen la acidez del suelo.

8. León, L. A. Comunicación personal.

Cuadro 4. Dosis recomendadas y niveles críticos de potasio y calcio de algunas gramíneas y leguminosas forrajeras sembradas en un Oxisol de Carimagua.

Especie	Potasio		Calcio	
	kg/ha	%	kg/ha	%
<i>Brachiaria humidicola</i>	10	0.74	50	0.22
<i>Brachiaria brizantha</i>	20	0.82	100	0.37
<i>Brachiaria decumbens</i>	20	0.83	100	0.37
<i>Andropogon gayanus</i>	20	0.95	100	0.60
<i>Stylosanthes capitata</i>	20	1.13	50	0.74
<i>Desmodium ovalifolium</i>	20	1.03	100	0.74
<i>Pueraria phaseoloides</i>	20	1.22	100	1.04
<i>Centrosema macrocarpum</i>	10	1.24	100	0.66
<i>Centrosema pubescens</i>	20	1.40	400	0.88

FUENTE: CIAT, 1981.

Establecimiento de Pastos Mediante Cultivos

La siembra de los pastos mejorados se hace más económica si se asocia con la de un cultivo anual. En la práctica, las especies forrajeras se siembran simultáneamente con los cultivos o después de la cosecha de éstos. La fertilización debe manejarse de tal modo que, una vez satisfechos los requerimientos del cultivo, los pastos puedan aprovechar el efecto residual del fertilizante. Este resultado se logra eligiendo métodos y épocas de siembra que interfieran al mínimo con el desarrollo del cultivo.

Los trabajos realizados en varios tipos de suelos y en diversos ecosistemas indican que las leguminosas afectan menos el rendimiento de otro cultivo que las gramíneas. Sánchez y Ayarza (CIAT, 1979) observaron que, cuando *Stylosanthes guianensis* se sembraba intercalada con yuca (*Manihot esculenta*), en forma simultánea, el rendimiento del cultivo se reducía en un 20% en comparación con el testigo (cultivo

Cuadro 5. Clasificación de los suelos según su nivel de fertilidad con miras al establecimiento de especies forrajeras tolerantes a la acidez.

Parámetro del suelo	Valor para nivel de fertilidad:			
	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
pH	< 4.5	4.5-5.5	5.5-6.5	> 6.5
P (ppm) ^a	< 2	2-5	5-10	> 10
K ^a	< 0.05	0.05-0.10	0.10-0.15	> 0.15
Mg ^b	< 0.08	0.08-0.12	0.12-0.20	> 0.20
Ca ^b	< 0.20	0.20-0.5	0.5-1.0	> 1.0
Saturación Al (%) ^b	> 80	60-80	30-60	< 30
S (ppm)	< 10	10-15	15-20	> 20
Zn (ppm) ^c	< 0.5	0.5-1.0	1.0-1.5	> 1.5
Cu (ppm) ^c	< 0.5	0.5-1.0	1-3	> 3
B (ppm) ^c	< 0.3	0.3-0.5	0.5-1.0	> 1

a. Extractor: solución Bray-II.

b. Extractor: con KCl 1N y calculado individualmente según porcentaje respecto a Al, Ca y Mg.

c. Extractor: ácido doble 1:4.

FUENTE: Salinas y García, 1985.

Cuadro 6. Algunas características de los suelos según su nivel de acidez, consideradas respecto al establecimiento de especies forrajeras tolerantes a esa acidez.

Parámetro del suelo	Valor para nivel de acidez:			
	Muy ácido	Acido	Lig. ácido	Neutro
pH	< 4.5	4.5-5.5	5.5-6.5	> 6.5
Saturación de Al (%)	> 80	60-80	30-60	< 30
Mn (ppm)	> 50	50-20	10-20	< 10

Lig. = ligeramente.

FUENTE: CIAT, 1981.

solo). Sin embargo, cuando se sembraron *B. decumbens* y *Panicum maximum* en mezcla con la yuca, el rendimiento se redujo en un 83%. En otros estudios se halló que la siembra de gramíneas forrajeras con arroz de secano reducía la cosecha de este cereal (Shelton y Humphreys, 1972); sin embargo, en esos mismos estudios se observó un efecto positivo de *S. guianensis* en el arroz, a saber, un aumento de 20% en el rendimiento de este grano.

Una de las ventajas de la siembra simultánea de pastos y cultivos es que el crecimiento rápido del cultivo protege el suelo contra la erosión, cuando el pasto se halla en una fase temprana de su establecimiento, y reduce además las labores de control de malezas (Crowder y Chheda, 1982). Al mismo tiempo, aumenta la eficiencia de uso del área mientras la pradera se establece. Se ha informado de casos en que el rendimiento de los pastos, durante su establecimiento, es superior cuando se siembran en mezcla con cultivos que cuando están solos.

Una alternativa a la siembra intercalada de cultivos y pastos es la siembra en franjas. En Yurimaguas, Perú, se sembró arroz de secano (var. Africano desconocido) en franjas; en forma simultánea, se estableció con material vegetativo *B. humidicola*. Después de la cosecha del arroz, el mismo campo se sembró con caupí, que se intercaló con el pasto. Al momento de la cosecha del caupí, la gramínea estaba establecida en toda el área. La evaluación económica del ensayo indicó que los cultivos pagaron el establecimiento del pasto y dejaron un pequeño margen de utilidad (Ayarza et al., 1988).

Sembrar gramíneas y, en algunos casos, leguminosas forrajeras después de los cultivos comerciales es una práctica corriente en los cerrados brasileños, especialmente después del arroz o de la soya (Mendoza et al., 1990). Esta práctica exige el control de las malezas antes de sembrar los pastos, ya que la agresividad de aquéllas es mayor por el efecto residual de la fertilización de los cultivos.⁹

Resumen y Conclusiones

Un aspecto muy importante de un proyecto para incrementar la productividad animal, cuando se siembran las gramíneas y leguminosas

9. Spain, J. M. Comunicación personal.

forrajeras seleccionadas por la RIEPT, es el buen establecimiento de la pradera. Gran parte del éxito de ese establecimiento depende de cuatro cosas: 1) del conocimiento de las condiciones del suelo que se debe preparar (textura y humedad al momento de la preparación); 2) de la agresividad de las especies forrajeras que se sembrarán; 3) de la vegetación nativa que debe controlarse; 4) de un equilibrio de los recursos disponibles. Las evidencias citadas en este capítulo indican que la preparación del suelo debe tener el siguiente objetivo: reducir la competencia de la vegetación existente obteniendo un suelo suelto en que haya raíces, rastrojo y terrones; éstos facilitarán la emergencia de las especies forrajeras, y reducirán al mínimo la erosión y las pérdidas de semilla por escorrentía y por enterramiento. Este objetivo se alcanza, en muchos casos, con una intensidad de labranza mucho menor que la necesaria para establecer cultivos anuales. Aún más, la labranza temprana, en regiones donde hay épocas secas definidas, ha demostrado ser muy eficiente, y ha dado mejores resultados que las labranzas convencionales.

Se puede lograr un ahorro considerable de semilla y de fertilizante mediante los métodos de siembra en líneas y de fertilización localizada con fuentes solubles; no ocurre lo mismo, en cambio, con el método de siembra a voleo. De modo similar, el 'tapado' de la semilla y la compactación del suelo después de la preparación tienen efectos positivos en el establecimiento de algunas especies forrajeras. Sin embargo, la maquinaria disponible, y apropiada, para realizar estas labores es escasa en muchas regiones.

Hay una gama muy amplia de métodos de siembra de especies forrajeras, desde la siembra de baja densidad de población, hasta la siembra intercalada de pastos con cultivos o la siembra del pasto después de éstos.

Aunque la mayoría de las experiencias presentadas en este capítulo han sido desarrolladas en ecosistemas de sabana, los principios generales de la preparación del terreno para la siembra de las especies forrajeras deben ser similares en otras condiciones; sin embargo, es necesario adaptarlos a las condiciones de cada productor. En algunos casos se necesitarán implementos diferentes a los mencionados en este escrito aunque, en general, si se hace una combinación adecuada de todos los

factores aquí mencionados y de la infraestructura existente, se debe lograr un buen establecimiento de la pastura a bajo costo.

Referencias

- Alegre, J. C.; Cassel, D. K.; Bandy, D. y Sánchez, P. A. 1986. Effect of land clearing on soil properties of an Ultisol and subsequent crop production in Yurimaguas, Perú. En: Lal, R.; Sánchez, P. A. y Cummings, R. W. (eds.). Land clearing and development in the tropics. Rotterdam, Holanda.
- Ayarza, M. A.; Dextre, R. y Sánchez, P. A. 1988. Pasture reclamation. En: TropSoils Technical Report 1986-1987. North Carolina State University, Raleigh, NC, E. U.
- Barcellos, A. 1961. Anuario de la Sociedad de Mejoramiento de Praderas. Uruguay. p. 131-133.
- Calheiro, A. P. y da Rocha, G. L. 1977. Efeitos da profundidade de sementeira e de adubação e compactação, na emergência e estabelecimento de Centrosema (*Centrosema pubescens* Benth, linhagem IPEACS-5.1). B. Indústr. Anim. 34(2):263-299.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1979. Programa de Ganado de Carne; suelos. En: CIAT informe anual 1978. Cali, Colombia. p. B-1 a B-188.
- _____. 1981. Informe anual del Programa de Pastos Tropicales: Informe 1980. Cali, Colombia. p. 77-120.
- _____. 1984. Programa de Pastos Tropicales: Informe anual 1982. Cali, Colombia. p. 203-320.
- _____. [1985]. Informe anual 1983; Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia. p. 145-352.
- _____. 1985. Informe anual 1984; Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia. p. 177-242.
- _____. 1986. Informe anual 1985; Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 17. Cali, Colombia. p. 216-318.
- _____. 1987. Informe anual 1986; Programa de Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 24. Cali, Colombia. p. 185-283.
- Crowder, L. V. y Chheda, H. R. 1982. Establishment of sown pastures and forage crops. En: Tropical grassland husbandry. Longman, Nueva York. p. 129.

- Dextre, R.; Ayarza, M. y Sánchez, P. A. 1987. Pasture reclamation in steepplands. En: TropSoils Technical Report 1985-1986. North Carolina State University, Raleigh, NC, E. U.
- Diatlof, A. 1971. Pelleting tropical legume seed. Queensl. Agric. J. 97:363-366.
- Humphreys, L. R. 1980. A guide to better pastures for the tropics and sub-tropics. Wright, Stephenson and Co., Pty. Ltd., NSW, Australia. 96 p.
- Keya, N. C. O.; Olsen, F. J. y Holliday, R. 1971. Oversowing improved pasture legumes in natural grassland of medium altitudes of western Kenya. East Afr. Agric. For. J. 37:148-155.
- León, L. A. y Toledo, J. M. 1982. El fósforo, elemento clave para pasturas en la Amazonia. Suelos Ecuatoriales 12(2):246-269.
- Mendoza, P.; Thomas, D.; Spain, J. M. y Lascano, C. 1990. The establishment and management of *Centrosema* pastures. En: Schultze-Kraft, R. y Clements, R. J. (eds.). *Centrosema: Biology, agronomy, and utilization*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 271-292.
- Mitamura, T.; Spain, J. M.; Gualdrón, R. y Avila, P. 1988. The use of seeds fixed onto fertilizer pellets for pasture establishment in the Llanos Orientales of Colombia. JARQ 22(1):71-76.
- Motooba, P. S.; Plucknett, D. L.; Saiki, D. E. y Younge, D. R. 1967. Pasture establishment in tropical brushlands by aerial herbicide and seeding treatments of Kawai. Hawaii Farm Sci. 20:10-11.
- Norris, D. O. 1972. Leguminous plants in tropical pastures. Trop. Grassl. 3:159-170.
- Salinas, J. G. 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.
- Sánchez, P. A. 1976. Properties and management of soils in the tropics. Wiley & Sons, Nueva York. 618 p.
- Shelton, H. M. y Humphreys, L. R. 1972. Pasture establishment in upland rice crops at Na Pheng, Central Laos. Trop. Grassl. 6(3):223-228.
- 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. 186-187.
- . 1982. Recomendaciones generales para el establecimiento y mantenimiento de pastos en la zona de Carimagua, Llanos Orientales de Colombia. 3a. ed. rev. Documento interno. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 30 p.

- _____ y Couto, W. 1989. Establecimiento y desarrollo inicial de pasturas de *Andropogon gayanus* en sabanas tropicales. En: Toledo, J. M.; Vera, R.; Lascano, C. y Lenné, J. M. (eds.). *Andropogon gayanus* Kunth: Un pasto para los suelos ácidos del trópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 239-264.
- _____; Navas, G. E.; Lascano, C.; Franco, L. H. y Hayashi, H. 1984. The gradual replacement of native savanna on an Oxisol in Eastern Colombia. En: Tothill, J. C. y Mott, J. C. (eds.). *Ecology and management of the world's savannas*. Australian Academy of Science, Canberra, Australia, y C.A.B., Farnham Royal, Slough, Inglaterra. p. 283-287.
- _____; Gualdrón, G. R.; Perdomo, C. y Avila, P. 1989. Effect of rate and placement of phosphorus on the establishment of legume-based tropical pastures on Oxisols. En: *Proceedings of the XVI International Grassland Congress*, Niza, Francia, 1988. Association Française pour la Production Fourragère, Montrouge, Francia. p. 47-48.
- Sylvester-Bradley, R. y Mosquera, D. 1985. Nitrification and responses to Rhizobium inoculation in tropical savanna as affected by land preparation. En: *Nitrogen management in farming systems in humid and subhumid tropics*; *Proceedings*. Institute for Soil Fertility, Haren, Netherlands. p. 167-183.
- Toledo, J. M. y Morales, V. A. 1979. Establecimiento y manejo de praderas mejoradas en la Amazonia peruana. En: Sánchez, P. A. y Tergas, L. E. (eds.). *Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 191-210.

Manejo del Ambiente Microbiológico del Suelo

Rosemary Sylvester-Bradley y María Valdés

Introducción

Diversos procesos que ocurren en el suelo afectan la disponibilidad de los nutrimentos necesarios para el crecimiento de las plantas forrajeras en una pastura. Estos procesos son dinámicos e interdependientes, y establecen entre ellos interacciones complejas (Figura 1).

La acción de los microorganismos del suelo en el establecimiento de una pastura está íntimamente ligada a otros procesos antes mencionados. Por lo tanto, para manejar estos microorganismos durante el establecimiento es necesario entender, al menos en términos generales, su función dentro del marco de los otros procesos dinámicos.

Un aspecto importante relacionado con estos procesos es la habilidad que tienen diferentes especies vegetales para tomar el nitrógeno que necesitan. Unas lo toman del suelo en forma de nitrato o de amonio, otras del aire mediante la fijación biológica del nitrógeno molecular, y otras combinando ambas fuentes. Tomar el nitrógeno de una u otra fuente puede influir en la tasa de crecimiento relativa de las especies de gramíneas y leguminosas que componen la pastura y, en consecuencia, en su productividad y en su persistencia.

La disponibilidad de nitratos y de amonio en el suelo depende de la actividad de la población microbiana en la mineralización e inmovilización del nitrógeno. Es sabido que una gran proporción del mismo se encuentra inmovilizada en el suelo. Los microorganismos compiten más por el amonio que por el nitrato del suelo, mientras que las gramíneas compiten más fuertemente por los nitratos (Barraclough et al., 1985). Frecuentemente, en los suelos cubiertos por pasturas los niveles

Rosemary Sylvester-Bradley es microbióloga de suelos (anteriormente en el Programa de Pastos Tropicales del CIAT); dirección actual: Apartado 301, San Isidro del General, Pérez Celedón, Costa Rica. María Valdés es profesora del Instituto Politécnico Nacional, México D.F., México.

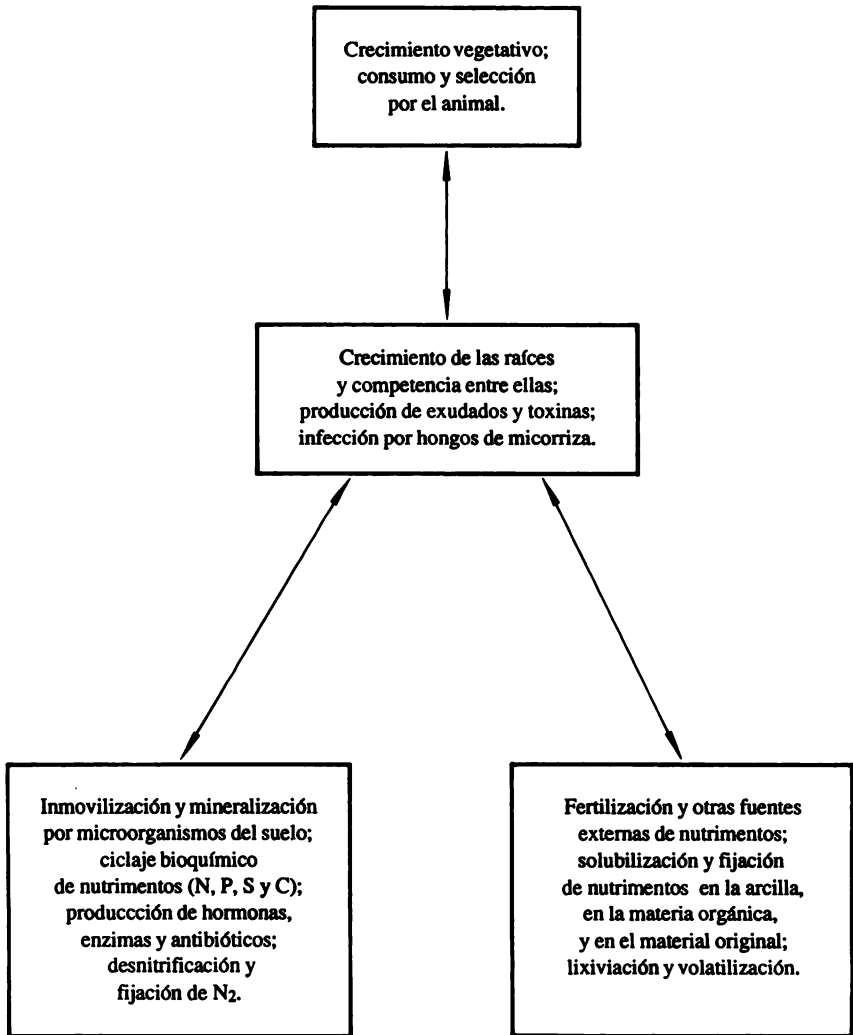


Figura 1. Procesos dinámicos que afectan la disponibilidad de los nutrientes en el suelo.

de amonio y de nitrato disponibles son bajos, ya que tanto las plantas como los microorganismos los toman tan pronto como se producen en el suelo. La actividad de las bacterias nitrificadoras es limitada, debido en parte a la baja disponibilidad del amonio en el suelo (Sylvester-Bradley et al., 1988). Esto confiere posiblemente una ventaja competitiva a aquellas gramíneas capaces de utilizar el amonio como fuente de nitrógeno. En una pastura en que las gramíneas se asocian con leguminosas capaces de fijar nitrógeno biológicamente, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo aumentará y estimulará el crecimiento de las gramíneas; la condición es que la tasa de fijación de nitrógeno y la de descomposición de la materia orgánica sean adecuadas (Henzell, 1968).

La infección de las raíces de plantas forrajeras por hongos micorrícicos vesículo-arbusculares (MVA), también conocidos como hongos de endomicorizas, juega un papel fundamental en la nutrición de esas plantas y en la competencia que se establece por el fósforo del suelo entre plantas de diferente especie. El fósforo es un elemento limitante en la nutrición de las plantas forrajeras en la mayoría de los suelos tropicales.

Los hongos de MVA forman vesículas y estructuras semejantes a haustorios llamadas arbusculos; crecen entre las células de las raíces de las plantas infectadas y dentro de ellas, y forman además una red de hifas en el suelo. Esta red puede tener hasta 80 cm de hifas fúngicas por centímetro de raíz colonizada (Sanders y Tinker, 1973), lo que aumenta el área de captación de nutrimentos y de agua de la planta. Aunque los hongos de MVA no demuestran un alto grado de especificidad, bajo condiciones naturales se han observado diferencias entre las especies de hongos que infectan cada especie vegetal; difieren notablemente, por ejemplo, en su capacidad para captar los nutrimentos, especialmente el fósforo y, en consecuencia, influyen en la capacidad de las plantas infectadas para competir entre ellas por los nutrimentos del suelo.

La interacción entre los procesos biológicos y los procesos fisicoquímicos también ocurre en los suelos cubiertos por pasturas. Un ejemplo es la competencia entre los procesos de fijación del amonio en la arcilla, de inmovilización y mineralización del amonio por los microorganismos, y de volatilización. Este último ocurre especialmente

en los parches de orina donde el pH del suelo puede alcanzar niveles altos. La lixiviación y la desnitrificación hacen perder también, para las plantas, grandes cantidades de nitrógeno bajo ciertas condiciones.

Para manejar efectivamente un sistema tan complejo, sería necesario caracterizar y cuantificar cada componente, y evaluar luego su importancia; la evaluación se haría mediante un modelo matemático que permitiera predecir el efecto de varias estrategias de manejo en la pastura. Este resultado no se ha logrado en las pasturas de la zona templada y mucho menos en las tropicales. No obstante, se han podido estudiar, en forma aislada, los componentes del sistema que se supone son los más importantes.

El objetivo de este capítulo es entonces discutir algunos procesos microbiológicos que ocurren en el suelo, que ya pueden manejarse, y que ejercen influencia en el establecimiento y desarrollo de las plantas forrajeras.

Microorganismos Fijadores de Nitrógeno

Muchos microorganismos del suelo, presentes en las pasturas, son capaces de fijar nitrógeno biológicamente. Ejemplos de ellos son cianobacterias en la superficie del suelo, *Azospirillum* en las raíces de las gramíneas, y la simbiosis de las leguminosas con las bacterias del género *Rhizobium* (los rizobios).

La contribución de N que hacen las cianobacterias al sistema de pasturas naturales de Venezuela fue mencionada por Medina (1982). Se ha demostrado también que las termitas fijan nitrógeno en su intestino, aunque la cantidad fijada es probablemente de poca importancia local (Sylvester-Bradley et al., 1978).

La importancia de la fijación del nitrógeno en las gramíneas tropicales de los géneros *Brachiaria* y *Panicum* ha sido discutida por Boddey y Victoria (1986). En esos trabajos, las tasas altas de fijación de nitrógeno fueron calculadas bajo condiciones de deficiencia aguda de nitrógeno en el suelo. Si el nivel de este nitrógeno es normal, las cantidades de nitrógeno fijadas por estas gramíneas son muy bajas. Además, se sabe que varias gramíneas tropicales son capaces de inhibir o estimular

la mineralización del N del suelo (Sylvester-Bradley et al., 1988); por tanto, conviene establecer la importancia relativa de estos dos procesos biológicos (inhibición y mineralización) en términos del rendimiento de N en las pasturas de gramíneas puras a través del tiempo.

Fijación del nitrógeno por las leguminosas

La simbiosis leguminosa-rizobio es el sistema fijador de nitrógeno más conocido porque puede ser manipulado para aumentar la productividad de los cultivos tropicales. La cantidad de nitrógeno fijado potencialmente por las leguminosas forrajeras tropicales puede superar los 100 kg/ha al año (Nutman, 1976). Sin embargo, la cantidad fijada depende, entre otros factores, de la proporción de leguminosa en la pastura, de la fertilidad del suelo, y de los efectos climáticos.

En un ecosistema con estación seca definida se estimó que las asociaciones gramínea-leguminosa que tienen 30% a 50% de leguminosa y niveles adecuados de P y K fijan de 50 a 100 kg/ha de N al año (Caddisch et al., 1989). Por consiguiente, se puede esperar que en un ecosistema de bosque húmedo, donde hay un crecimiento vegetativo abundante durante todo el año, la fijación de N por la leguminosa sea más alta.

En una asociación de gramínea y leguminosa, y en condiciones favorables, de 80% a 90% del N de la leguminosa proviene de la fijación simbiótica (Vallis et al., 1977; Vallis y Gardener, 1985). En cambio, cuando la leguminosa crece sola, la proporción de nitrógeno fijada es menor, porque falta la competencia por el N mineral del suelo que hubiera hecho la gramínea acompañante.

Existe poca información sobre la transferencia de N desde la leguminosa a la gramínea en las pasturas tropicales. Algunos trabajos sugieren que la transferencia directa de N entre las raíces o como efecto de la muerte de los nódulos es mínima, y que la mayor parte del N se trasfiere en las pasturas por la descomposición de las hojas de las leguminosas (Whitney, 1982); por tanto, esa transferencia aumentará con el tiempo si la leguminosa persiste. Se observó, por ejemplo, en trabajos realizados en Carimagua (CIAT, 1989), que solamente un 65% del N adicional hallado en *Brachiaria* spp.—sembrada en mezcla con kudzú—

provenía directamente de la fijación de nitrógeno un año después del establecimiento; las gramíneas produjeron más N que la leguminosa. Ahora bien, este resultado sugiere que aunque la leguminosa pudiera representar una pequeña proporción de la biomasa, su efecto más importante sería hacer disponible el N en el suelo para el crecimiento de las gramíneas.

Factores de la simbiosis leguminosa-rizobio

Se discuten en esta sección algunos factores que pueden afectar la simbiosis entre las leguminosas tropicales y los rizobios, tanto nativos como introducidos; también se estudia aquí el manejo que puede darse a esos factores durante el establecimiento de las pasturas.

La efectividad de la población de rizobios nativos. La habilidad de la simbiosis leguminosa-rizobio para fijar nitrógeno se denomina 'efectividad'. Esta efectividad depende de tres componentes: la leguminosa, los rizobios y el ambiente. Muchos factores ambientales como la temperatura, el pH y la humedad afectan la capacidad de los rizobios para sobrevivir en el suelo (Lowendorf, 1980). El proceso de infección, la efectividad de la simbiosis, y la senescencia de los nódulos sufren también los efectos de los factores ambientales (CIAT, 1987; Gibson, 1977; Robson, 1983; Sutton, 1983).

La efectividad de la población de rizobios nativos en un suelo determinado depende de su abundancia, su especificidad, su diversidad, su competitividad, y su tolerancia a las condiciones ambientales. Estas características varían ampliamente entre un suelo y otro, aunque dentro del suelo mismo la población puede cambiar a causa de efectos intrínsecos e inducidos, que se describen a continuación:

a. Los genes que controlan la fijación del nitrógeno y que están localizados en los plásmidos pueden transferirse de un rizobio a otro. Esta transferencia ocurre, sin embargo, con una frecuencia baja y se considera de poca importancia en el suelo (Sims et al., 1988). De todos modos, estas observaciones se refieren solamente a rizobios de crecimiento rápido (*Rhizobium*) que llevan sus genes para simbiosis en los plásmidos. Los rizobios de crecimiento lento (*Bradyrhizobium*) que inducen nódulos en la mayoría de las leguminosas forrajeras tropicales, no

llevan sus genes simbióticos en los plásmidos, y no están sujetos por ello a este tipo de cambio genético en el suelo. La transferencia de estos genes explicaría la gran diversidad de rizobios nativos en ciertos suelos, no precisamente en los ácidos, donde esa diversidad es menor (Young, 1985).

b. Los exudados de las raíces estimulan el crecimiento de unas cepas de rizobios más que el de otras y, en consecuencia, la población nativa de rizobios depende de la vegetación existente. Hay también cepas capaces de competir con las cepas nativas, aun cuando éstas presenten grandes poblaciones en la rizosfera; otras cepas, en cambio, aunque presentes en gran número en el suelo, no forman el mayor porcentaje de los nódulos (Schmidt y Robert, 1985). Es decir, aunque haya diferentes tipos de rizobios en el suelo, no son necesariamente efectivos para formar nódulos y fijar nitrógeno.

c. La planta produce ciertas sustancias en las raíces que influyen en la expresión de los genes de los rizobios. Se ha informado de efectos específicos de algunos compuestos fenólicos en la expresión de los genes de los rizobios (Rolfe et al., 1988). Posiblemente, tales compuestos se acumulan en el suelo en que se ha sembrado una leguminosa y alteran la capacidad de las cepas presentes para establecer una simbiosis efectiva. Sin embargo, hasta la fecha estos efectos se han observado solamente bajo condiciones de laboratorio.

d. Los factores ambientales del estrés pueden producir cambios genéticos en los rizobios. Por ejemplo, en los suelos de los Cerrados de Brasil, la población de actinomicetos aumenta como respuesta al encañado. Ahora bien, los actinomicetos producen antibióticos y, en consecuencia, las cepas nativas de rizobios de estos suelos—en contacto permanente con los antibióticos—desarrollaron mayor resistencia intrínseca a éstos que algunas de las cepas aisladas de otros suelos (Sá et al., 1983).

e. La presencia de otros microorganismos en el suelo puede modificar la efectividad de la simbiosis. Por ejemplo, algunos microorganismos producen sustancias que afectan el crecimiento de las plantas directamente o por los efectos que causan en la población de los patógenos de la rizosfera (Schippers et al., 1987; Weller, 1988). Los microorganismos también pueden interactuar entre ellos (Trinick et al., 1983).

f. Los rizobios del suelo pueden cambiar porque se contaminan con el suelo traído de parcelas vecinas por animales o personas, por el viento o por el agua.

En general, la inoculación intenta modificar la efectividad de la población de las cepas nativas mediante la introducción de una cepa seleccionada. Al inocular, la cepa introducida interactúa con las cepas nativas y experimenta cambios complejos, como se ha descrito para las cepas nativas. Sin embargo, si el cambio en la efectividad de la simbiosis se expresa en el vigor de la planta, no es necesario estudiar en detalle estas interacciones en los suelos para poder manejarlas.

Necesidad de inocular y selección de cepas. La efectividad de una población de rizobios nativos se puede determinar indirectamente mediante los ensayos agronómicos sencillos descritos por Sylvester-Bradley y Munévar (1987) y por los científicos del CIAT (CIAT, 1987; 1988a; 1988b). Para comparar la efectividad de las cepas nativas con el potencial de rendimiento de una leguminosa se requieren solamente dos tratamientos: N mineral en dosis baja y el mismo en dosis alta, ambos sin inocular. En esta prueba se conoce el grado de respuesta al N de las leguminosas; las que den mayor respuesta son las que probablemente responderán más a la inoculación.

En la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) se han realizado ensayos para evaluar la efectividad de las cepas nativas con leguminosas forrajeras tropicales, en diferentes suelos. Los resultados indican que existen grandes diferencias entre las leguminosas, y entre un suelo y otro, respecto a la efectividad de la simbiosis con las cepas nativas. Un ejemplo aparece en el Cuadro 1.

En general, una leguminosa necesita inoculación si se observa que da una respuesta significativa a ésta, en términos del rendimiento de N, durante el establecimiento. En algunos casos, la leguminosa responde a la inoculación, en otros crece bien sin inoculación. Con el kudzú, por ejemplo, se puede duplicar el rendimiento de N durante el establecimiento si se inocula la leguminosa, aunque se observan nódulos abundantes y rojos en los tratamientos sin inocular. En ocasiones, la población nativa de rizobios es completamente inefectiva y la ausencia de inoculación puede resultar en una falla total del establecimiento;

Cuadro 1. Respuesta a la fertilización con N de once leguminosas forrajeras en suelos de Colombia (Carimagua), de Panamá (Calabacito), y de Cuba (Bayamo).

Especie	Ecotipo	Respuesta (IRN) ^a en un suelo de:		
		Carimagua	Calabacito	Bayamo
<i>Centrosema acutifolium</i>	5568	88	68	53
<i>Centrosema acutifolium</i>	5277	56	63	48
<i>Desmodium heterophyllum</i>	349	88	60	43
<i>Desmodium heterophyllum</i>	3782	29	57	47
<i>Stylosanthes capitata</i>	10280	41	65	82
<i>Stylosanthes capitata</i>	1441	57	79	53
<i>Desmodium ovalifolium</i>	350	56	77	35
<i>Pueraria phaseoloides</i>	9900	38	56	29
<i>Leucaena leucocephala</i>	17495	85	83	14
<i>Centrosema macrocarpum</i>	5713	74	69	61
<i>Centrosema pubescens</i>	438	53	76	4

a. IRN (Índice de respuesta al nitrógeno) es la diferencia entre el rendimiento +N y el rendimiento -N, expresada como porcentaje del rendimiento +N. Por ejemplo, un IRN de 75% equivale a un aumento de 300% sobre el rendimiento -N. Este método se describe detalladamente en CIAT, 1988a.

Centrosema macrocarpum y *Arachis pintoi* se encuentran dentro de este grupo, según el suelo en que se hallen. En *Stylosanthes guianensis* y otras leguminosas no se han observado respuestas a la inoculación en los suelos donde la leguminosa está bien adaptada, lo que indica que las cepas nativas son efectivas.

Como un apoyo a la RIEPT, se han realizado ensayos para identificar las combinaciones leguminosa-rizobio que sean efectivas en diferentes tipos de suelo (CIAT, 1990). Las combinaciones que han dado los rendimientos de N más altos, en la mayoría de los suelos estudiados hasta la fecha, aparecen en el Cuadro 2. En general, se sugiere inocular las leguminosas con las cepas indicadas en el Cuadro 2 (o con cepas recomendadas). Estas recomendaciones evitarán que las leguminosas potencialmente útiles para un determinado lugar sean eliminadas en un proceso de selección a que se sometan.

Métodos de inoculación. Los métodos de inoculación de las semillas y del material vegetativo se describen en los folletos que acompañan el inoculante distribuido por la RIEPT.

Cuadro 2. Combinaciones leguminosa-rizobio que se seleccionaron para inoculación partiendo de datos del rendimiento de las plantas en un suelo no disturbado. Estos ensayos fueron hechos en el invernadero y en el campo por el CIAT y por la RIEPT.

Leguminosa	Cepa de rizobio (código CIAT)
<i>Arachis pinto</i>	3101
<i>Centrosema acutifolium</i>	3101
<i>Centrosema brasilianum</i>	3101
<i>Centrosema macrocarpum</i>	3101
<i>Centrosema pubescens</i>	3101
<i>Cratylia floribunda</i>	3561
<i>Clitoria ternatea</i>	4908
<i>Desmodium heterocarpon</i>	4099
<i>Desmodium heterophyllum</i>	4099
<i>Desmodium ovalifolium</i>	4099
<i>Flemingia macrophylla</i>	4099
<i>Leucaena leucocephala</i>	1967
<i>Pueraria phaseoloides</i>	3918
<i>Stylosanthes capitata</i>	995
<i>Stylosanthes guianensis</i> ^a	4969
<i>Stylosanthes guianensis</i> (10136)	4100
<i>Zornia glabra</i>	4100
<i>Zornia latifolia</i>	4100

a. Ecotipos 136, 184 y 1280.

Por lo regular, los inoculantes se producen utilizando turba molida estéril como medio de soporte. Este tipo de inoculante tiene generalmente buena calidad durante seis meses si se conserva refrigerado. Se ha observado un efecto notorio en la sobrevivencia de los rizobios en las semillas causado por la fuente de turba, aun cuando se mantenga igual el número de rizobios en el inoculante (López, 1990). Algunas cepas son susceptibles al frío y sobreviven mejor a la temperatura ambiental (Roughley, 1982). Finalmente, la probabilidad de que se rompan los paquetes plásticos durante el almacenamiento, y las altas temperaturas a que pueden exponerse los rizobios durante el transporte complican el proceso de suministrar inoculantes de buena calidad a los agricultores.

Antes de proceder a la inoculación de las semillas, éstas deben lavarse si fueron tratadas con fungicidas; obviamente, no es necesario lavarlas si han sido escarificadas para sembrarlas. Normalmente se utiliza un adherente, como la goma arábica, para aplicar el inóculo a las semillas; en ocasiones, la goma arábica puede sustituirse por leche, por una solución azucarada, o por almidón de yuca.

En general, para que la tecnología de la inoculación con rizobios tenga efecto en el establecimiento de las leguminosas tropicales, es necesario mantener un adecuado control de calidad en la fabricación del inóculo y tener suficientes cuidados en su distribución y almacenamiento. En Australia se percibió una notable mejoría en la calidad de los inoculantes cuando se introdujo el control de calidad obligatorio (Date, 1970).

Prácticas agronómicas y respuesta a la inoculación. Hay pocos estudios sobre el efecto de las prácticas de cultivo en la respuesta a la inoculación de las leguminosas forrajeras tropicales durante su establecimiento. Se espera que un buen efecto de la fertilización adecuada y de la buena compactación del suelo después de la siembra sería un incremento en la efectividad de los inoculantes aplicados. Además, es probable que las prácticas de cultivo que estimulan la actividad de los hongos MVA en el suelo estimulen también la fijación del nitrógeno en la simbiosis leguminosa-rizobio, ya sea con cepas nativas o introducidas.

El método de siembra de las leguminosas afecta también la respuesta a la inoculación durante el establecimiento. En un suelo bien arado, con alto contenido de nitrógeno, en el cual se siembran las leguminosas en monocultivo, la respuesta a la inoculación es menor que cuando se siembra la leguminosa con mínima labranza o asociada con gramíneas que compiten por el nitrógeno del suelo (Sylvester-Bradley y Mosquera, 1985). Este efecto se debe a la inhibición de la simbiosis leguminosa-rizobio por el nitrógeno mineral.

En general, no se sabe si las cantidades de N mineral que se encuentran en el suelo cuando se establece una asociación leguminosa-gramínea serían suficientes para inhibir la simbiosis de esa leguminosa con cepas de rizobio que hayan sido inoculadas. Para averiguarlo, sería

necesario evaluar la cantidad de nódulos formados por la cepa cuando ésta ha sido introducida bajo diferentes condiciones de establecimiento de la pastura. Este dato permitiría definir los principales factores que garanticen una buena infección con rizobios, cuando se cree que ésta debe ocurrir durante el establecimiento de la pastura.

Tecnologías de inoculación apropiadas

En algunos países desarrollados se han patentado métodos para la pre-inoculación de las semillas. Se cree que estas técnicas tendrían actualmente poco éxito en las regiones tropicales, excepto en sitios especiales donde existen buenas condiciones para el almacenamiento y la distribución de las semillas.

Los inoculantes liofilizados tendrían posiblemente ventajas sobre los inoculantes tradicionales por su menor susceptibilidad a la contaminación, su mayor sobrevivencia, y su fácil control de calidad (López y Sylvester-Bradley, 1986).

Las Micorrizas Vesículo-Arbusculares

Las micorrizas son asociaciones entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo. Las MVA están constituidas por hongos presentes en la mayoría de las plantas vasculares, y tienen un gran espectro de hospedantes. Se han demostrado ampliamente, tanto en el laboratorio como en el campo, incrementos significativos en el crecimiento de las plantas gracias a la presencia de estos hongos en sus raíces.

La investigación sobre micorrizas se ha dedicado principalmente a las plantas de zonas templadas; sobre las micorrizas de los trópicos hay poca información. Las revisiones hechas por Janos (1983) y por Miller (1987) indican que la mayor parte de las especies vegetales del trópico son capaces de formar micorrizas y de recibir beneficios de ellas. La baja disponibilidad de fósforo de los suelos tropicales hace pensar que el uso de la micorriza tiene un beneficio potencial alto (Bowen, 1980).

En general, es posible establecer, en una pastura permanente, un tipo de manejo que favorezca la simbiosis de los hongos micorrícicos y de las raíces; es preciso definir previamente los factores ambientales que las afectan.

Absorción de nutrimentos y agua por las raíces

La absorción de nutrimentos por las plantas depende en gran medida de la solubilidad de los iones en el suelo, especialmente los de P; estos iones se derivan, directa o indirectamente, del material que les dio origen.

Tanto las plantas con micorriza como las que no la tienen toman el P de la solución del suelo (Mosse et al., 1973). La concentración de este P es baja (menos de 1 μM) y el flujo de masa de este elemento es insuficiente para abastecer la planta (Tinker, 1978). Se ha estimado que ese flujo contribuye con una cantidad que oscila entre el 3% y el 13% del fósforo absorbido por algunas plantas (Itoh y Barber, 1983). La difusión de los iones, además, limita el movimiento de éstos hacia la raíz. Se sabe ya que la absorción de N, P y K está limitada por su tasa de difusión a través del suelo y no por la capacidad de la raíz para absorberlos partiendo de su baja concentración en la solución del suelo (Nye, 1977).

Las hifas de las micorrizas se extienden enormemente por el suelo que se halla alrededor de la raíz y, por tanto, el área de absorción aumenta. Como resultado, la absorción de nutrimentos aumenta porque se acorta la distancia que el ion debe recorrer para difundirse hacia la raíz. La captación de iones también aumenta porque hay mayor volumen de suelo disponible para la planta, ya que las hifas extramatriciales se extienden considerablemente a través del suelo. Se ha demostrado que las hifas de la MVA interceptan el P radiactivo colocado a una distancia de 3 a 6 cm de la raíz 'micorrizada', lo que no pueden hacer las raíces que no tienen micorrizas (Rhodes y Gerdemann, 1975). También se han observado diferencias entre las raíces micorrizadas y las que no lo son en lo que respecta a la absorción de nutrimentos de la solución del suelo. Las raíces micorrizadas absorben más rápidamente el P y otros nutrimentos por gramo de raíz que las raíces sin micorriza (Bowen et al., 1975).

La absorción de nutrimentos y de agua por las raíces está íntimamente relacionada con la concentración mineral en la solución del suelo, concentración que depende a su vez del contenido de agua del suelo. Así se ha demostrado, en la soya y en la cebolla, que las micorrizas

incrementan el transporte de agua (Safir et al., 1971) y que incluso mejoran la tolerancia a la sequía (Nelsen y Safir, 1982; Allen y Boosalis, 1983). En plantas micorrizadas de la especie *Boutelova gracilis* se observó que la resistencia difusiva de las hojas era mayor y que el flujo de transpiración era menor que en las plantas sin micorrizas; las primeras mostraron una conductividad hidráulica dos a tres veces mayor que las segundas (Allen, 1982).

Dependencia de las micorrizas

La respuesta de la planta a la micorriza, medida como crecimiento de la planta, varía según el tipo de raíz, la tasa de crecimiento de la planta, el clima, el tipo de suelo y su nivel de P, y las especies de hongos micorrícicos.

Se acepta que las plantas que tienen raíces gruesas no ramificadas y escasos pelos absorbentes, como los cítricos y las cebollas, dependen más de la micorriza que aquellas plantas cuyas raíces son muy ramificadas y tienen numerosos y largos pelos radiculares. Estos últimos están muy desarrollados en especies que típicamente no forman micorrizas, como ocurre con *Lolium perenne* (Crush, 1973). En general, la mayor o menor formación de pelos radiculares en muchas plantas está inversamente relacionada con un incremento en la dependencia de la MVA, y directamente relacionada con la capacidad de la planta para absorber P de los suelos donde hay poco P disponible (Baylis, 1970).

La dependencia de la micorriza se define como el grado en que una planta depende de la asociación micorrícica para producir su máximo crecimiento, a un nivel dado de fertilidad del suelo (Gerdemann, 1975). Muchos investigadores han demostrado que las especies vegetales—y aun los cultivares dentro de una misma especie—difieren en su respuesta a la micorriza (Ollivier et al., 1983; Plenchette et al., 1982), así como en su dependencia de la misma (Azcón de Aguilar y Ocampo, 1981; Plenchette et al., 1983). En otras palabras, las especies vegetales micorrícicas pueden ordenarse a lo largo de un espectro de dependencia de la micorriza (como condición para su crecimiento) que va de una micotrofia facultativa a una micotrofia obligada (Janos, 1980).

Las leguminosas tropicales han demostrado ser más dependientes de las micorrizas para su crecimiento que las de la zona templada. Esta dependencia está relacionada con el grado de desarrollo de los pelos radiculares (Crush, 1974), y varía mucho de una especie tropical a otra dentro de un mismo género (Saif, 1987). Se ha demostrado además que, en algunas leguminosas tropicales, la absorción de P, N, K, Ca y Mg está correlacionada indirectamente con la dependencia micorrízica (Saif, 1987).

Abundancia de las micorrizas

Los hongos de la MVA son abundantes en los ecosistemas naturales, sin excluir de éstos las pasturas (Abbott y Robson, 1982; Powell, 1976; 1978). Tanto las leguminosas como las gramíneas tropicales forman MVA en sus ambientes naturales y también bajo condiciones de cultivo (Crush, 1974; Powell y Daniel, 1978). En algunas pasturas, la abundancia de micorriza está relacionada con la intensidad del pastoreo, con el porcentaje de área que posee cubierta vegetal, y con las especies vegetales vecinas (Newman, 1985a). Asimismo, los hongos micorrízicos son invasores primarios de las raíces de algunas plantas forrajeras (Skipp et al., 1982).

En los trópicos húmedos, salvo algunas excepciones, los suelos contienen un número bajo de esporas (Janos, 1983), es decir, su potencial de formación de micorriza es bajo. Esta característica confiere un gran valor a la inoculación de especies forrajeras en ese ecosistema.

Beneficios de la infección con micorrizas

La infección de las raíces de las plantas con hongos de la MVA se traduce en un estímulo al crecimiento, cuando el suelo es deficiente en P (Hayman, 1982; Crush, 1974; Mosse et al., 1973). Este efecto ha sido explicado con las siguientes razones: a) la capacidad de la planta micorrizada para utilizar el P disponible del suelo (Sanders y Tinker, 1973; Gianinazzi-Pearson et al., 1981); b) el incremento de la superficie de absorción de la planta, o sea, el incremento (por acción de la micorriza) del volumen de suelo disponible para la planta (Tinker, 1978); y

c) el aumento de la traslocación de nutrimentos a través de las zonas de difusión (Sanders y Tinker, 1973). La micorriza también incrementa la captación de zinc, cobre, azufre, calcio y potasio (Tinker, 1978; Bowen, 1980).

Se ha demostrado que las leguminosas forrajeras forman nódulos fijadores de nitrógeno en los suelos deficientes en P, si los hongos de la MVA están en sus raíces (Mosse et al., 1976). En estos suelos, las micorrizas han incrementado la nodulación, la fijación del nitrógeno, y el crecimiento de *Centrosema pubescens* (Mosse et al., 1973; Crush, 1974), de *Stylosanthes guianensis* (Crush, 1974), de *Macropitilium atropurpureum* (Lopes et al., 1980), de *Pueraria* sp. y de *Stylosanthes* sp. (Waidyanatha et al., 1979), y también de *Leucaena esculenta* (Valdés et al., en impresión).

Con frecuencia, las leguminosas tropicales responden mucho más que las de la zona templada a la infección micorrícica (Mosse et al., 1973; Lopes et al., 1980; Waidyanatha et al., 1979). En estas últimas las micorrizas incrementan la fijación de nitrógeno (Azcón de Aguilar et al., 1979; Smith y Bowen, 1979); los rizobios, por su parte, con algunos productos extracelulares (como polisacáridos y auxinas), contribuyen al proceso de infección micorrícica estimulando posiblemente los hongos de la MVA en la rizosfera o formando puntos de entrada en las raíces de las plantas (Azcón de Aguilar y Barea, 1985).

En pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas, las micorrizas desempeñan un papel muy importante porque promueven el crecimiento de las leguminosas y minimizan la competencia de éstas con las gramíneas por los nutrimentos del suelo; recuérdese que las primeras, cuyas raíces tienen pocos pelos absorbentes, requieren más de la micorriza que las gramíneas, cuyo desarrollo radicular es profuso. Por otro lado, se ha demostrado que en las pasturas en que hay forrajeras asociadas existe una transferencia de P entre leguminosas y gramíneas a través de las hifas de las micorrizas (Newman, 1985b). Los sistemas radiculares de las plantas micorrícicas, de una misma o de diferente especie, pueden estar interconectados por puentes tendidos por las hifas de los hongos de la MVA; en los suelos de regiones tropicales, estos puentes contribuirían incluso a la distribución de nutrimentos entre las plantas hospedantes.

Factores externos que afectan la respuesta a las micorrizas

El grado de dependencia de las especies vegetales respecto a su condición de micótrofas o no micótrofas influye, en gran medida, en la competencia que harían en su habitat. Según Janos (1985), cuando dos plantas compiten en ausencia de hongos micorrícicos en un suelo sin deficiencias de nutrimentos, la mejor competidora será aquélla cuya condición de micótrofa sea más facultativa. Cuando hay abundante inóculo de MVA, la competencia se haría más compleja porque habría combinaciones de especies vegetales que difieren en su grado de dependencia.

Dos micótrofos facultativos—o uno facultativo y otro obligado—compiten en un suelo cuya fertilidad no es lo suficientemente alta para que el competidor menos dependiente de la micorriza rechace la infección; en este caso (Janos, 1985), el mejor competidor será la especie más dependiente de la micorriza, es decir, el micótrofo menos facultativo.

La mayoría de las plantas dan una respuesta fisiológica a los hongos micorrícicos cuando el nivel de P es bajo en el suelo (Azcón et al., 1978; Hayman, 1982); una fuerte fertilización con fósforo o nitrógeno, por su parte, afecta negativamente la formación de micorrizas (Hayman, 1970; Nelsen et al., 1981).

El nivel del P en el suelo está relacionado con la colonización de los hongos micorrícicos en las raíces. Si hay poco fósforo en el suelo, el nivel de fosfolípidos en la membrana de las células de la raíz es bajo y, en consecuencia, habrá una mayor exudación radicular; ésta, a su vez, estimula la colonización por el endofito. Por otra parte, la actividad endofítica, estimada tanto por el número de esporas como por la colonización porcentual, se deprime cuando se adiciona P soluble al suelo (Nelsen et al., 1981).

La fertilidad alta del suelo trae consigo, generalmente, una colonización de MVA mínima, a tal punto que es difícil hallar este tipo de micorriza en los suelos cultivados intensamente. Algunas especies vegetales pueden obtener beneficios de la MVA, independientemente del nivel de P que haya en el suelo; estas plantas, como la cebolla, la yuca y los cítricos, son absolutamente dependientes de los hongos de la MVA.

La temperatura del suelo y la intensidad luminosa también influyen en la colonización de los hongos MVA y en la respuesta de la planta a la micorriza. La mayoría de los hongos necesitan una temperatura óptima para establecer la relación simbiótica y para que persista la micorriza ya formada (Furlan y Fortin, 1973).

Hay mayor desarrollo micorrícico cuando la intensidad luminosa es alta, efecto que aparentemente está relacionado con una actividad fotosintética mayor y, consecuentemente, con un mayor transporte de carbohidratos hacia la raíz; sin embargo, en ciertas condiciones de sombra se ha producido una micorriza más extensiva (Furlan y Fortin, 1977).

Manejo de la micorriza en el suelo

No siempre es necesario inocular un suelo con hongos micorrícicos ya que, en ocasiones, se establecen sistemas de producción (rotación de pastos y cultivos, por ejemplo) que mantienen, o incrementan, la micorriza de los hongos nativos cuando éstos trabajan bien.

Para que haya un buen número de propágulos de hongos MVA, es necesaria la presencia de plantas hospedantes apropiadas. Si se quiere inducir a hongos indígenas a que formen la micorriza, es necesario que se dé también buen manejo a las plantas hospedantes que se hallan en las cercanías. En las sabanas tropicales cuyos suelos son de baja fertilidad, se ha observado un efecto notorio en el número de esporas del hongo nativo de la MVA cuando el terreno se precultiva con una planta hospedante antes de sembrar las especies forrajeras (CIAT, 1988b; Dodd et al., 1990b). Específicamente, el sorgo estimuló las cepas nativas del hongo, y la yuca estimuló las cepas introducidas. Sieverding y Leihner (1984) encontraron también que, alternando los cultivos de leguminosas y de yuca, se incrementaba la formación de la MVA en este último; no ocurría lo mismo si en el terreno se sembraba la yuca en monocultivo. Se encontró también (Janos, 1988) que, cuando se rotaba el maíz con *Solanum arvense*, no sólo se incrementaba la formación de la MVA sino que se duplicaba la producción de biomasa del maíz; estos incrementos no se obtenían si se plantaba la misma especie en monocultivo.

Producción de inóculo de micorriza e inoculación

Los hongos de la MVA se introducen en el suelo en tres situaciones (Menge, 1985): a) cuando el suelo carece de hongos de la MVA; b) cuando se desea inocular un hongo altamente efectivo; y c) cuando se quiere reestructurar la población existente de hongos de la MVA.

Existen diferentes métodos de producción del inóculo de la MVA, y todos emplean plantas hospedantes intermediarias. Estas propagarán los hongos que más tarde inocularán las plantas deseadas en el campo. Por ejemplo, los cítricos y aguacates que se producen en California se inoculan en el vivero con raicillas de plantas de otras especies; estas plantas han sido infectadas previamente en macetas que contienen suelo de bajo nivel de P. Esta técnica, conocida como 'cultivo en maceta', fue diseñada por Menge (1983) y es la más utilizada en los ensayos de inoculación.

Otro método de producción de inóculo emplea como especie intermediaria la lechuga. Las plantas crecen durante tres meses en cubos de turba compactada colocados en un recipiente en el cual fluye constantemente una solución nutritiva; estos cubos se secan luego al aire y constituyen el inóculo (Elmes et al., 1983; Warner et al., 1985). Otro método de producción de inóculo comercial emplea técnicas de cultivo de tejidos radiculares (Wood, 1987).

El costo de la inoculación depende de su método de producción y de su introducción en el campo. Actualmente se inoculan cultivos de un valor comercial relativamente alto. Cuando se establecen especies forrajeras a gran escala, y se desea inocularlas con hongos de la MVA, es necesario desarrollar métodos que disminuyan los costos del transporte y de la aplicación del inóculo.

Necesidades de investigación de la micorriza

El manejo adecuado de un hongo micorrícico seleccionado puede modificar el potencial de producción de un suelo así como el fertilizante que éste requiera. Hay que reconocer también que en las regiones tropicales se conocen poco las micorrizas, ya que la mayor parte de esta investigación se ha hecho con plantas de regiones templadas.

Para desarrollar aplicaciones prácticas de la micorriza en los trópicos, será necesario diseñar una tecnología sencilla y económica. Se necesitan, específicamente, técnicas sencillas para evaluar la efectividad de las cepas con que se inoculan los suelos no tratados que han recibido además diferentes dosis de P.

Por último, un área de investigación muy prometedora, a juzgar por los resultados obtenidos, es la asociación (o relación sinérgica) de los hongos micorrícicos con los rizobios, en las raíces de las plantas leguminosas. Estas especies, ampliamente representadas en las pasturas tropicales, son de gran importancia para ellas.

Microorganismos Nitrificadores

Si un suelo posee una intensa actividad microbiana nitrificadora, es decir, alberga microorganismos que convierten el amonio en nitrato, puede sufrir, por lixiviación, grandes pérdidas de nitrógeno en forma de nitratos. En ensayos hechos en los Llanos Orientales de Colombia se ha observado que las gramíneas son más vigorosas cuando se siembran en un suelo preparado con varios meses de anticipación (antes de la época seca); no ocurre lo mismo si ese suelo está recién preparado. La actividad de los microorganismos nitrificadores es pues mínima cuando el suelo no ha sido disturbado. Sin embargo, es evidente que hay un aumento en la tasa de nitrificación aproximadamente tres meses después de haber arado el suelo; este efecto explicaría la respuesta obtenida en el establecimiento de las gramíneas.

Si se emplea la estrategia de liberar el nitrógeno nativo del suelo haciendo una preparación anticipada de éste, es importante impedir que se pierdan grandes cantidades de nitratos por lixiviación; para lograrlo, se procura sembrar inmediatamente después del inicio de las lluvias.

Conclusiones

Hay estrategias y métodos sencillos para manejar los microorganismos del suelo que favorecen el establecimiento de las especies forrajeras en el trópico; además, el procedimiento para aplicar unas y otros es sencillo y rápido. Por otra parte, para explicar mejor la acción de los

microorganismos del suelo, es necesario entender más profundamente su funcionamiento y su interacción con otros componentes del sistema; para conseguir esto se requiere investigación básica.

Finalmente, un alto grado de interacción entre los científicos involucrados en la investigación aplicada y básica es fundamental para lograr un eficiente manejo del sistema microbiológico del suelo.

Referencias

- Abbott, L. K. y Robson, A. D. 1977. The distribution and abundance of vesicular endophytes in some western Australian soils. *Aust. J. Bot.* 25:512-522.
- y ———. 1982. The role of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation. *Aust. J. Agric. Res.* 33:389-408.
- Abbott, L. K. y Robson, A. D. 1977. The distribution and abundance of vesicular endophytes in some western Australian soils. *Aust. J. Bot.* 25:512-522.
- Allen, M. F. 1982. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on water movement through *Bouteloua gracilis*. *New Phytol.* 91:191.
- y Boosalis, M. G. 1983. Effects of two species of VA mycorrhizal fungi on drought tolerance of winter wheat. *New Phytol.* 93:67-76.
- Azcón, R.; Martin, A. D. y Barea, J. M. 1978. Comparative role of phosphate in soil or in the host on the formation and effects of VA mycorrhiza. *Plant Soil* 49:561-567.
- Azcón de Aguilar, C. y Barea, J. M. 1985. Implications of some extracellular products of soil microorganisms on plant infection by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. En: Nuclear techniques to study the role of mycorrhiza in increasing food crop production. International Atomic Energy Agency (IAEA), Viena, Austria. p. 109-126.
- y Ocampo, J. A. 1981. Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytol.* 87:677-685.
- ; Azcón, R. y Barea, J. M. 1979. Endo-mycorrhizal fungi and *Rhizobium* as biological fertilizers for *Medicago sativa* in normal cultivation. *Nature* 279:325-327.
- Barraclough, D.; Geens, E. L.; Davies, C. P. y Magg, J. M. 1985. Fate of fertilizer nitrogen; 3: The use of single- and double-labelled ^{15}N -ammonium nitrate to study nitrogen uptake by ryegrass. *J. Soil Sci.* 36:593-603.

- Baylis, C. T. S. 1970. Root hairs and phycomycetous mycorrhizas in phosphate-deficient soil. *Plant Soil* 33:713-716.
- Boddey, R. M. y Victoria, R. L. 1986. Estimation of biological nitrogen fixation associated with *Brachiaria* and *Paspalum* grasses using ^{15}N -labelled organic matter and fertilizer. *Plant Soil* 90:265-292.
- Bowen, G. D. 1980. Mycorrhizal roles in tropical plants and ecosystems. En: Mikola, P. (ed.). *Tropical mycorrhiza research*. Clarendon Press. p. 165-190.
- _____; Bevege, D. I. y Mosse, B. 1975. Phosphate physiology of vesicular-arbuscular mycorrhizas. En: Sanders, F. E.; Mosse, B. y Tinker, P. B. (eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, Nueva York. p. 241-260.
- Cadisch, G., Sylvester-Bradley, R. y Nosberger, J. 1989. ^{15}N -based estimation of nitrogen fixation by eight tropical forage-legumes at two levels of P:K supply. *Field Crops Res.* 22(3):181-194.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Simbiosis leguminosa-rizobio: Evaluación, selección y manejo. [Gufa de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audiotutorial sobre el mismo tema]. Contenido científico: Sylvester-Bradley, R.; Kipe-Nolt, J. A. y Harris, D. J. Producción: Valencia, C. A. Cali, Colombia. 73 p.
- _____. 1988a. Simbiosis leguminosa-rizobio: Manual de métodos de evaluación, selección y manejo agronómico. Sección de Microbiología de Suelos del Programa de Pastos Tropicales y sección de Microbiología de Suelos del Programa de Frijol. Cali, Colombia. Varias paginaciones (178 p.).
- _____. 1988b. Informe anual 1987: Programa de Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 45. Cali, Colombia. p. 10-1 a 10-28.
- _____. 1989. Informe anual 1988: Programa de Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 59. Cali, Colombia. p. 10-1 a 10-26.
- _____. 1990. La simbiosis leguminosa-rizobio: Actas de un taller sobre evaluación, selección y manejo agronómico. Documento de trabajo no. 64. Sylvester-Bradley, R. y Kipe-Nolt, J. (eds.). CIAT y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Cali, Colombia.
- Crush, J. R. 1973. The effects of *Rhizophagus tenuis* mycorrhizas in ryegrass, cocksfoot and sweet vernal. *New Phytol.* 72:965-973.
- _____. 1974. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza; 7: Growth and nodulation of some herbage legumes. *New Phytol.* 73:743-749.
- Date, R. A. 1970. Microbiological problems in the inoculation and nodulation of legumes. *Plant Soil* 32:703-725.

- Dodd, J. C.; Arias, I.; Koomen, I. y Hayman, D. S. 1990a. The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem; 1: The effect of pre-cropping and inoculation with VAM-fungi on plant growth and nutrition in the field. *Plant & Soil* 122:229-240.
- ____; ____; ____ y _____. 1990b. The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem; 2: The effects of pre-crops on the spore populations of native and introduced VAM-fungi. *Plant & Soil* 122:241-247.
- Elmes, R. P.; Hepper, C. M.; Hayman, D. S. y O'Shea, J. 1983. The use of vesicular-arbuscular roots grown by the nutrient flow technique as inoculum for field sites. *Ann. Appl. Biol.* 104:437.
- Furlan, V. y Fortin, J. A. 1973. Formation of endomycorrhizae by *Endogone calospora* on *Allium cepa* under three temperature regimes. *Nat. Can. (Quebec)* 100:467-477.
- ____ y _____. 1977. Effects of light intensity on the formation of vesicular-arbuscular endomycorrhizas on *Allium cepa* by *Gigaspora calospora*. *New Phytol.* 79:335-340.
- Gerdemann, J. W. 1975. Vesicular-arbuscular mycorrhizae. En: Torrey, J. G. y Clarkson, D. T. (eds.). *The development and function of roots*. Academic Press, Nueva York. p. 575-591.
- Gianinazzi-Pearson, V.; Fardeau, J. C.; Asimi, S. y Gianinazzi, S. 1981. Source of additional phosphorus absorbed from soil by vesicular-arbuscular mycorrhizal soybeans. *Physiol. Veg.* 19:33-43.
- Gibson, A. H. 1977. The influence of the environment and managerial practices on the legume-Rhizobium symbiosis. En: Hardy, R. W. F. y Gibson, A. H. (eds.). *A treatise on dinitrogen fixation; Section IV: Agronomy and ecology*. Wiley & Sons, Nueva York. p. 393-450.
- Hayman, D. S. 1970. Endogone spore numbers in soil and VAM in wheat as influenced by season and soil treatment. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 54:53-63.
- ____. 1982. Influence of soils and fertility on activity and survival of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 72:1119-1125.
- Henzell, E. F. 1968. Sources of nitrogen for Queensland pastures. *Trop. Grassl.* 2:1-17.
- Itoh, S. y Barber, S. A. 1983. Phosphorus uptake by six plant species as related to root hairs. *Agron. J.* 75:457-461.

- Janos, D. P. 1980. Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica* 12 (suppl.):56-64.
- . 1983. Tropical mycorrhizas, nutrient cycles and plant growth. En: Sutton, E. D.; Whitmore, T. C. y Chadwick, A. C. (eds.). *Tropical rain forest: Ecology and management*. Blackwell Sci. Pub. p. 327-345.
- . 1985. Mycorrhizal fungi: Agents or symptoms of tropical community composition? En: Molina, R. (ed.). *Proceedings of the Sixth North American Conference on Mycorrhizae*. Forest Research Laboratory, Corvallis, OR, E. U. p. 98-103.
- . 1988. Mycorrhiza applications in tropical forestry: Are temperate-zone approaches appropriate? En: Ng, F. S. P. (ed.). *Trees and mycorrhiza*. Forest Research Institute, Kuala Lumpur, Malaysia. p. 138-188.
- Lopes, E. S.; Oliveira, E. y Neptune, A. M. L. 1980. Efeito de especies de micorriza vesiculo-arbuscular em Siratro (*Macropitilium atropurpureum*). *Bragantia* 39:241-245.
- López, M. 1990. Sobrevivencia de rizobios en semillas usando inoculantes con base de turba estéril, procedente de Cuba, Colombia y Australia. En: Sylvester-Bradley, R. y Kipe-Nolt, J. (eds.). *La simbiosis leguminosa-rizobio: Actas de un taller sobre evaluación, selección y manejo agronómico. Parte 2. Documento de trabajo no. 64*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Cali, Colombia. p. 202-206.
- y Sylvester-Bradley, R. 1986. Liofilización de rizobios para facilitar la distribución de inoculantes. En: *Décimatercera Reunión Latinoamericana de Rizobiología*, Panamá. p. 25. (Resúmenes.)
- Lowendorf, H. S. 1980. Factors affecting survival of *Rhizobium* in soil. En: Alexander, M. (ed.). *Advances in microbial ecology*. Plenum Press, Nueva York. v. 4, p. 87-124.
- Medina, E. 1982. Nitrogen balance in the *Trachypogon* grasslands of central Venezuela. *Plant & Soil* 67:305-314.
- Menge, J. A. 1983. Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture. *Can. J. Bot.* 61:1015-1024.
- . 1985. Effective techniques for field inoculations. En: Molina, R. (ed.). *Proceedings of the Sixth North American Conference on Mycorrhizae*. Forest Research Laboratory, Corvallis, OR, E. U. p. 91.
- Miller, M. 1987. The ecology of vesicular-arbuscular mycorrhizae in grass and shrublands. En: Safir, G. (ed.). *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*. p. 135-169.

- Miranda, C. A. y Boddey, R. M. 1987. Estimation of biological nitrogen fixation associated with 11 ecotypes of *Panicum maximum* grown in ^{15}N -labelled soil. *Agron. J.* 79:558-563.
- Mosse, B.; Hayman, D. S. y Arnold, D. J. 1973. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza; 5: Phosphate uptake by three plant species from P-deficient soils labelled with ^{32}P . *New Phytol.* 72:809-815.
- _____; Powell, C. L. y Hayman, D. S. 1976. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza; 9: Interactions between VA mycorrhiza, rock phosphate and symbiotic nitrogen fixation. *New Phytol.* 76:331-342.
- Nelsen, C. E. y Safir, G. R. 1982. Increased drought tolerance of mycorrhizal onion plants caused by improved phosphorus nutrition. *Planta* 154:407.
- _____; Bolgiano, N. C.; Furutani, S. C.; Safir, G. R. y Zandstra, B. H. 1981. The effect of soil phosphorus levels on mycorrhizal infection of field grown onion plants and on mycorrhizal reproduction. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 106:786-788.
- Newman, E. I. 1985a. Some factors affecting the abundance of mycorrhizas in grassland. En: Nuclear techniques to study the role of mycorrhiza in increasing food crop production. International Atomic Energy Agency (IAEA), Viena, Austria. p. 63-67.
- _____. 1985b. Mycorrhizas in relation to mineral nutrition of grassland plants. En: Nuclear techniques to study the role of mycorrhiza in increasing food crop production. International Atomic Energy Agency (IAEA), Viena, Austria. p. 103-107.
- Nutman, P. S. 1976. IBP field experiments on nitrogen fixation by nodulated legumes. En: Symbiotic nitrogen fixation in plants. Cambridge University Press, Reino Unido. p. 211-237.
- Nye, P. B. 1977. The rate-limiting step in plant nutrient absorption from soil. *Soil Sci.* 123:292-297.
- Ollivier, B.; Bertheau, Y.; Diem, H. G. y Gianinazzi-Pearson, V. 1983. Influence de la variété de *Vigna unguiculata* dans l'expression de trois associations endomycorhiziennes à vésicules et arbuscules. *Can. J. Bot.* 61:354-358.
- Plenchette, C.; Furlan, V. y Fortin, A. 1982. Effects of different mycorrhizal fungi on five host plants grown on calcined montmorillonite clay. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 107:535-538.
- _____; Fortin, J. A. y Furlan, V. 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P availability. *Plant & Soil* 70:199-209.

- Powell, C. L. 1976. Mycorrhizas in hill-country soils; 1: Spore-bearing mycorrhizal fungi in thirty-seven soils. *N. Z. J. Agric. Res.* 20:53-57.
- . 1978. Mycorrhizas in hill country soils; 5: Growth responses in ryegrass. *N. Z. J. Agric. Res.* 20:495-502.
- y Daniel, J. 1978. Growth of white clover in undisturbed soils after inoculation with efficient mycorrhizal fungi. *N. Z. J. Agric. Res.* 21:675-681.
- Rhodes, L. H. y Gerdemann, J. W. 1975. Phosphate uptake zones of mycorrhizal and non-mycorrhizal onions. *New Phytol.* 75:555-561.
- Rice, E. L. 1974. Allelopathy. Academic Press, Nueva York. 353 p.
- Robson, A. D. 1983. Mineral nutrition. En: Broughton, W. J. (ed.). Nitrogen fixation; v. 3: Legumes. Clarendon Press, Oxford, Reino Unido. p. 36-55.
- Rolfe, B. G.; Batley, M.; Redmond, J. W.; Richardson, A. E.; Simpson, R. J.; Bassam, B. J.; Sargent, C. L.; Weinman, J. J.; Djodjevic, M. A. y Dazzo, F. B. 1988. Phenolic compounds secreted by legumes. En: Bothe, H.; de Bruijn, F. J. y Newton, W. E. (eds.). Nitrogen fixation: 100 years after. Gustav Fischer, Stuttgart, República Federal de Alemania. p. 405-409.
- Roughley, R. J. 1982. The storage, quality control, and use of legume seed inoculants. En: Graham, P. H. y Harris, S. C. (eds.). Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 115-126.
- Sá, N. M. H.; Scotti, M. R. M. L.; Vargas, M. A. T. y Döbereiner, J. 1983. Resistência natural à estreptomicina e eficiência de estirpes de *Rhizobium* nativas nos cerrados associadas a *Stylosanthes*. *Pesqui. Agropecu. Bras.* (Brasília) 18:213-218.
- Safir, G. R.; Boyer, J. S. y Gerdemann, J. M. 1971. Mycorrhizal enhancement of water transport in soybean. *Science* 172:581-583.
- Saif, S. ur R. 1987. Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae; 1: Growth, mineral uptake and mycorrhizal dependency. *Plant Soil* 97:25-35.
- Sanders, F. E. y Tinker, P. B. 1973. Phosphate flow into mycorrhizal roots. *Pestic. Sci.* 4:385-395.
- Schippers, B.; Bakker, A. W. y Bakker, P. A. H. M. 1987. Interactions of deleterious and beneficial rhizosphere microorganisms and the effect of cropping practices. *Annu. Rev. Phytopathol.* 25:339-358.
- Schmidt, E. L. y Robert, F. M. 1985. Recent advances in the ecology of *Rhizobium*. En: Evans, H. J.; Bottomley, P. J. y Newton, W. E. (eds.). Nitrogen fixation research progress. Martinus Nijhoff, Holanda. p. 379-385.

- Sieverding, E. y Leihner, D. E. 1984. Influence of crop rotation and intercropping of cassava with legumes on VA mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* 84:143-146.
- Sims, G. R.; Wexler, M. y Young, J. P. W. 1988. Sym plasmid transfer between diverse *Rhizobium leguminosarum* genotypes. En: Bothe, H.; de Bruijn, F. J. y Newton, W. E. (eds.). *Nitrogen fixation: 100 years after*. Gustav Fischer, Stuttgart, República Federal de Alemania. p. 497.
- Skipp, R. A.; Christensen, M. J. y Caradus, J. R. 1982. Invasion of white clover roots by fungi and other soil micro-organisms; 2: Invasion of roots in grazed pastures. *N. Z. J. Agric. Res.* 25:87-95.
- Smith, S. E. y Bowen, G. D. 1979. Soil temperature, mycorrhizal infection and nodulation of *Medicago truncatula* and *Trifolium subterraneum*. *Soil Biol. Biochem.* 11:469-473.
- Sutton, W. D. 1983. Nodule development and senescence. En: Broughton, W. J. (ed.). *Nitrogen fixation; v. 3: Legumes*. Clarendon Press, Oxford, Reino Unido. p. 144-212.
- Sylvester-Bradley, R. y Mosquera, D. 1985. Nitrification and responses to *Rhizobium* inoculation in tropical savanna as affected by land preparation. En: Kang, B. T. y van der Heide, J. (eds.). *Nitrogen management in farming systems in humid and subhumid tropics*. Institute for Soil Fertility, Haren, Holanda. p. 167-183.
- _____. y Munevar, F. 1987. Evaluación de la simbiosis leguminosa-rizobio en la selección de leguminosas forrajeras. En: *Investigaciones de apoyo para la evaluación de pasturas: Memorias de la Tercera Reunión de Trabajo del Comité Asesor de la RIEPT*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 29-50.
- _____.; Bandeira, A. G. y de Oliveira, L. A. 1978. Fixação de nitrogênio (redução de acetileno) em cupins (Insecta:Isoptera) da Amazonia Central. *Acta Amazonica* 8:621-627.
- _____.; Mosquera, D. y Méndez, J. E. 1988. Inhibition of nitrate accumulation in tropical grassland soils: Effect of nitrogen fertilization and soil disturbance. *J. Soil Sci.* 39:407-416.
- Tinker, P. B. 1975. The soil chemistry of phosphorus and mycorrhizal effects on plant growth. En: Sanders, F. E.; Mosse B. y Tinker, P. B. (eds.). *Endomycorrhizas*. Academic Press, Nueva York. p. 353-371.
- _____. 1978. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizas on plant nutrition and plant growth. *Physiol. Veg.* 16:743-752.

- Torres, C.; Lenné, J. M.; Sylvester-Bradley, R. y Chaverra, M. 1988. Sobrevivencia de *Bradyrhizobium* sp. en contacto con algunos protectantes químicos en semillas de *Centrosema acutifolium* CIAT 5277. En: Congreso Americano de Fitopatología, San Andrés Islas, Colombia, 1988. (Resúmenes.)
- Trinick, M. J.; Parker, C. A. y Palmer, M. J. 1983. Interactions of the microflora from nodulation problem and non-problem soils towards *Rhizobium* spp. on agar culture. *Soil Biol. Biochem.* 15:295-301.
- Valdés, M. 1985. Survival and growth of pines with specific ectomycorrhizae after 3 years on a highly eroded site. *Can. J. Bot.* 64:885-888.
- _____; Reza-Alemán, F. y Furlan, V. The benefit of dual inoculations with VA micorrhiza and *Rhizobium* to the red leucaena (*Leucaena esculenta* L.). *Res. Rep.* (En impresión.)
- Vallis, I. y Gardener, C. J. 1985. Effect of pasture age on the efficiency of nitrogen fixation by 10 accessions of *Stylosanthes* spp. *Aust. J. Exp. Agric.* 25:70-75.
- _____; Henzell, E. F. y Evans, T. R. 1977. Uptake of soil nitrogen by legumes in mixed swards. *Aust. J. Agric. Res.* 28:413-425.
- Waidyanatha, U. P. S.; Yogratman, N. y Ariyaratne, W. A. 1979. Effects of mycorrhizal infection on growth and nitrogen fixation of *Pueraria* and *Stylosanthes* and uptake of phosphorus from two rock phosphates. *New Phytol.* 82:147-152.
- Warner, A. B.; Mosse, B. y Dingemann, L. 1985. The nutrient film technique for VAM inoculum production. En: Molina, R. (ed.). *Proceedings of the Sixth North American Conference on Mycorrhizae*. Forest Research Laboratory, Corvallis, OR, E. U. p. 85-86.
- Weller, D. M. 1988. Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. *Annu. Rev. Phytopathol.* 26:379-407.
- Whitney, A. S. 1982. The role of legumes in mixed pastures. En: Graham, P. H. y Harris, S. C. *Biological nitrogen fixation technology for tropical agriculture*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 361-367.
- Wood, T. 1987. Commercial production of VA mycorrhiza inoculum: Axenic versus non-axenic techniques. En: Sylvia, D. M.; Hung, L. L. y Graham, P. H. (eds.). *Proceedings of the Seventh North American Conference on Mycorrhizae*. University of Florida, Gainesville, FL, E. U. p. 274.
- Young, J. P. W. 1985. *Rhizobium* population genetics: Enzyme polymorphism in isolates from peas, clover, beans and lucerne grown at the same site. *J. Gen. Microbiol.* 131:2399-2408.

Manejo de la Competencia entre Forrajeras y Malezas en el Establecimiento y Recuperación de las Pasturas

Pedro J. Argel y Jonas B. da Veiga

Introducción

Para entender mejor el concepto de manejo de la competencia de las especies forrajeras con las malezas durante el establecimiento y recuperación de una pastura, es necesario precisar que cada individuo de una comunidad vegetal depende, para su sobrevivencia y desarrollo de la disponibilidad de nutrimentos, agua, luz y espacio. Cuando el suministro de uno de estos factores está por debajo de la demanda combinada de la comunidad de plantas, se dice que empieza la competencia entre ellas.

La competencia entre plantas ha sido objeto de varias revisiones y estudios, en los que aparece una diversidad de definiciones del término (Clements et al., 1929; Fisher, 1975). Sin embargo, se acepta que competencia es simplemente un proceso físico entre plantas que implica la remoción, o reducción, de uno de los factores esenciales de crecimiento que contiene el medio ambiente. Por esto, la competencia encierra el concepto de “penalización de un individuo o población por causa de sus vecinos” (Fisher, 1975). Esta condición puede darse también por factores alelopáticos de las plantas que dependen de la existencia de un compuesto químico en el medio ambiente, y es diferente de la competencia. Por eso se prefiere el término ‘interferencia de plantas’, que expresa en forma más realista los procesos puramente físicos y alelopáticos que ocurren en la naturaleza vegetal.

La competencia se acentúa entre especies vegetales de gran similitud y que tengan los mismos requerimientos en un ecosistema determinado. Es una fuerza natural poderosa que limita la existencia y

Pedro J. Argel es investigador del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, con sede en San José, Costa Rica. Jonas B. da Veiga es investigador de EMBRAPA/CPATU, Belém, Brasil.

productividad de las plantas que se desarrollan débilmente; es decir, existe una habilidad competitiva natural en cada especie que condiciona su relación con otras plantas. La habilidad competitiva de las plantas es un carácter poligenético que está relacionado con su morfología, su respuesta a los parámetros del medio ambiente, y su capacidad para extraer agua y nutrimentos del suelo. La rapidez y la uniformidad de la germinación son componentes esenciales de la competencia de una especie, así como el rápido crecimiento de raíces y estolones; tallos más ramificados, adecuada arquitectura foliar, y hojas más grandes darán mayor área fotosintética y, además, la oportunidad de sombrear otras plantas. En general, cuanto más rápidamente se establezca una planta, más ventajas tendrá cuando compita con otras (Locatelly y Doll, 1979).

Competencia entre Plantas Forrajeras

Gramíneas y leguminosas forrajeras no escapan a las fuerzas naturales de la competencia que se establece entre plantas. En su estado natural clímax, las leguminosas son generalmente pioneras en la sucesión de plantas, a causa de su habilidad para fijar el nitrógeno y mejorar las condiciones de fertilidad del suelo. Cuando se considera, en cambio, una pastura, el equilibrio de la competencia entre plantas forrajeras es alterado significativamente por el animal en pastoreo y por el manejo de las malezas. El animal en pastoreo ejerce su influencia por la defoliación del pasto, el pisoteo, la excreta, y la diseminación de semillas, acciones que alteran el equilibrio del nitrógeno en el suelo y las relaciones entre la luz y el rebrote potencial (Tothill, 1978). La defoliación es, probablemente, el factor más importante de la estabilidad, de la dinámica, y de la composición botánica de la pastura; en efecto, modifica directamente la habilidad competitiva de las forrajeras porque habiendo reducción del área foliar, hay acumulación de carbohidratos, desarrollo de macollas, crecimiento de hojas y raíces, y alteración del microambiente lumínico, de la humedad, y de la temperatura del suelo (Watkin y Clements, 1978).

Otro factor que altera el equilibrio de la competencia es la incidencia de plagas y enfermedades en las forrajeras; un ejemplo son los

ataques recurrentes del insecto mión, candelilla o salivazo (*Aeneolamia* sp., *Zulia* sp.) en especies de *Brachiaria* y otras gramíneas susceptibles.

Las malezas ejercen su competencia por agua, luz, nutrimentos y espacio en las pasturas, del mismo modo que en los cultivos anuales. Sin embargo, el concepto clásico de 'maleza en un cultivo' no siempre es aplicable a los pastos; en efecto, si una planta considerada como maleza es consumida por el ganado en forma recurrente en alguna etapa de su desarrollo, el carácter que tenía de planta indeseable desaparece automáticamente. Para esta discusión se considera como maleza en una pastura a una especie vegetal indeseable que compite agresivamente por los factores de crecimiento durante el establecimiento de las especies forrajeras, y que además es rechazada por el ganado que utiliza la pastura.

La densidad de las malezas es un factor importante que influye directamente sobre la productividad de la pastura; las praderas más productivas serán pues las de baja densidad de malezas o aquellas que estén totalmente libres de ellas. Las clases de manejo que alteran el equilibrio de la competencia entre las diversas especies de la pastura—y dentro de ellas mismas—son los sistemas y métodos para el control de malezas, las prácticas de fertilización, y el manejo del pastoreo (sistema y presión). Estas prácticas interactúan unas con otras, y no pueden considerarse separadamente si se desea mantener la estabilidad y la productividad de la pastura. En otras palabras, los sistemas de control de malezas no pueden aislarse de otras prácticas de manejo del potrero; además, su objetivo principal es favorecer la habilidad competitiva de las plantas forrajeras, aplicando métodos de control durante el establecimiento, el mantenimiento y la recuperación de la pastura. Téngase presente que las malezas suelen utilizar los recursos del crecimiento más eficazmente que los pastos establecidos.

Potencial de Malezas respecto a Vegetación Nativa o Uso Previo

La diversidad y complejidad de la vegetación nativa es un buen indicador de las malezas que potencialmente germinarán cuando se introduzcan plantas cultivadas en un terreno. En zonas bajas tropicales de

Entisoles, Vertisoles, Alfisoles, Inceptisoles, Oxisoles y Ultisoles, existe un amplio grupo de plantas nativas representado principalmente por las familias Compositae, Gramineae, Euphorbiaceae, Labiatae, Cyperaceae, Solanaceae, Bignoniaceae, Malvaceae, Piperaceae, Asclepiadaceae, Caesalpinaceae, Boraginaceae, Convolvulaceae y Fabaceae, entre otras. Con ellas se forma un complejo agresivo de malezas que varía desde las herbáceas anuales, hasta los arbustos, matorjos y árboles de regular tamaño; estas plantas dificultan en gran medida el establecimiento y mantenimiento de las pasturas. En tales sitios, las prácticas de control de malezas se convierten en actividades prioritarias del manejo de praderas.

Una de las características del bosque tropical húmedo es su gran diversidad de especies. Se han encontrado hasta 60 especies diferentes de árboles de más de 20 cm de grosor en una hectárea de superficie (Leigh, 1982); estos árboles crecen gracias a la eficiencia del reciclaje de nutrientes. Los pastos sembrados en estos lugares, después de tumbar el bosque, crecen vigorosos al principio a causa del banco de fertilidad creado por el humus y por la ceniza del bosque quemado; no obstante, en la medida en que la fertilidad disminuye (Toledo y Morales, 1978), aparecen malezas invasoras de los rebrotes de la vegetación original y de las semillas de malezas introducidas con los pastos. En estos bosques, las oportunidades de mecanización son escasas, y el control manual, el fuego y los herbicidas para el control de malezas de hoja ancha y de matorrales, son factores importantes para considerar. La fertilización fosfatada se usa y recomienda también en la Amazonia brasileña para aumentar el poder de competencia de las plantas forrajeras.

Las limitaciones climáticas, la baja fertilidad y la acidez de los suelos de las sabanas húmedas tropicales no permiten la producción abundante de malezas (Doll, 1978). En estos ecosistemas existe un delicado equilibrio entre especies arbustivas y gramíneas nativas, que es alterado por la precipitación, la textura y el estado nutricional del suelo, el fuego recurrente, y los animales herbívoros (Barnes, 1985). Las gramíneas nativas comunes de estas sabanas—como *Andropogon bicornis*, *A. selloanus*, *Trachypogon vestitus*, *T. mortuifari*, *T. plumosus*, *Leptocoryphium lanatum*, *Aristida* sp. y otras—tienen mayor capacidad de invasión y más agresividad en los suelos ácidos infértiles que

no hayan sido perturbados. Al alterar las condiciones del suelo con la preparación mecánica y con la aplicación de enmiendas o fertilizantes, estas especies pierden agresividad y son remplazadas por malezas más agresivas como *Rynchelitrium repens*, *Panicum redgeii*, y *Axonopus* spp. o por plantas anuales de hoja ancha, como *Hyptis suaveolens*.

La situación anterior es más el resultado de ciertos patrones de cultivo y del manejo que se haya dado al problema de las malezas que del estado natural de sucesión de plantas. En consecuencia, los problemas más serios causados por las malezas en el establecimiento de los pastos se encuentran en terrenos con larga tradición de cultivos y donde haya habido prácticas deficientes de control de malezas; en efecto, al crear condiciones óptimas para el crecimiento del cultivo, se está beneficiando también a las malezas, las cuales, por su mayor flexibilidad de adaptación al medio ambiente, tienden a dominar si no son controladas adecuadamente. En general, las áreas vírgenes tienen menos problemas de malezas que aquéllas cultivadas con relativa frecuencia y que poseen bancos de semilla o reservas en el suelo (Humphreys, 1979).

Control de Malezas Mediante Prácticas Culturales

Cualquier práctica de cultivo que favorezca el desarrollo y el establecimiento de la planta útil y que impida prosperar a las malezas se puede considerar como una medida cultural adecuada. El control cultural de malezas en el establecimiento de los pastos se inicia con la selección de especies forrajeras adaptadas a las condiciones climáticas, bióticas y del suelo del lugar. Adaptación, en cierto sentido, implica mayor habilidad competitiva de la especie, es decir, usar más eficientemente los factores de crecimiento y tolerar estreses impuestos por el medio ambiente. Por ejemplo, en las condiciones de los suelos ácidos e infértiles del trópico, los ecotipos estoloníferos de las gramíneas *Brachiaria humidicola*, *B. dictyoneura* y *B. brizantha* se consideran adaptados y de alta capacidad competitiva, y ayudan por tanto a reducir los problemas de competencia con las malezas. Importa también usar semilla de buena calidad y libre de malezas, y sembrar en la época adecuada del año a una densidad y profundidad óptimas. Otras prácticas culturales se discuten a continuación.

Tipo de labranza, época e intensidad

La labranza inicial del suelo con maquinaria pesada es más factible en los ecosistemas de sabana que en los de bosque. En este último, esa práctica se aplica más a la recuperación de pasturas degradadas donde los residuos vegetales del bosque original han sido total o parcialmente descompuestos.

Antes de elegir el tipo de labranza requerido para el establecimiento de un pasto, debe considerarse la forma en que esta práctica afecta la consiguiente competencia entre pasto y malezas. Esta decisión se basa en la identificación del complejo de malezas que existe en el lugar, y en el conocimiento de su biología, de su grado de agresividad, y de la interacción entre ese complejo y el método empleado para preparar el suelo, es decir, el sistema convencional, la labranza mínima, o la siembra sin labranza.

La preparación convencional del suelo, o sea, la arada profunda seguida de varios pases de rastra, es muy efectiva para eliminar la vegetación nativa; sin embargo, donde haya complejos agresivos de malezas, esta práctica trae a la superficie del suelo semillas enterradas y favorece su posterior germinación. Por esto es conveniente hacer el último pase de rastrillo aproximadamente tres semanas después de la arada, para eliminar con él las malezas que hayan emergido. Otra alternativa es preparar el terreno hacia el final de la época de lluvias, rastrillar de nuevo al comienzo de ésta, y establecer inmediatamente el pasto adaptado. Esta práctica ha sido efectiva en el establecimiento de pastos en sitios infestados por *Imperata cylindrica* (Crowder y Chheda, 1982).

Una tendencia común es sobrepreparar el suelo, sobre todo cuando se utiliza el rastrillo pulidor después de arar o rastrillar (Spain, 1981). En estos casos, el suelo sobrepreparado se compacta y sella formando una costra superficial, que impide la emergencia uniforme y rápida de las plántulas de pasto; por esta razón, la habilidad competitiva de las plantas se reduce. Lo ideal es dejar el suelo un poco rugoso, permitiendo así el anclaje, el cubrimiento y la rápida germinación de la semilla establecida. Existe también la alternativa de establecer un cultivo anual después de una preparación completa del suelo, controlar en éste

adecuadamente las malezas, y finalmente establecer el pasto. Esta práctica está muy generalizada en las zonas de expansión ganadera, y permite reducir los costos de establecimiento de las pasturas y manejar con más efectividad las malezas.

En los ecosistemas de sabana, la vegetación nativa de gramíneas se ha controlado con relativo éxito empleando sistemas de labranza mínima, particularmente el que se vale de palas; menos efectivo ha sido el uso de escardillos. Las palas trabajan a poca profundidad y separan las raíces de la parte aérea de la planta, dejando además el rastrojo como cubierta protectora del suelo; éste favorece la retención e infiltración de humedad y, por consiguiente, el establecimiento adecuado de la pastura. Este sistema es más efectivo para controlar la vegetación nativa si a la acción de las palas siguen períodos secos, momento que ocurre hacia el final del período lluvioso cuando es menor la frecuencia de las lluvias (Spain, 1981). La efectividad del sistema, sin embargo, no ha sido probada en el establecimiento de pasturas en condiciones de trópico húmedo, donde es mayor la fertilidad del suelo, el complejo de malezas es más diversificado y agresivo, y es más fuerte la competencia de las malezas que no se controlen.

Cuando no se dispone de labranza mecánica, el control de la vegetación nativa con herbicidas postemergentes no residuales, como el glifosato, se convierte en la mejor alternativa para el establecimiento de pastos; otras opciones como la quema, el sobrepastoreo o el 'chapeo' permiten mayor competencia entre la vegetación presente y las plántulas de pasto. Una vez que esa vegetación haya sido controlada con herbicidas y se convierta en protectora del suelo, el desarrollo de las plántulas será mucho más vigoroso si se abre un pequeño surco para sembrar en él la semilla, si se cubre la semilla, y si se fertiliza y compacta el suelo. En las zonas templadas hay máquinas que realizan esta operación en un solo pase (Taylor y Templeton, 1981), y podrían hacerla también en las áreas planas de la sabana tropical.

Patrón de siembra y de fertilización

Sembrar y aplicar fertilizantes a voleo es la práctica más generalizada para el establecimiento de pasturas, aunque es la que más favorece la competencia de las malezas. La habilidad competitiva de una especie

forrajera se incrementa respecto al complejo de malezas cuando la siembra se hace en hileras y el fertilizante se aplica en bandas; esta aplicación se hará preferiblemente a un lado de la semilla, evitando el contacto estrecho entre ésta y los fertilizantes nitrogenados o potásicos (Crowder y Chheda, 1982; Spain, 1981). La distancia entre hileras depende del hábito de crecimiento y de la agresividad de la especie que se establece, así como del complejo de malezas existentes. Es decir, manipulando la distancia de siembra y la aplicación del fertilizante, es posible inclinar el equilibrio competitivo en favor de los componentes de la pastura. Humphreys (1978) menciona que, en las siembras de *Neonotonia wightii* en Queensland, Australia, dominaron las malezas de hoja ancha que respondieron bien al fósforo cuando se aplicó a voleo un superfosfato; en cambio, la fertilización en bandas favoreció la dominancia de *Neonotonia*.

El conocimiento que se tenga de la habilidad competitiva de una forrajera sirve de base para su manejo agronómico, incluyendo en él la fertilización. Se sabe que las gramíneas son fuertes competidoras por el potasio (K) del suelo, mientras que las leguminosas tienden a competir fuertemente por el P (Hall, 1978). Muchas malezas no responden a la aplicación de nutrimentos en la misma proporción que las especies forrajeras, y este es un factor importante para considerar. En Queensland, por ejemplo, situada a 28° de latitud S y con un suelo podsólico amarillo-rojizo, las asociaciones de *Desmodium intortum*, *Lotononis bainesii*, *Stylosanthes guianensis* y *Phaseolus atropurpureum* (Siratro) con *Setaria sphacelata* cv. Kazungula, fertilizadas con dosis crecientes de P, dominaron en la misma proporción tanto las malezas gramíneas *Axonopus affinis*, *Digitaria adscendens*, *Eragrostis* spp., como las ciperáceas *Fimbristilis dichotoma*, *Cyperus polystachyos* y *C. sesquiflorum*; este efecto se debió a la poca capacidad de las malezas para usar bien la fertilización fosfatada (Blunt y Humphreys, 1970).

Hay una notoria interacción entre intensidad de labranza y fertilización cuando se estudia la habilidad competitiva de forrajeras como *Cenchrus ciliaris* (Cuadro 1). La preparación leve del terreno y la aplicación de fertilizantes alteró el equilibrio en favor de *C. ciliaris*; en cambio, la arada profunda y la rastrillada destruyeron completamente la maleza gramínea *Triodia pungens*, permitieron obtener 70% del rendimiento del pasto, y favorecieron la dominancia total de éste cuando

Cuadro 1. Efecto de la labranza y la fertilización en la composición botánica de áreas sembradas con *Cenchrus ciliaris*.

Tratamiento del suelo	Composición botánica (porcentaje del peso)				
	<i>Cenchrus ciliaris</i>	<i>Triodia pungens</i>	Otras gramíneas		Otras malezas
			Perennes	Anuales	
Sin preparación					
- NPK	0	78	3	4	15
+ NPK	1	63	10	23	3
Rastrillo solamente					
- NPK	1	46	20	26	7
+ NPK	30	27	22	20	1
Arada y rastrillada					
- NPK	70	0	0	1	29
+ NPK	94	0	2	2	2

FUENTE: Edye et al., 1964.

se aplicó el fertilizante. Estos datos ilustran la importancia de emplear una estrategia de manejo que maximice el crecimiento del pasto y reduzca la competencia de las malezas controlando tanto la fertilización como la labranza del terreno. Jones (1965) ha llegado a sugerir que no se fertilice con superfosfato, durante el primer año de establecimiento, una pastura expuesta a alta infestación de malezas anuales; esta operación, dice, debe dejarse para el segundo año cuando las especies perennes puedan competir mejor con las anuales. El éxito de esta estrategia depende de las condiciones del sitio y de las especies que se establecerán.

Control mecánico de malezas después de la siembra

El control mecánico de las malezas entre surcos o entre hileras se puede realizar con implementos como palas o cultivadoras. Su función principal es remover violentamente la tierra, rompiendo la íntima relación que existe entre las malezas y el suelo. Da mejores resultados cuando las malezas tienen entre 5 y 8 cm (Sistachs y León, 1986), y cuando se hace oportunamente puesto que es una operación que

depende de elementos del medio ambiente, como el exceso de lluvia. Esta labor, muy común en los cultivos anuales, se lleva a cabo en los primeros días del cultivo—30 ó 40 días después de la siembra—con el fin de controlar las malezas durante la época crítica de competencia. Algo similar se puede hacer en las pasturas, siempre y cuando el patrón de siembra lo permita.

En pasturas que se hallan en período de establecimiento, el corte mecánico con machete, guadañadora o rotativa, a una altura acorde con el tamaño de la pastura, ayuda a reducir la competencia de las malezas, particularmente de las gramíneas y de las especies anuales de hoja ancha. Este mismo efecto se puede conseguir con pastoreo ligero, pero evitando causar daños serios a la pastura por el pisoteo de los animales y por las plántulas arrancadas por éstos.

Varios métodos de control mecánico se practican en las praderas establecidas, por ejemplo, machete, 'chapeadora', rolo, 'gambia' o 'coa', y desyerba manual. La efectividad de estos métodos depende igualmente de la oportunidad y frecuencia con que se empleen. Lo importante es mantener las malezas a una altura en que se reduzca su competencia con la pastura y se evite además que formen su semilla. En sitios de baja densidad de malezas, especialmente si éstas son gramíneas como *Paspalum virgatum* y *Andropogon bicornis*, el arranque manual de toda la planta es muy efectivo y puede practicarse durante todo el año, con tal que haya disponibilidad de mano de obra.

Control Químico de las Malezas

El control de malezas mediante sustancias químicas es una herramienta muy importante de la agricultura moderna. Nuevas y más efectivas formulaciones de herbicidas aparecen cada día en el mercado; sin embargo, su empleo en el establecimiento de los pastos está todavía muy limitado. Esto se debe, en parte, a la tradición de establecer pasturas de gramíneas, por ejemplo, *Hyparrhenia rufa* y *Panicum maximum*, regando simplemente la semilla a voleo y sin emplear prácticas culturales, a excepción tal vez de la quema. En pasturas, grandes o chicas, destinadas a un uso intensivo como pasto de corte, banco de proteína o multiplicación de semilla básica y comercial, el control químico de las

malezas durante el establecimiento tiene justificación económica. Además, puede prohibirse la venta de semilla comercial de forrajeras contaminada con algún tipo de malezas en los países donde se regula este comercio; esta prohibición justifica un plan especial de control de malezas que incluiría el uso de herbicidas durante el establecimiento de la pastura.

Herbicidas incorporados en presiembra y preemergentes

Trifluralina. Emulsión concentrada (EC) de 480 g de ingrediente activo (i.a.) por litro (l). Se aplica unas tres semanas antes de la siembra, y se incorpora al suelo. Ha sido efectivo para controlar las malezas *Digitaria adscendens*, *Brachiaria ramosa* y *Pennisetum polystachion* en siembras de *Stylosanthes humilis* (Fisher e Ive, 1970). En dosis que varían de 2.0 a 2.4 l/ha de producto comercial según que el suelo sea arenoso o arcilloso, respectivamente, este producto ha sido selectivo para *Neonotonia wightii*, *Centrosema pubescens* y *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro (Humphreys, 1979). En los suelos arcillosos de CIAT-Quilichao, Colombia, ha demostrado un control bueno y selectivo de malezas gramíneas cuando se aplica a leguminosas de los géneros *Pueraria*, *Zornia*, *Stylosanthes* y *Desmodium*; no ocurre así con *D. intortum* cv. Greenleaf (Ferguson y Sánchez, 1984). Sin embargo, en suelos pesados del Departamento del Valle, Colombia, y a una dosis de 3.1 l/ha, este herbicida fue tóxico para *Stylosanthes guianensis* (Argel et al., 1975). Las aplicaciones preemergentes de este herbicida han sido menos dañinas para las leguminosas, aunque el grado de control de malezas ha sido menor.

Alaclor. EC de 480 g/l de i.a. Con éste y otros productos de aplicación preemergente se ha conseguido selectividad respecto a las leguminosas forrajeras y aceptable control de malezas. Aplicado en dosis que varían de 2.0 a 2.5 l/ha de producto comercial, el alaclor ha sido selectivo en las siembras de *N. wightii*, *C. pubescens*, *M. atropurpureum* cv. Siratro, *C. macrocarpum* CIAT 5062, *Pueraria phaseoloides*, *S. capitata* CIAT 1019, 1078 y 1405, *S. guianensis* CIAT 136, *S. hamata* CIAT 147, *D. ovalifolium* CIAT 350, y con ecotipos del género *Zornia* (Argel et al., 1975; Humphreys, 1979; Tergas y Gómez, 1980; Ferguson y Sánchez, 1984; Pinzón et al., 1985). Sin embargo, causa daño a *S. guianensis* cv. Cook y a *D. intortum* cv. Greenleaf. Este producto

controla más eficientemente las malezas gramíneas que las de hoja ancha en aplicaciones preemergentes; por ello, su acción mejora en mezcla con otros herbicidas como pendimetalina y metolaclor.

Pendimetalina, metolaclor y DNBP. Pendimetalina, una EC de 330 g/l de i.a., metolaclor, una EC de 960 g/l de i.a., y DNBP, una EC de 500 g/l de i.a., en dosis que varían de 1.0 a 2.0 l/ha de producto comercial, han sido productos selectivos para forrajeras de los géneros *Stylosanthes*, *Desmodium*, *Centrosema*, *Pueraria* y *Zornia* (Ferguson y Sánchez, 1984). Pendimetalina, aplicado en dosis de 3.0 l/ha, fue altamente selectivo para *C. macrocarpum* CIAT 5062 y controló bien las malezas gramíneas en Panamá. El oxifluorfen, una EC de 240 g/l de i.a., en dosis de 2.0 l/ha de producto, fue moderadamente tóxico para esta leguminosa y altamente selectivo para el kudzú tropical (Pinzón et al., 1985). El complejo de malezas en este lugar estuvo dominado por las especies de hoja ancha *Borreria alata*, *Croton trinitatis*, *Mimosa pudica*, *Cassia tora*, *Sida* spp. y *Emilia sonchifolia*.

La efectividad de un herbicida preemergente depende mucho de las condiciones climáticas, de las características del suelo, y del complejo de malezas del lugar. En general, se ha observado que el control de malezas dado por estos productos no se prolonga hasta asegurar el establecimiento exitoso de las leguminosas forrajeras; por tanto, si la aplicación de estos productos se complementa con desyerbas manuales o mecánicas, se obtendrán los mejores resultados.

Un aspecto que no ha sido suficientemente investigado es el efecto residual de estos productos preemergentes en las semillas de las gramíneas cuando se desea establecer una asociación. Poco efecto de ellos se ha observado en una siembra de *Andropogon gayanus* CIAT 621 en CIAT-Quilichao (Tergas y Gómez, 1980), 77 días después de aplicados a las leguminosas forrajeras; este resultado es evidencia parcial de que no afectan la gramínea, ya que el período entre la aplicación de los productos y el establecimiento del pasto se prolongó. No existen, por otro lado, herbicidas de aplicación preemergente, que controlen un amplio rango de malezas, y que sean a la vez selectivos para las leguminosas y gramíneas forrajeras sembradas simultáneamente.

Las malezas de las praderas de gramíneas puras, establecidas con partes vegetativas, pueden controlarse con herbicidas preemergentes

como los polvos mojables (PM) de 80% de concentración, con atrazina, y con diurón. Aplicados en siembras de semilla sexual, la selectividad es más limitada, aunque Sánchez y Ferguson (1984) informan sobre el buen desempeño de atrazina aplicado en dosis de 1.0 y 1.5 kg/ha de producto comercial, en los géneros *Brachiaria* y *Panicum*, en las condiciones de CIAT-Quilichao, Colombia; algún daño se observó en plantas de los géneros *Andropogon* y *Setaria*. Este producto ha sido efectivo también para controlar poblaciones de *Paspalum virgatum* provenientes de semilla (Sistachs y León, 1986). En siembras de *S. anceps*, la protección que da a la semilla una banda de 2.5 cm de carbón activado y la aplicación de 2.8 kg/ha de diurón, han dado un excelente control de las malezas al tiempo que son selectivas con respecto al pasto (Humphreys, 1979). Esta tecnología está disponible, en general, sólo en áreas de uso agrícola intensivo.

En gramíneas y leguminosas establecidas

Las malezas de hoja ancha en las praderas de gramíneas recién establecidas se controlan eficientemente con la aplicación racional de herbicidas hormonales a base de 2,4-D. Esta alternativa está limitada por la asociación, en la misma pradera, de gramíneas y leguminosas, a causa de la susceptibilidad de estas últimas. Sin embargo, Humphreys (1979) menciona la tolerancia de *S. guianensis*, en varios estados de crecimiento excepto en la época de floración, a la aplicación de 1.0 l/ha de 2,4-D amina. En la misma dosis, el DNBP (40% p/v) fue selectivo en *D. intortum* y *N. wightii*.

Cuando se siembran leguminosas forrajeras, las malezas gramíneas pueden controlarse efectivamente con la aplicación postemergente de 0.5 a 1.5 l/ha de fluazitopbutil, una EC de 250 g/l de i.a. El herbicida bentazon, una solución de 480 g/l de i.a., en dosis de 2.0 a 3.0 l/ha, controla efectivamente las malezas de hoja ancha y es selectivo respecto a *D. intortum*, a *N. wightii*, a *C. pubescens*, y a *Stylosanthes*, pero no lo es para *M. atropurpureum* cv. Siratro (Ferguson y Sánchez, 1984; Humphreys, 1979). La efectividad de estos dos productos, contra malezas gramíneas o de hoja ancha, se incrementa si se aplican cuando ambas tengan de 3 a 4 hojas, y cuando se agrega aceite agrícola, en concentración de 0.4% (v/v), al fluazitopbutil (Buhler y Burnsidge, 1984).

Las leguminosas forrajeras varían en su tolerancia a los herbicidas hormonales, y son altamente susceptibles a picloram y a dicamba, especialmente cuando éstos se mezclan con 2,4-D amina para formar herbicidas comerciales como Tordon 101 y Banvel, respectivamente. Estos herbicidas, aplicados en dosis que varían de 0.5% a 2.0% de producto comercial, son efectivos para controlar malezas anuales de hoja ancha y algunas arbustivas, en potreros establecidos (Doll y Argel, 1976; Brito T. et al., 1973; Victoria Filho, 1986; Dias Filho, 1988). Es interesante la mención que hace Torres (1983) del control efectivo de malezas en praderas de *Digitaria decumbens* aplicando picloram + 2,4-D amina (4.0 l/ha), y de la recuperación de las leguminosas nativas *Rhynchosia minima* y *Centrosema pubescens* seis meses después; esta pradera dio mayor producción de forraje que el testigo controlado con machete. Obviamente, este resultado depende de las reservas de semilla presentes en el suelo y del buen manejo de la pradera.

Hay otros herbicidas de amplia aplicación para el control de arbustos y malezas de hoja ancha en los potreros, cuya efectividad y métodos de empleo han sido extensamente discutidos por Doll et al. (1989). Otros herbicidas no selectivos, como diurón, dalapón y glifosato (solución de 240 g/l de i.a.)—en dosis de 1.5% a 2.5% para el primero, de 3.0% repetido a los 15 días para el segundo, y de 1.0% a 2.0% para el tercero—han controlado eficientemente, en aplicaciones dirigidas, las malezas gramíneas *Paspalum fasciculatum* y *P. virgatum*, y la ciperácea *Scleria pterota* (Camacho et al., 1974; Argel y Doll, 1975). El glifosato, aplicado en concentraciones de 10% a 20% con el azadón químico (wick-rope applicator) ha demostrado ser muy efectivo contra las gramíneas invasoras de las praderas (Hertentains et al., 1988), especialmente después de dar un pastoreo intenso al potrero cuando es posible dirigir la aplicación hacia las malezas gramíneas no consumidas, sin tocar el pasto. La efectividad de estos graminicidas, y de otros productos que controlan malezas de hoja ancha y arbustos, aumenta cuando la gramínea mejorada es altamente competitiva, es decir, está bien adaptada y es capaz, por tanto, de llenar rápidamente los espacios dejados por las malezas controladas.

Las malezas tienden a ser más agresivas cuando la pastura se ha degradado. La pérdida progresiva de fertilidad del suelo se refleja en la disminución de la habilidad competitiva de los pastos cultivados y, por

tanto, en su menor capacidad de suprimir las plantas invasoras. En estas condiciones, el control de malezas debe complementarse con una recuperación del estado nutricional del suelo o estableciendo especies forrajeras adaptadas a las condiciones de baja fertilidad de ese suelo, o de ambos modos. Especies estoloníferas de bajos requerimientos nutricionales, como *B. humidicola*, *B. dictyoneura*, *B. decumbens*, y leguminosas de los géneros *Pueraria*, *Centrosema*, *Desmodium* y *Stylosanthes*, tienen más posibilidades de competir agresivamente con las plantas invasoras aumentando por ello la productividad y la persistencia de la pastura (Veiga y Falesi, 1986). El control de malezas, por sí solo, no produce automáticamente mejores pasturas.

Necesidades Futuras de Investigación

Durante los últimos años, el manejo de la competencia entre las especies forrajeras y las malezas durante el establecimiento y mantenimiento de las pasturas se ha hecho de manera empírica, y se ha orientado a la eliminación física de las plantas invasoras. Se han dado así recomendaciones para el control de las malezas, aunque sin estudiar mucho la interacción de esta práctica con atributos de la pastura que favorezcan su habilidad competitiva. Ejemplos de estos atributos son el grado de adaptabilidad de las especies sembradas, su desarrollo estolonífero, y su respuesta a las prácticas culturales y de manejo.

Poco se sabe sobre la biología del crecimiento y de la reproducción de las malezas en los potreros, así como sobre el patrón de sucesión de especies en las comunidades vegetales en función del manejo o tratamiento dado previamente al área que ocupan. Hace diez años, Doll (1978) hacía las siguientes preguntas refiriéndose a malezas de sabanas ácidas e infértiles: ¿Cómo influyen las prácticas de labranza y los sistemas de siembra en la infestación de malezas? ¿Cómo afectan los cambios ocurridos en los niveles de nutrimentos y en la época y método de aplicación del fertilizante, la diversidad y el crecimiento de las malezas? A estos interrogantes debe agregarse la falta de información sobre la pérdida de productividad de una pradera cuando aumenta su grado de infestación de malezas. ¿Existe un mínimo nivel de tolerancia de malezas en el cual no se reduce aún la productividad de la pradera? Tampoco se conocen bien los aspectos económicos del control de

malezas en los potreros, y su efecto, en términos contables, en la producción final de la pradera.

La gran diversidad de géneros y especies de malezas y la respuesta variable de éstas a los métodos de control conocidos (cultural, mecánico y químico) hacen necesaria la tarea de caracterizar, por ecosistema, la mejor integración de métodos que las elimine. Esta tarea debe considerar la habilidad competitiva del germoplasma forrajero existente y su respuesta al manejo del pastoreo.

Conclusiones

La discusión anterior permite derivar las siguientes conclusiones generales:

- La competencia de las malezas durante el establecimiento de una pastura está estrechamente relacionada con la adaptabilidad de las especies forrajeras, y con su habilidad competitiva, su morfología, el crecimiento de sus raíces y estolones, su arquitectura foliar, el tamaño de sus hojas, y su capacidad para extraer el agua y los nutrientes del suelo.
- En pasturas, el equilibrio de la competencia entre forrajeras y malezas es alterado significativamente por los métodos de control de malezas, por las prácticas de fertilización, y por el manejo del pastoreo (sistema y presión).
- En los ecosistemas de sabana, las especies nativas de gramíneas no son malezas agresivas cuando el suelo en que se hallan ha sido perturbado, es decir, preparado mecánicamente y fertilizado; lo contrario ocurre en el trópico húmedo.
- Las prácticas culturales de control de malezas mediante la labranza del suelo, el patrón de siembra, la fertilización, y el manejo del pastoreo son más eficaces si las pasturas establecidas contienen especies adaptadas, capaces de responder adecuadamente a los niveles de fertilidad del suelo y al manejo dado a la pastura.
- Depende de la especie forrajera, del estado de desarrollo de las malezas, y del complejo de malezas del área en que se establecerá la

pastura la posibilidad de controlar las malezas con herbicidas pre-emergentes y postemergentes. Sin embargo, ningún herbicida pre-emergente es adecuadamente selectivo cuando se establecen gramíneas y leguminosas simultáneamente.

- Es necesario investigar más en el futuro para cuantificar el balance entre la competencia de las malezas, de una parte, y de otra la habilidad competitiva de las pasturas, el grado de adaptabilidad de éstas, y su respuesta a las prácticas culturales y al manejo que reciban.

Referencias

- Argel, P. y Doll, J. D. 1975. Control de cortadera (*Scleria pterota* Presl.) y establecimiento de pasto. Revista COMALFI (Colombia) 2(4):222-226.
- _____; Doll, J. D. y Piedrahíta, W. 1975. Control de malezas en las leguminosas forrajeras *Centrosema pubescens* y *Stylosanthes guianensis*. Revista COMALFI (Colombia) 2(4):212-221.
- Barnes, R. F. 1985. The savanna resource in ruminant production systems. Trop. Grassl. 19(3):99-109.
- Blunt, C. G. y Humphreys, L. R. 1970. Phosphate response of mixed swards at Mt. Cotton, South-eastern Queensland. Aust. J. Agric. Anim. Husb. 10:431-441.
- Brito T., L.; do Carmo C., A. y Oyama H., A. K. 1973. Controle de ervas invasoras em pastagens na Amazonia occidental. Circular no. 3 de EMBRAPA. Instituto de Pesquisa Agropecuária da Amazonia Occidental (IPEAAOC), Brasil. 18 p.
- Buhler, D. D. y Burnside, O. C. 1984. Effect of application factors on postemergence phytotoxicity of fluazifop-butyl, haloxyfop-metyl, and sethoxydim. Weed Sci. 32:574-583.
- Camacho, A. J.; Argel, P. y Doll, J. 1974. Control de gramalote (*Paspalum fasciculatum* Willd.) con dalapón y glifosato y establecimiento de pasto para (*Brachiaria mutica*). Revista COMALFI (Colombia) 1:176-184.
- Clements, F. E.; Weaver, J. E. y Hanson, H. 1929. Plant competition. Carnegie Institute of Washington. Washington, D. C., E. U.
- Crowder, L. V. y Chheda, H. R. 1982. Tropical grassland husbandry. Longman Group. p. 119-147.

- Dias Filho, M. B. 1988. Controle de plantas invasoras em pastagens. Recomendações básicas no. 8. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) y Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU). 4 p.
- Doll, J. D. 1978. Problemas de malezas de plantas forrajeras en suelos ácidos e infértiles del trópico. 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. 279-288.
- y Argel, P. 1976. Guía práctica para el control de malezas en los potreros. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 30 p. [Serie ES-22].
- ; Argel, P. J. y Gómez, C. 1989. Principios básicos para el manejo y control de malezas en las praderas. Guía de estudio. 3 ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 59 p. [Serie CIAT 04SW-03.01].
- Edye, L. A.; Humphreys, L. R.; Henzell, E. F. y Teakle, L. J. H. 1964. Pasture investigations in the Yalleroi District of Central Queensland. Papers of the Queensland University Department of Agriculture 4:133-137.
- Ferguson, J. E. y Sánchez, M. 1984. Plan tentativo de control integrado de malezas en *Stylosanthes* spp. y *Desmodium* spp. En: Memoria del primer curso internacional sobre colección y evaluación de germoplasma, y producción de semillas forrajeras tropicales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP) y GREDPAC, Panamá. p. 319-327.
- Fisher, M. J. 1975. Plant competition: Management of improved tropical pastures. Refresher course. Australian Institute of Agricultural Science and University of Queensland, St. Lucia, Australia. p. 19-25.
- e Ive, J. R. 1970. The control of grass weeds in Townsville Stylo (*Stylosanthes humilis*) experiments. Aust. J. Agric. Anim. Husb. 10:795-797.
- Hall, R. L. 1978. The analysis and significance of competitive and non-competitive interference between species. En: Wilson, J. R. (ed.). Plant relations in pastures. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australia. p. 163-174.
- Hertentains, L. A.; Troestsch, O. y Argel, P. J. 1988. Control químico de la maleza cabazona (*Paspalum virgatum*) en Bugaba, Chiriquí. Boletín técnico no. 18. Instituto de Investigaciones Agropecuarias de Panamá (IDIAP). 9 p.
- Humphreys, L. R. 1978. Tropical pastures and fodder crops. Intermediate Tropical Agricultural Series. Longman Group, Londres. p. 57-102.
- . 1979. Tropical pasture seed production. FAO. p. 58-63.

- Jones, R. M. 1965. Effect of soil fertility, weed competition, defoliation and legume seeding rate on establishment of tropical pasture species in south-east Queensland. *Aust. J. Soil Res.* 3:54-66.
- Leigh Jr., E. G. 1982. Introduction: Why are there so many kinds of tropical trees? En: Leigh Jr., E. G. et al. (eds.). *The ecology of a tropical forest: Seasonal rhythms and long-term changes*. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C. 1982. p. 63-66.
- Locatelly, E. y Doll, J. D. 1979. Competencia y alelopatía. En: Doll, J. D. (ed.). *Manejo y control de malezas en el trópico*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 25-34. [Serie 09SW-1].
- Pinzón, R. B.; Argel, P. J. y Montenegro, R. 1985. Control de malezas en el establecimiento de kudú tropical. *Pasturas tropicales (CIAT)* 7(2):6-8.
- Sistachs, M. y León, J. J. 1986. Susceptibilidad de las semillas de *Paspalum virgatum* y *Sorghum halepense* a diferentes herbicidas. *Pastos y Forrajes (Cuba)* 9:141-146.
- Spain, J. 1981. Establecimiento de praderas en sabanas bien drenadas de los Llanos Orientales de Colombia. Gufa de estudio. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 40 p. [Serie 04SP-01.01].
- Taylor, T. H. y Templeton Jr., W. C. 1981. Legume establishment in grass-dominant swards: Concept and history in Kentucky. En: Smith, J. A. y Hays, V. W. (eds.). *Proceedings of the Fourteenth International Grassland Congress, Kentucky, E. U.* p. 453-456.
- Tergas, L. E. y Gómez, C. 1980. Evaluación de herbicidas para el establecimiento de praderas de gramíneas y leguminosas tropicales seleccionadas para suelos ácidos en Colombia. *Revista COMALFI (Colombia)* 7:(1-2):5-17.
- Toledo, J. M. y Morales, V. A. 1978. Establecimiento y manejo de praderas mejoradas en la Amazonia peruana. 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. 191-209.
- Torres, L. 1983. Producción de carne en pastoreo bajo diferentes sistemas de control de malezas. *Revista Acovez* 7(23):41-46.
- Tothill, K. C. 1978. Competitive aspects of the ecology of pastures. En: Wilson, J. R. (ed.). *Plant relations in pastures*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australia. p. 385-402.

- Veiga, J. B. da y Falesi, I. C. 1986. Recomendação e prática da adubação de pastagens cultivadas na Amazonia brasileira. En: Matos et al. (eds.). Calagem e adubação de pastagens. Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fósforo, Brasil. p. 257-282.**
- Victoria Filho, R. 1986. Controle de plantas daninhas em pastagens. En: Peixoto, A. et al. (eds.). Pastagens na Amazonia. FEALQ, Piracicaba, Brasil. p. 71-90.**
- Watkin, B. R. y Clements, R. J. 1978. The effects of grazing animals on pastures. En: Wilson, J. R. (ed.). Plant relations in pastures. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO), Australia. p. 273-289.**

Manejo del Pastoreo en el Período de Formación de la Pastura

José M. Pereira y Carlos Lascano

Introducción

Como resultado de la labor de cooperación internacional en que se ha recolectado y evaluado el germoplasma forrajero destinado a los suelos ácidos de baja fertilidad, extensas zonas del trópico americano disponen hoy de un número importante de gramíneas y leguminosas forrajeras (Toledo y Nores, 1986). Por otra parte, se ha documentado ya la investigación sobre las asociaciones de gramíneas y leguminosas forrajeras que pueden alcanzar niveles altos y sostenibles de producción animal en los ecosistemas de sabana (Lascano y Toledo, 1987) y de trópico húmedo (Reátegui et al., 1985). Una desventaja, sin embargo, de las pasturas asociadas es que se corre mayor riesgo en su establecimiento que en el de aquéllas sembradas con gramínea pura (Spain, 1988). A este riesgo pueden contribuir varios factores, de los cuales sobresalen, para efectos de este capítulo, las diferencias en la tasa de germinación o en la velocidad de crecimiento de gramíneas y leguminosas, o el ataque diferencial de plagas y enfermedades a las plántulas en crecimiento. Estos hechos contribuyen, a su vez, a un desequilibrio de las poblaciones iniciales de plantas y, por ende, a la dominancia de una especie sobre la otra (Roberts, 1979).

Se proponen aquí algunas alternativas de manejo del pastoreo que podrían contribuir a minimizar el desequilibrio de especies en la fase de formación de la pastura y que, además, favorecerían la persistencia de éstas.

Pastoreo Selectivo en las Pasturas Asociadas

Antes de discutir las posibles estrategias de pastoreo en la fase del establecimiento posterior a la siembra, se resumen algunos principios

José M. Pereira es zootecnista de la División de Zootecnia de CEPLAC, Bahía, Brasil. Carlos Lascano es zootecnista del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia.

generales sobre pastoreo selectivo en las pasturas de gramíneas y leguminosas.

En el establecimiento de una pastura asociada debe tenerse en cuenta no sólo el grado de adaptación de las especies forrajeras a los factores edáficos y bióticos, sino también su grado de compatibilidad mutua (Roberts, 1979; Paladines y Lascano, 1983). Tanto el hábito de crecimiento de la gramínea (erecto o estolonífero) y de la leguminosa (rastrojero o voluble), como su palatabilidad relativa determinan, en parte, la compatibilidad de ambas bajo condiciones de pastoreo.

El hábito de crecimiento de gramíneas y leguminosas sembradas en asociación puede influir en el hábito que adopta el animal en pastoreo para seleccionar las especies que consume (Lascano, 1987). En pasturas donde hay una gramínea erecta, como *Andropogon gayanus*, y una leguminosa de hábito de crecimiento semiarbustivo, como *Stylosanthes capitata*, o voluble, como *Centrosema acutifolium*, el animal selecciona de preferencia uno de estos dos componentes de la pastura. Normalmente, el animal selecciona, en este caso, gramíneas en época de lluvias y leguminosas en la época seca (Cuadro 1). En contraste, en asociaciones de gramíneas estoloníferas, como *Brachiaria dictyoneura*, y leguminosas de crecimiento postrado, como *Arachis pintoi* o *Desmodium ovalifolium*, la capacidad selectiva del animal disminuye y, en consecuencia, selecciona leguminosa durante todo el año, independientemente de la calidad de la gramínea (Cuadro 1). Sin embargo, en este caso, el grado de selectividad depende en gran medida de la palatabilidad de la leguminosa.

Es sabido que diferentes tipos de animales tienen diferentes hábitos de selección en condiciones de pastoreo. Por ejemplo, el bovino selecciona menos leguminosas que el ovino (Cárdenas y Lascano, 1988); los equinos rechazan totalmente algunas gramíneas, de las que se destacan *Brachiaria decumbens* y *B. brizantha*.¹

En general, según la naturaleza de las especies sembradas se puede aprovechar la capacidad selectiva del animal en pastoreo para corregir posibles desequilibrios entre gramínea y leguminosa en la fase de

1. Saladino Gonçalves, N. N. Comunicación personal.

Cuadro 1. Selectividad manifestada por bovinos en pastoreo hacia la leguminosa de la pastura asociada.

Asociaciones ^a	Leguminosa en la dieta ^b		Referencia
	En E.S. (%)	En E.Ll. (%)	
<i>A. gayanus</i> + kudzu (LO)	77	24	Böhnert et al., 1985
<i>A. gayanus</i> + <i>C. acutifolium</i> (LO)	51	27	CIAT, 1987
<i>A. gayanus</i> + <i>S. capitata</i> (LO)	17	4	Böhnert et al., 1985
<i>B. humidicola</i> + <i>A. pinto</i> (LO)	35	26	Lascano y Thomas, 1988
<i>B. dictyoneura</i> + <i>D. ovalifolium</i> (Q)	21	28	CIAT, 1987

a. LO = datos obtenidos en los Llanos Orientales de Colombia; Q = datos obtenidos en CIAT-Quilichao, Cauca, Colombia.

b. E.S. = época seca; E.Ll. = época lluviosa.

formación de la pastura. Asimismo, las diferencias en selectividad de diversos animales pueden ser valiosas para lograr ese fin. Que se emplee uno u otro tipo de animal dependerá obviamente de su disponibilidad en la finca y del grado de desequilibrio de la población de especies forrajeras en la pastura en formación.

Criterios para Introducir Animales en la Pastura en Formación

Durante el período de formación de una pastura se observan normalmente variaciones espaciales (parches) en el potrero, ya sea de la cantidad de forraje disponible o ya de su composición botánica. Por tal razón, hay más de un criterio para decidir el momento en que una pastura está lista para ser pastoreada. Deben tenerse en cuenta, por ejemplo, factores como cobertura, altura de las especies forrajeras y balance de sus poblaciones; éstos a su vez varían según la velocidad de crecimiento de las especies, su forma de propagación, y el ecosistema en que se hallen.

Partiendo de los resultados de los ensayos regionales de evaluación de germoplasma en la RIEPT (ERB), se puede afirmar que las gramíneas decumbentes del género *Brachiaria* establecen una buena cobertura 5 ó 6 meses después de la siembra. En cambio, la cobertura inicial que producen las gramíneas de hábito de crecimiento erecto, como *A. gayanus*, puede ser menor, sobre todo si se aplican tasas bajas de siembra o si hay problemas de germinación.

La rapidez de establecimiento de una pastura y, en consecuencia, el inicio del pastoreo dependen también de las condiciones climáticas del ecosistema. En un bosque tropical lluvioso o semi-siempreverde estacional, es posible iniciar el pastoreo el mismo año de la siembra, aplicando cargas bajas. En ecosistemas de sabana, en cambio, donde hay períodos de sequía largos y definidos, el pastoreo inicial podría diferirse hasta el segundo año, sobre todo si hay en la pastura especies no estoloníferas como *A. gayanus* y *S. capitata*.

En pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas, un factor muy importante en el diseño de estrategias de pastoreo después del establecimiento de la pastura es el equilibrio de las especies sembradas, como se discute en la siguiente sección.

Estrategias de Pastoreo después del Establecimiento de una Asociación

La estrategia de pastoreo que se implemente en la fase de formación de las pasturas asociadas está determinada, en cierta medida, por la necesidad de favorecer ya sea la gramínea, o la leguminosa, o la producción de semillas.

Pastoreo que favorece la leguminosa o la gramínea

Por diferencias en el proceso fotosintético, las gramíneas tropicales (plantas C₄) tienen una tasa de crecimiento mayor que las leguminosas tropicales (plantas C₃); esta característica puede resultar en la supresión de la leguminosa si no se controla la gramínea. A este resultado contribuye también una población inicial baja de la leguminosa causada por una tasa de siembra reducida, por la mala germinación de la

semilla, o por un ataque de plagas o enfermedades. La situación opuesta, es decir, un exceso de leguminosa en comparación con la gramínea, también es posible en la fase de formación de la pastura; sus causas son, entre otras, una mala germinación de la semilla de la gramínea o un ataque de insectos (las hormigas que cosechan semilla y plántulas de *A. gyanus*), o ambas cosas. En uno u otro caso se podría utilizar el pastoreo para controlar el crecimiento del componente excesivo de la pastura; de lo contrario, la productividad y la persistencia de la pastura podrían hallarse seriamente afectadas. Las pérdidas de población de la leguminosa afectarían la calidad de la pastura y, por ende, la producción animal—entendida ésta como ganancia de peso, o producción de leche o, eventualmente, capacidad de carga—por deficiencia de N en la pastura, mientras que las pérdidas de la gramínea pueden dar pie a una invasión de malezas y reducir la capacidad de carga de la pastura.

El efecto del desequilibrio de especies que ocurriría en una asociación gramínea-leguminosa no pastoreada estratégicamente durante el período posterior al establecimiento se ilustra con un ejemplo. En los Llanos Orientales de Colombia se estableció al inicio de las lluvias, en mayo, una mezcla de *B. decumbens*/*C. acutifolium* cv. Vichada en dos potreros adyacentes de 1 ha cada uno. En ambos potreros, preparados con labranza reducida, hubo buena germinación de la leguminosa; sin embargo, en uno de ellos (el potrero A) la población de *B. decumbens* fue baja y hubo invasión de gramíneas nativas de bajo porte, lo cual no sucedió en el potrero B. El pastoreo se inició en la época seca, seis meses después del establecimiento, con 2 A/ha y un sistema alterno de 21/21 días.

Como se muestra en la Figura 1, el porcentaje inicial de leguminosa era similar en ambos potreros al comienzo del pastoreo, pero la leguminosa aumentó muy rápidamente en el potrero A, donde la población de la gramínea sembrada era deficiente; lo contrario sucedió en el potrero B. Después de dos años de pastoreo, estas diferencias entre potreros no se han reflejado en ganancia de peso; sin embargo, a medida que transcurre el tiempo podrían producirse diferencias muy grandes entre esos potreros, tanto en capacidad de carga como en ganancia de peso.

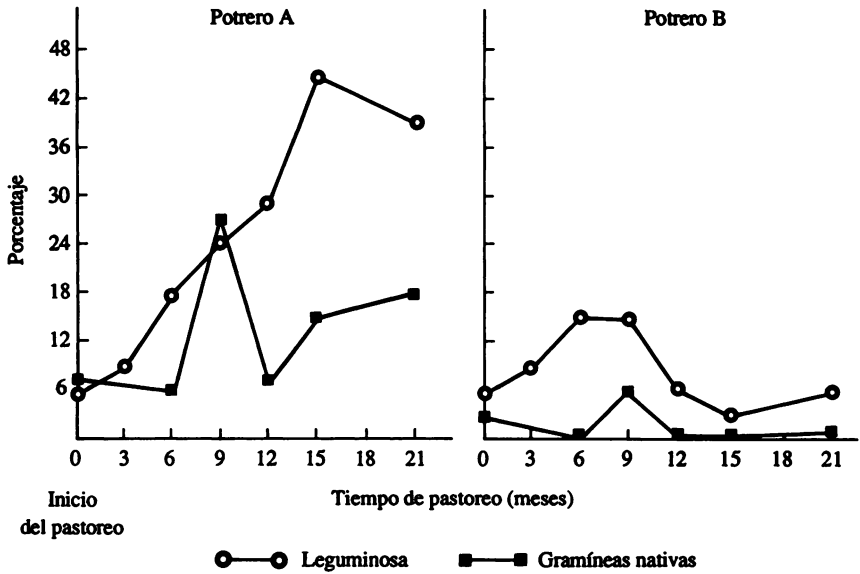


Figura 1. Porcentaje de la leguminosa (*C. acutifolium*) y de las gramíneas nativas, en dos potreros adyacentes en que se sembraron en asociación la leguminosa y *B. decumbens*.

Si se hubiera aplicado un pastoreo estratégico en la fase de formación de estas pasturas, es posible que el estado de éstas, dos años después, hubiese sido diferente. En ambas pasturas el pastoreo definitivo debió diferirse hasta haber logrado un mejor equilibrio entre las especies sembradas. En el potrero A, donde la gramínea sembrada tenía poco vigor, era necesario pastorear estratégicamente con bovinos, para controlar las gramíneas nativas, y continuar ese pastoreo con la resiembra de *B. decumbens*, y con períodos largos de descanso. Alternativamente, en este caso se podría pensar en un pastoreo con equinos para favorecer a *B. decumbens*, teniendo en cuenta que esos animales rechazan esta gramínea. El potrero B, donde la gramínea era vigorosa, se debió pastorear frecuentemente con bovinos para favorecer el desarrollo de las plántulas de leguminosa, ya que estos animales seleccionan de preferencia la gramínea. Estas estrategias de pastoreo después de la siembra deberían probarse experimentalmente, ya que no existen en la literatura científica—que sepan los autores—trabajos de investigación sobre este tema.

Ejemplos de desequilibrio entre especies en la fase posterior al establecimiento, como el antes descrito en un ecosistema de sabana, ocurren también en ecosistemas de bosque. En Puerto Bermúdez, Perú, se estableció una pastura de *B. decumbens*-*D. ovalifolium*; al poco tiempo fue invadida por kudzú (*Pueraria phaseoloides*) y dominada rápidamente por esta leguminosa, en detrimento de las especies sembradas.² Una situación similar de dominancia de una leguminosa en la fase de establecimiento ocurrió en un bosque semi-siempreverde estacional, en Chinchiná, Colombia, en asociaciones de *B. decumbens* con *Centrosema macrocarpum*.

Los autores consideran que, cuando hay dominancia de una leguminosa, el pastoreo con ovinos sería una buena alternativa dada la preferencia que demuestran estos animales por la leguminosa. La agresividad del kudzú y de *C. macrocarpum* en los dos ecosistemas mencionados, y la poca preferencia que demuestran los bovinos por estas leguminosas cuando hay gramínea disponible, indican que el pastoreo con este tipo de animales no conduciría, posiblemente, a un restablecimiento rápido del equilibrio entre las especies sembradas. Si sólo se dispone de bovinos, sería necesario utilizar cargas altas que minimicen la selectividad del ganado y causen, además, daños a la leguminosa por pisoteo; luego se fijarían períodos largos de descanso para favorecer la gramínea.

Pastoreo y producción de semillas

Una recomendación muy generalizada dice que, antes de iniciar el pastoreo en una pastura recién establecida, se debe permitir que las plantas produzcan semilla. Esta práctica es útil en gramíneas erectas, como *A. gayanus*, y en leguminosas bianuales, como *S. capitata*, cuya persistencia en la pastura depende de su semilla. Conviene por tanto, en estos casos, que en la etapa de formación de la pastura se difiera el pastoreo durante las fases de floración y de maduración de la semilla. El pastoreo que se aplique más tarde debe crear un ambiente propicio en la pastura para el desarrollo de plántulas de segunda generación; para lograr este objetivo podría requerirse un sobrepastoreo.

2. Reátegui, K. Comunicación personal.

Clases de Pastoreo

Básicamente, hay dos clases de pastoreo que pueden emplearse en la etapa de formación de una pastura. El primero—conocido como ‘mob grazing’—emplea un número alto de animales durante pocos días, mientras que el segundo emplea pocos animales durante varios días.

Cuando se emplea un número grande de animales para completar el pastoreo en pocos días, se corre el riesgo de ocasionar daño, por el pisoteo, a las especies sembradas, sobre todo si el suelo se halla en condiciones de alta humedad. Además, con esta clase de pastoreo se reduce la habilidad selectiva del animal, lo cual causaría que no se favoreciera una especie de la asociación con respecto a la otra. Sin embargo, en algunas pasturas conformadas por especies agresivas y estoloníferas, como *B. humidicola*, es necesario emplear altas cargas para controlar el crecimiento de la gramínea y así favorecer la leguminosa; esta práctica es frecuente cuando se renueva esta gramínea mediante la introducción de leguminosas como *A. pintoi* y *D. ovalifolium*.

El empleo de pocos animales durante días variables sería la estrategia de pastoreo más recomendable cuando se quieren favorecer las leguminosas volubles de poca capacidad estolonífera, como *Centrosema pubescens* común, o las leguminosas semierectas, como *Stylosanthes guianensis* y *S. capitata*.

Limitaciones del Pastoreo en la Formación de las Pasturas

El empleo del pastoreo estratégico para restablecer o regular el equilibrio de las poblaciones de gramínea y leguminosa en la fase de formación de una pastura asociada tiene sus límites. En la Figura 2 se esquematizan los posibles casos de equilibrio entre la gramínea, la leguminosa y las malezas de una pastura durante la fase que sigue al establecimiento de ésta. Los vértices del triángulo representan los extremos posibles que se pueden presentar después de la siembra. Los vértices inferiores, izquierdo y derecho, representan el 100% de dominancia de la gramínea y de la leguminosa, respectivamente; fallas en la germinación o en el establecimiento de una u otra conducen a esos

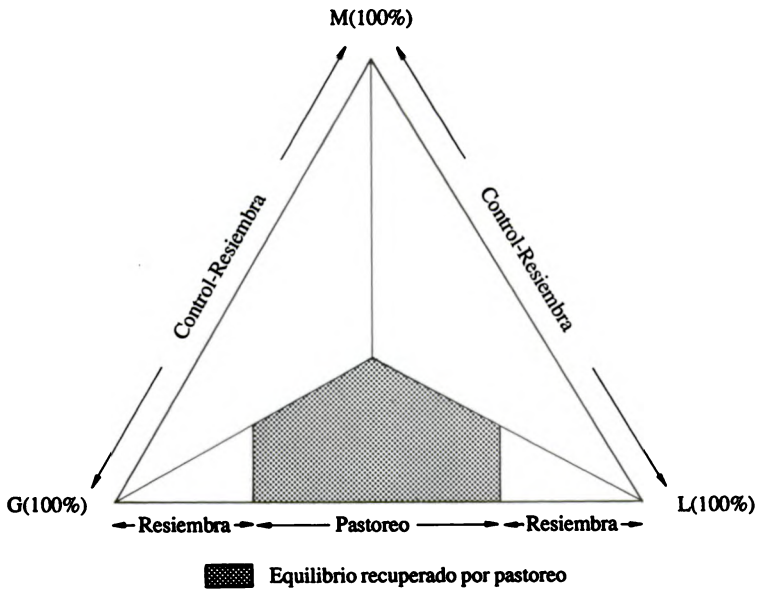


Figura 2. Equilibrio entre las poblaciones de la gramínea (G), la leguminosa (L), y las malezas (M) durante la fase de formación de una pastura asociada.

porcentajes. El vértice superior representa una situación en que hay 100% de dominancia de las malezas por fallas en el establecimiento tanto de la gramínea como de la leguminosa. En estos casos extremos es obvio que el pastoreo no es aplicable para restablecer el equilibrio entre los componentes de la pastura; es necesario, por tanto, resembrar aplicando simultáneamente técnicas de labranza o herbicidas para controlar la vegetación existente. En otros casos podría haber pasturas con una población aceptable de gramíneas y leguminosas, pero con un exceso de malezas; aquí el pastoreo sería únicamente un complemento del control manual o químico de las malezas.

En la Figura 2 se delimita un área en el triángulo que indica que el uso del pastoreo estratégico podría restablecer el equilibrio entre la gramínea y la leguminosa de una asociación, como se ha sugerido anteriormente. El límite máximo permisible de dominancia de la gramínea, de la leguminosa y de las malezas en una pastura en formación —para que el pastoreo sea una herramienta útil que favorezca el

desarrollo de uno de esos componentes a expensas de los otros—podría depender de las especies sembradas.

Conclusiones

El manejo del pastoreo en la fase de formación de una pastura ha sido poco estudiado en forma experimental y, por lo tanto, las recomendaciones que se dan son empíricas y muy generales. En este capítulo se proponen algunas prácticas de manejo del pastoreo en la fase posterior al establecimiento de las pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas; dentro de los límites del equilibrio requerido por las poblaciones de las especies sembradas, esas prácticas se fundamentan en la selectividad animal. La validez de estas estrategias de manejo debe estudiarse en el futuro, cuando se investigue el establecimiento de las pasturas tropicales en la RIEPT. Se recomienda estudiar específicamente, en un amplio rango de gramíneas y leguminosas, los siguientes aspectos: a) empleo de diferentes tipos de animales; b) uso de diferentes clases de pastoreo, en combinación con frecuencias variables de ocupación y descanso; y c) empleo de prácticas integradas de control de la vegetación (labranza y herbicidas), de la resiembra, y del pastoreo estratégico para establecer un equilibrio entre las poblaciones de las especies sembradas.

Referencias

- Böhnert, E.; Lascano, C. y Weniger, J. H. 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; 1: Botanical composition of forage available and selected. *Z. Tierz. Züchtungsbiol.* 102:385-394.
- Cárdenas, E. A. y Lascano, C. E. 1988. Utilización de ovinos y bovinos en la evaluación de pasturas asociadas. *Pasturas tropicales (CIAT)* 10(2):2-10.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Informe anual 1986; Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 24. Cali, Colombia. p. 225-273.
- Lascano, C. E. 1987. Canopy structure and composition in legume selectivity. En: Moore, J. E.; Quesenberry, K. H. y Michaud, M. W. (eds.). *Forage-livestock research needs for the Caribbean basin*. University of Florida, Gainesville, FL, E. U. p. 71-80.

- _____ y Thomas, D. 1988. Forage quality and animal selection of *Arachis pinto* in association with tropical grasses in the Eastern Plains of Colombia. Grass Forage Sci. 43:433-439.
- _____ y Toledo, J. M. 1987. Desarrollo y potencial de las pasturas mejoradas para América tropical. Trabajo presentado en el Congreso de Zootecnia, Cali, Colombia. 12 p.
- Paladines, O. y Lascano, C. E. 1983. Recomendaciones para evaluar germoplasma bajo pastoreo en pequeños potreros. En: Paladines, O. y Lascano, C. (eds.). Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas: Metodologías de evaluación. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 165-183.
- Reátegui, K.; Ara, M. y Schaus, R. 1985. Evaluación bajo pastoreo de asociaciones de gramíneas y leguminosas forrajeras en Yurimaguas, Perú. Pasturas tropicales (CIAT) 7(3):11-14.
- Roberts, C. R. 1979. Algunas causas comunes del fracaso de las praderas de leguminosas y gramíneas tropicales en fincas comerciales, y posibles soluciones. 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. 427-445.
- Spain, J. M. 1988. The management of herbaceous legumes in tropical pastures. Congreso Brasileiro de Pastagens, Piracicaba, S. P., Brasil. p. 21.
- Toledo, J. M. y Nores, G. A. 1986. Tropical pasture technology for marginal lands of tropical America. Outlook Agric. 15(1):3-9.

Degradación y Rehabilitación de Pasturas

James M. Spain y Ramón Gualdrón

Introducción

Las pérdidas que ha experimentado la producción animal en algunas regiones tropicales, a causa de la degradación de las pasturas, plantean un problema tanto ecológico como económico de suma importancia. Se ha estimado que, en el trópico húmedo, 50% de las pasturas sembradas se encuentran en estados avanzados de degradación (Serrão, 1988; Serrão y Toledo [1989]; Ramírez y Seré, 1989).

Las pasturas mejoradas se han desarrollado mucho en los cerrados de Brasil (ecosistema de sabana) en los últimos 20 años. El área sembrada con especies introducidas ha sido estimada en 30 millones de hectáreas (FIBGE, 1980), de las cuales 50% o más se hallan también en una fase avanzada de degradación.

La degradación de las pasturas tiene serias consecuencias: reduce primero los rendimientos de la producción animal, incrementa luego los costos de producción, y por ello contribuye, finalmente, a fomentar la escasez de los productos que necesitan los consumidores rurales y urbanos. De otra parte, las pérdidas de agua, de suelo y de residuos vegetales, causadas por la erosión y la escorrentía, tienen un impacto negativo en las fincas, en las corrientes y reservorios de agua, en las carreteras, en los puentes, y aun en los puertos marítimos.

Los objetivos del presente capítulo son examinar las causas de degradación de las pasturas en el trópico americano, proponer una clasificación cualitativa y cuantitativa de esa degradación, y discutir estrategias para enfrentar este problema.

James M. Spain es agrónomo especialista en desarrollo de pasturas en el Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Planaltina, Brasil. Ramón Gualdrón es Ing. Agrón., anteriormente en el proyecto sobre la relación suelo-planta y el reciclaje de nutrimentos del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Palmira, Colombia; actualmente como especialista en restauración de áreas afectadas por la minería, INTERCOR, Apartado aéreo 52494, Barranquilla, Colombia.

Degradación de las Pasturas

Se considera que una pastura está degradada cuando ha sufrido una disminución considerable de su productividad potencial en unas condiciones edafoclimáticas y bióticas dadas.

Existe la creencia de que las pasturas tropicales están destinadas inevitablemente a degradarse en corto tiempo. Sin embargo, se ha informado de casos que atestiguan lo contrario. Pasturas de *Brachiaria decumbens*, con *Pueraria phaseoloides* y sin esta leguminosa, están produciendo de 200 a 300 kg de peso vivo por año en Carimagua 10 años después de sembradas (Lascano y Estrada, 1989).

En la Figura 1 se presenta un modelo teórico de lo que ocurriría a las propiedades físicas y a la fertilidad del suelo, ya sea de pasturas estables (es decir, asociaciones gramínea-leguminosa) o ya de inestables. Si la pastura se mantiene estable y productiva a través del tiempo, se esperaría un incremento en los contenidos de materia orgánica y de nitrógeno, principalmente, en el horizonte superficial del suelo, y un incremento en la tasa de infiltración de agua; este último resulta de la disminución en la densidad del suelo causada por el crecimiento de las raíces y por su muerte y descomposición. Si la pastura se supone degradada, podría sufrir pérdidas de nutrimentos por percolación o escorrentía, pero las condiciones físicas del suelo serían, al final, mejores que las encontradas antes de sembrarla.

En la literatura científica hay varios modelos de degradación de pasturas (Toledo y Morales, 1979; Serrão et al., 1979), y en ellos se citan, como los factores que más contribuyen a esa degradación, los siguientes: a) manejo inadecuado, incluyendo el sobrepastoreo; b) invasión de malezas; c) plagas y enfermedades; d) falta de adaptación al medio de las especies sembradas; e) pérdida de la fertilidad del suelo; f) incompatibilidad entre las especies asociadas.

Partiendo de las experiencias obtenidas en las sabanas (Llanos Orientales de Colombia), en el Cuadro 1 se presentan las causas más frecuentes de degradación de las pasturas y las posibles estrategias para contrarrestarlas.

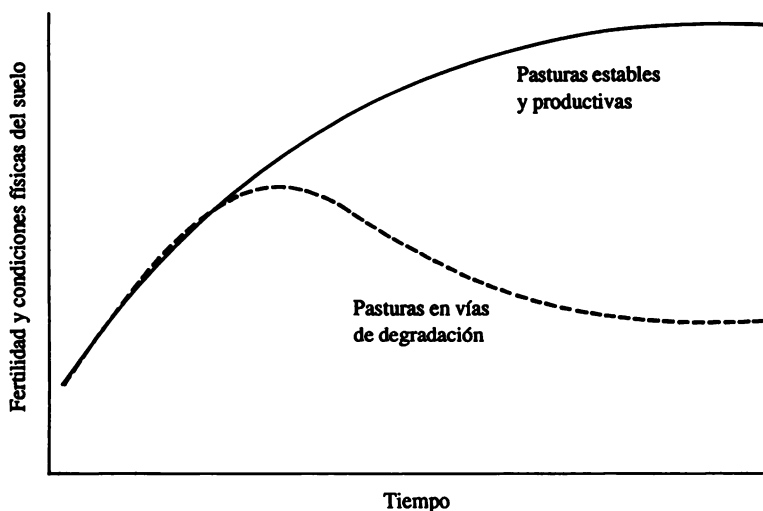


Figura 1. Efecto de una pastura estable y de otra inestable en el estado físico y en la fertilidad del suelo.

Cuadro 1. Principales causas de la degradación de las pasturas y posibles estrategias para contrarrestarlas.

Causas	Estrategias ¹
a. Pérdida de fertilidad (N, P, S)	- Germoplasma (para b,c,d,e)
b. Inestabilidad leguminosa-gramínea	- Sembrar leguminosas (para a,c,d)
c. Plantas invasoras	- Manejo del pastoreo (para b,c,d,e)
d. Falta de cobertura, compactación del suelo y erosión	- Fertilización de mantenimiento (para a,b,c,d)
e. Insectos: salivazo, hormigas, termitas	

1. Las minúsculas entre paréntesis indican las causas de degradación de la pastura que se corregirán con determinada estrategia.

Pérdida de fertilidad

En el trópico húmedo, la deficiencia de fósforo es la limitante de la estabilidad de las pasturas 'denunciada' con más frecuencia (Serrão et al., 1979; Toledo y Serrão, 1982; Dias Filho y Serrão, 1987). Sin embargo, es muy probable que, una vez establecida la pastura, la deficiencia de nitrógeno, mucho más que la del fósforo, sea el factor que desestabilice la pastura y provoque su degradación.¹ Si hay un ingreso adecuado de nitrógeno que mantenga las plantas vigorosas y productivas, la deficiencia de fósforo sería una limitante poco frecuente (Spain et al., 1989; Spain y Salinas, 1985) porque las pasturas tienen la propiedad de acumular P en la fitomasa, lo que permite un reciclaje muy eficiente de ese elemento.

Una vez declarada la deficiencia del nitrógeno, la calidad y el vigor de la pastura comienzan a declinar e inducen una aguda disminución de la actividad biológica; entonces, otros nutrimentos, como el fósforo y el azufre, pueden aparecer como deficientes. Las principales estrategias para evitar esta pérdida de fertilidad son: a) la incorporación de leguminosas en las pasturas y b) la aplicación de fertilizantes de mantenimiento. Normalmente, en esta fertilización no se aplica nitrógeno si la pastura contiene una leguminosa.

Inestabilidad de la asociación gramínea-leguminosa

Se argumenta, generalmente, que es muy difícil mantener las leguminosas en las pasturas tropicales; sin embargo, la experiencia ha enseñado que si la pastura se somete a un pastoreo continuo, las leguminosas se vuelven dominantes en detrimento de las gramíneas; este efecto se produce principalmente en zonas de bosque y donde hay leguminosas poco palatables como *Pueraria phaseoloides* y *Desmodium ovalifolium*. Para prevenir la inestabilidad de una pastura, los principales métodos son la siembra de germoplasma adaptado y, junto con éste, un buen manejo del pastoreo; ambas prácticas se dirigen específicamente a mantener un equilibrio entre las poblaciones de la gramínea

1. Sansonovicz, C. Comunicación personal.

y la leguminosa (Spain y Pereira, 1985). En ciertos casos, una fertilización determinada puede favorecer a un componente particular de la pastura.

Plantas invasoras

La invasión de las malezas es, usualmente, un problema secundario; se torna importante cuando la pastura comienza a perder vigor y cuando disminuye por ello su población. Esta invasión es común en las pasturas conformadas o dominadas por leguminosas, por ejemplo, en los bancos de proteína constituidos por monocultivos de leguminosa. Las malezas suelen ser un problema serio en las pasturas recién plantadas en los ecosistemas de bosque, y menos grave en los de sabana. Un ataque severo de malezas en la sabana suele ocurrir cuando hay repoblamiento de algunas especies constituyentes de la vegetación original.

Las principales estrategias que restringen el avance de las malezas son las que contribuyen a conservar el vigor y la productividad de la pastura, y la estabilidad de la asociación de gramínea y leguminosa. Suponen, por tanto, una hábil selección del germoplasma, la siembra de leguminosas, el manejo apropiado del pastoreo, y una adecuada fertilización de mantenimiento.

Compactación y erosión del suelo

La ausencia de cobertura vegetal, la compactación del suelo, la erosión, y la infestación de malezas son problemas secundarios, y ocurren sólo en los estados avanzados de degradación de una pastura.

La compactación del suelo es un problema particularmente difícil en algunos Ultisoles que son estructuralmente menos estables que muchos de los Oxisoles. La compactación ocurre también en Oxisoles de relieves muy planos, donde el nivel freático llega a ser muy superficial durante los períodos de máxima precipitación.

Habrà erosión del terreno cuando hay compactación fuerte del suelo y pérdida de la cobertura vegetal; su magnitud se incrementa en función de la pendiente y de la intensidad de la precipitación. Las

estrategias para evitar la erosión o solucionar los daños que causa son las mismas que contribuyen a conservar el vigor y la estabilidad de las pasturas.

Ataque de insectos

Frecuentemente, los daños causados por insectos como el salivazo, las termitas y las hormigas se asocian con estados avanzados de degradación de una pastura. El daño producido por el salivazo es frecuente y severo en las regiones de bosque de mayor humedad, aunque también limita seriamente la producción de las pasturas en muchas regiones de sabana. Las hormigas y las termitas, aparentemente, causan más daño en las regiones de sabana que en las de bosque, en el trópico americano.

No hay consenso respecto al manejo que debe darse a una pastura para minimizar los daños causados por el salivazo, daños que revisten especial importancia en la mayoría de las especies del género *Brachia-ria* (Silva y Magalhaes, 1980; Calderón, 1983). Se cree que mediante la selección de germoplasma tolerante o resistente al insecto, es posible evadir la plaga. Respecto a hormigas y termitas, las prácticas que favorezcan el vigor y la estabilidad de las pasturas servirán, obviamente, para disminuir su incidencia.

Clasificación de los Estados de Degradación

Un plan de rehabilitación para una pastura se facilita cuando hay un conocimiento amplio del nivel de deterioro en que ésta se encuentra. Barcellos (1986) adaptó una clasificación propuesta por Renner y Johnson (sin referencia), y propone cuatro grados de deterioro:

Disminución de la producción de la pastura por pérdidas de calidad, de altura, y de volumen Grado 1

Las características del Grado 1, más reducción de la cobertura del suelo, y aparición de pocas plantas nuevas (escaso repoblamiento) Grado 2

Las características del Grado 2, más aparición de malezas de hoja ancha, y comienzo de erosión hídrica . . . Grado 3

Cuadro 2. Estados de degradación de las pasturas según ciertos parámetros limitativos y según su nivel de deterioro.

Estado de degradación	Parámetros limitativos	Deterioro ^a	
		P.P. (%)	Nivel
1	Vigor y calidad	< 25	Leve
2	Estado 1 + Poca población	25-50	Moderado
3	Estados 1 y 2 + Malezas invasoras	50-75	Fuerte
4	Estados 1, 2 y 3 + Hormigas/termitas	> 75	Muy fuerte
5	Estados 1, 2, 3 y 4 + Poca cobertura del suelo	> 75	Muy fuerte
6	Estados 1, 2, 3, 4 y 5 + Erosión	> 75	Muy fuerte

a. P.P. = pérdida de productividad de la pastura.

Las características del Grado 3, más incremento de malezas, colonización de la pastura por gramíneas nativas, y procesos erosivos acelerados Grado 4

La degradación se puede presentar tanto en pasturas cultivadas como en pasturas espontáneas o naturalizadas. Las pasturas basadas sólo en gramíneas (espontáneas o cultivadas) podrían considerarse como de inferior productividad, y susceptibles de ser transformadas en pasturas más productivas si se introducen leguminosas en ellas.

Clasificación cualitativa y cuantitativa

Tomando como base parámetros fáciles de observar en una pastura, se propone aquí una clasificación de las pasturas degradadas que tiene dos aspectos: uno cualitativo, respecto al tipo de degradación, y otro cuantitativo, respecto al nivel de deterioro de la pastura, que se expresa como de pérdida de su productividad (Cuadro 2).

El estado de degradación de una pastura quedaría así definido por el número de parámetros deficientes, en un rango que va de 1 hasta 6.

Los parámetros limitativos aparecen en el Cuadro 2 en el orden más frecuente de aparición, dentro del proceso de degradación. El nivel de deterioro se califica como porcentaje, y depende de la intensidad de la degradación y de la disminución de la producción. Según el esquema ideado, es posible que se exprese un factor de degradación sin la previa aparición de todos los que normalmente le antecederían. Estos casos corresponderían a problemas inesperados de plagas, a sequías, inundaciones, quemas u otros sucesos.

A modo de ilustración, una pastura en estado de degradación 2, con un nivel de deterioro moderado, tendría su productividad comprometida entre 25% y 50%, y estaría caracterizada por una pérdida de vigor y de calidad y por una población insuficiente de sus componentes. Puede ocurrir que la pastura haya perdido vigor y calidad y que, además, esté afectada por una invasión de malezas debida a una quema accidental, sin que haya sufrido pérdidas en su población; en esta situación, la pastura estaría también en un estado de degradación 2 y en transición al estado 3, pero tiene posibilidad de retornar a su estado inicial. El nivel de deterioro dependerá de la pérdida de productividad evidenciada, la cual se incrementa, normalmente, en forma paralela al avance en el estado de degradación, desde 1 hasta 6.

Rehabilitación de las Pasturas

La rehabilitación de una pastura consiste en la restitución de su capacidad productiva por unidad de área y por animal, hasta alcanzar niveles ecológicos y económicos aceptables. El término rehabilitación supone la presencia de una o más especies forrajeras deseables, que son susceptibles de ser conservadas, estimuladas o complementadas. La ausencia de especies deseables implicaría un proceso diferente, equivalente al del establecimiento de la pastura.

Los objetivos de la rehabilitación de pasturas pueden ser múltiples o puede haber uno específico, según el estado de degradación en que se encuentre la pastura, el tipo de parámetros limitativos, y los recursos disponibles. Esos objetivos serían, entre otros: a) crear un sistema estable de producción de forraje; b) restaurar el vigor, la calidad y la productividad de una pastura; c) eliminar las malezas presentes;

d) aumentar la cobertura del suelo para protegerlo; d) incrementar las poblaciones de especies deseables; e) introducir nuevas especies en la pastura o complementarla con ellas. Por su parte, se puede considerar como objetivo específico cualquier cambio no considerado entre los objetivos múltiples que conduzca a un mejoramiento de la pastura, por ejemplo, disminuir la competencia de las malezas o estabilizar la competencia intraespecífica o interespecífica de las especies deseables.

Estrategias para la rehabilitación de las pasturas

Las restricciones económicas impiden, en muchos casos, modificar algunas limitaciones de carácter edáfico como la acidez, la alta saturación de aluminio, y la presencia de niveles tóxicos de manganeso en el subsuelo; el germoplasma apropiado es entonces una estrategia de especial importancia en la rehabilitación de las pasturas. El vigor de las plántulas es un factor determinante en el desarrollo de poblaciones nuevas, ya sea de gramíneas o de leguminosas, de una pastura en recuperación.

Como se mencionó antes, la deficiencia de nitrógeno suele ser el factor de fertilidad más relacionado con la iniciación de los procesos de degradación de pasturas en el trópico húmedo (Barcellos, 1986). Sin embargo, en la medida en que la degradación prosigue, otros nutrientes se tornan limitativos. Generalmente, cuando se toma la decisión de rehabilitar la pastura, el fósforo puede ser ya el factor más limitativo. El azufre suele ser limitativo para las leguminosas en los suelos pobres en materia orgánica. Dentro de los micronutrientes, la deficiencia de zinc es la que más afecta a las leguminosas, especialmente en los suelos arenosos, en los cuarcíticos, y en los que estén pobres en materia orgánica. Un análisis de suelos serviría de guía para diagnosticar posibles limitaciones del suelo, especialmente cuando se van a introducir nuevas poblaciones o se desea activar el desarrollo de poblaciones de plantas, o de semillas, ya existentes en la pastura.

Para usar más eficientemente los fertilizantes, es recomendable efectuar algunas labores de remoción del suelo. Esta práctica permite reducir la competencia de las malezas, o de poblaciones de plantas deseadas ya establecidas, y estimula además los procesos de mineralización de la materia orgánica del suelo, aumentando consecuentemente

la disponibilidad de N, de S y, en ocasiones, de P. El control de la competencia entre las plantas nuevas y las ya existentes es vital para el desarrollo de una población de forrajeras capaz de competir efectivamente y de contribuir a la producción total de la pastura.

La compactación de los suelos en las pasturas degradadas es un fenómeno muy común; por ello se suele recomendar un subsolador como parte del proceso de recuperación. El efecto compactador del animal en pastoreo no llega, normalmente, a una profundidad del suelo mayor de 10 cm; lo promueve, generalmente, una disminución de la masa radicular a consecuencia de las defoliaciones drásticas frecuentes. En el trópico húmedo, las cargas animales altas durante los períodos de máxima precipitación generan, más que otros factores, estos problemas de compactación.

En la mayoría de los casos, un trabajo de labranza de poca profundidad sería suficiente para crear las condiciones favorables del suelo que son necesarias para la rehabilitación de la pastura o para el establecimiento de nuevas plantas.

En general, la creación de condiciones químicas, físicas y biológicas que propicien la introducción de nuevas poblaciones de plantas, o la activación de la autopropagación de las especies deseables, es sólo una parte del proceso de rehabilitación. Una vez obtenida la población adecuada de las especies forrajeras, el manejo que se le dé a la pastura determinará su estabilidad, el equilibrio de las especies vegetales, su productividad, y su persistencia.

Recomendaciones para la rehabilitación de las pasturas

El Cuadro 3 sintetiza los problemas más frecuentes que se presentan en los procesos de rehabilitación de pasturas, y las posibles estrategias para su solución.

Competencia entre las gramíneas existentes y las leguminosas sembradas. Aunque la selección del germoplasma apropiado de las leguminosas es fundamental, a menudo es necesario controlar también las gramíneas existentes en el terreno. La estrategia más común es efectuar algunas operaciones de labranza en la pastura para facilitar el

Cuadro 3. Problemas principales en la rehabilitación de las pasturas y posibles estrategias para solucionarlos.

Problema	Estrategia de solución ¹
a. Competencia entre la leguminosa introducida y las gramíneas	Germoplasma (para a,b,c,d,e)
b. Malezas	Labranza (para a,b,c,e)
c. Depredación de la leguminosa por hormigas u otros insectos	Fertilización localizada (para a,b,d,e)
d. Vigor de las plántulas	Pastoreo estratégico (para a,e)
e. Costos o riesgos altos	Ciclo de cultivos (para a,b,d,e) Control químico (para a,b) Cebos (para c,e)

1. Las minúsculas entre paréntesis indican los problemas que soluciona una estrategia.

contacto estrecho entre las semillas de la leguminosa y el suelo. Mediante un laboreo superficial a comienzos de un período seco prolongado, es posible eliminar, casi por completo, las poblaciones de gramíneas de hábito erecto o postrado. En estos casos, es necesario calcular las reservas de semilla del suelo, con el fin de determinar el área que hay que trabajar y el método que debe emplearse. Los fertilizantes, aplicados en forma localizada (en bandas) para favorecer el crecimiento inicial de la especie introducida, son con frecuencia una estrategia muy útil. En algunos casos es recomendable renovar la pastura mediante un ciclo de cultivos cuando haya que controlar la competencia excesiva de las gramíneas ya existentes (de Carvalho et al., 1989).

Malezas. Es un problema común en los ecosistemas de bosque húmedo y en los suelos de fertilidad moderada a buena. La estrategia más práctica es la siembra de germoplasma vigoroso capaz de competir y desplazar las malezas y de coexistir con las gramíneas ya existentes. La labranza se usa también como una estrategia para reducir la infestación de malezas. Cuando hay grandes reservas de semilla en el suelo, es posible, mediante dos o tres pases escalonados de rastrillo que haga

una labranza superficial, contener la proliferación de nuevas poblaciones indeseables. La aplicación de fertilizantes en forma dirigida (en bandas) permite, en la mayoría de los casos, acelerar el crecimiento inicial de las especies introducidas y reducir así la competencia de las malezas.

Un ciclo de cultivos permite también reducir el potencial de malezas del terreno si se introducen leguminosas simultáneamente con los cultivos. Es esencial el control de la gramínea presente antes del cultivo para evitar que compita excesivamente durante el ciclo de crecimiento del cultivo. En ocasiones será necesario, y económico, aplicar un control químico; en tales casos, los productos no sistémicos y no selectivos serán útiles cuando las plantas cultivadas contengan suficientes reservas que les permitan rebrotar rápidamente. También puede obtenerse un buen control de esas malezas con productos sistémicos, con tal que se apliquen en forma dirigida.

Hormigas y otros insectos. La mejor estrategia consiste, probablemente, en la evasión de la plaga empleando germoplasma seleccionado; éste producirá plántulas vigorosas, de rápido crecimiento inicial, características éstas que disminuirán su susceptibilidad a la depredación. La elección de una época adecuada para la siembra de las especies que se desea introducir contribuirá a reducir la presión de depredación de los insectos. En ciertos casos es imposible evitar el daño de los insectos cortadores, como las hormigas; se puede acudir entonces al empleo de cebos tóxicos.

Vigor de las plantas. Este es un resultado, principalmente, del germoplasma seleccionado y de la fertilidad del suelo. El manejo de una fertilización estratégica, es decir, que consulte los requerimientos específicos de las especies que se introducirán y que elija el método adecuado de aplicación, es fundamental para estimular las plantas deseadas. Un ciclo de cultivos permite incrementar la fertilidad del suelo, y pagará, con el valor de su producción, los costos de la fertilización (de Carvalho et al., 1989).

Costos y riesgos altos. Ambos pueden reducirse mediante la aplicación de las estrategias que convenga aplicar en cada caso en particular.

Los costos altos pueden compensarse rápidamente mediante un manejo adecuado del pastoreo en la pastura ya rehabilitada (CIAT, 1987).

Prioridades de Investigación

La selección de germoplasma forrajero, cada vez mejor adaptado a las condiciones edafoclimáticas de los principales ecosistemas tropicales, es todavía un objetivo de alta prioridad. Es necesario además considerar los factores más importantes de la adaptación de las plantas; éstos condicionan su vigor, su agresividad, y su habilidad para competir con las malezas y para coexistir con las especies asociadas.

El control integrado de las plagas que afectan seriamente los estados iniciales de crecimiento, tanto de gramíneas como de leguminosas, en el proceso de rehabilitación de una pastura merece también una alta prioridad. Un componente muy importante de ese control es la tolerancia, o la resistencia, de las plantas seleccionadas al daño causado por los insectos.

Referencias

- Barcellos, A. 1986. Recuperação de pastagens degradadas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) y Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Planaltina D.F., Brasil. 38 p.
- Calderón, M. 1983. Insect pests of tropical forage plants in South America. En: Smith, J. A. y Hays, V. W. (eds.). Proceedings of the 14th International Grassland Congress, Lexington, Kentucky, E. U. p. 778-780.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Informe anual 1986; Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 24. Cali, Colombia. p. 47-84 y 225-273.
- De Carvalho, S. I. C.; Vilela, L.; Karia, C. T. y Spain, J. M. 1989. Estratégias de recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*; pesquisa em andamento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) y Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Planaltina D.F., Brasil.
- Dias Filho, M. B. y Serrão, E. A. S. 1987. Limitações de fertilidade de solo na recuperação de pastagem degradada de capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) em Paragominas, na Amazonia Oriental. Boletim de pesquisa no. 87. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) y Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), Belém, Brasil.

- FIBGE (Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística). 1980. Censo da Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística.
- Lascano, C. y Estrada, J. 1989. Long-term productivity of legume-based and pure grass pastures in the Eastern Plains of Colombia. Proceedings of the Sixteenth International Grassland Congress, Niza, Francia, 1988. Association Française pour la Production Fourragère, Montrouge, Francia. p. 1179-1180.
- Ramírez, A. y Seré, C. 1989. *Brachiaria decumbens* en el Caquetá: Adopción y uso en ganaderías de doble propósito. Documento preliminar. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Serrão, E. A. S. 1988. Pasturas mejoradas en áreas de bosque húmedo brasileño: Conocimientos actuales. En: Sierra, O. P. (ed.). Sexto Encuentro Nacional de Zootecnia y Segunda Conferencia Nacional de Producción y Utilización de Pastos y Forrajes. AZOOVALLE, Palmira, Colombia. p. 43-85.
- _____ y Toledo, J. M. [1989]. Search for sustainability in Amazonian pastures. En: Anderson, A. (ed.). Alternatives to deforestation: Steps towards sustainable utilization of Amazonian forest. Columbia University Press, Nueva York. (En impresión.)
- _____; Falesi, I. C.; Veiga, J. B. y Teixeira Neto, J. F. 1979. Productivity of cultivated pastures in low fertility soils of the Amazon of Brazil. 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. 195-225.
- Silva, A. B. y Magalhaes, B. P. 1980. Insetos nocivos as pastagens no Estado do Pará. Boletim de pesquisa no. 8. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) y Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (CPATU), Belém, Pará, Brasil.
- Spain, J. M. y Salinas, J. G. 1985. A reciclagem de nutrientes nas pastagens tropicais. En: Cabala-Rosand, P. (ed.). Reciclagem de nutrientes e agricultura de baixos insumos. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC) y SBCS, Ilheus, Brasil. p. 259-299.
- _____ y Pereira, J. M. 1985. Sistemas de manejo flexible para evaluar germoplasma bajo pastoreo: Una propuesta. En: Lascano, C. y Pizarro, E. (eds.). Evaluación de pasturas con animales: Alternativas metodológicas. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) y Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 85-97.
- _____; Gualdrón, G. R.; Perdomo, C. y Avila, P. 1989. Effect of rate and placement of phosphorus on the establishment of legume-based tropical pastures on Oxisols. En: Proceedings of the Sixteenth International Grassland Congress, Niza, Francia, 1988. Association Française pour la Production Fourragère, Montrouge, Francia. p. 47-48.

Toledo, J. M. y Morales, V. A. 1979. Establishment and maintenance of improved pastures in the Peruvian Amazon. 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. 177-194.

_____ y Serrão, E. A. S. 1982. Pasture and animal production in Amazonia. En: Hecht, S. B. (ed.). Amazonia: Agriculture and land use research. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 282-309.

C

**Perspectivas de Sistemas de
Producción en el Desarrollo de
Tecnologías de Establecimiento
de Pasturas**

Problemas y Limitaciones del Establecimiento de Pasturas en el Ambito de la RIEPT

Raúl R. Vera y Silvio Guzmán

Introducción

Hasta el presente, las etapas de evaluación de pasturas seguidas por la RIEPT no incluyen, por lo menos formalmente, las investigaciones de apoyo en el trabajo de establecimiento de pasturas. Sin embargo, el establecimiento y desarrollo exitoso de las pasturas es un problema real a nivel de la finca, que ha sido diagnosticado repetidas veces en las investigaciones adelantadas en los predios de los productores, tanto en el marco de la RIEPT como en la RISPAL (Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal de América Latina), y en instituciones similares.

Como ha ocurrido con muchas otras investigaciones relacionadas con pastos, se debe preguntar, en primer lugar, si un problema puede considerarse hasta tal punto general que se inserte en el enfoque de red seguido por la RIEPT. Este enfoque supone las economías de escala y la complementariedad mutua de las instituciones que integran la red, y aunque no pueda contribuir a solucionar problemas específicos de ciertas regiones o sistemas de producción, sí desarrolla principios generales que tendrán validez dentro de extensas regiones de influencia de la RIEPT. Si se logra identificar y resolver estos problemas, sólo una etapa—el ajuste final de la tecnología—faltará por cumplir, etapa que debe realizarse en cada uno de los países que componen la red.

El objetivo de este trabajo es, en consecuencia, hacer una primera aproximación a ese proceso de identificación; la discusión que seguirá al trabajo permitirá precisar aquellos problemas que son compartidos

Raúl R. Vera es zootecnista, investigador principal en sistemas de producción de ganado del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia. Silvio Guzmán es zootecnista M.Sc., fue asociado de investigación en el mismo Programa, y actualmente es investigador del ICA en la Estación Turipaná, en Montería, Colombia.

por más de una región o país, cuya solución se halla más ventajosamente en el marco de una red. En segundo lugar, este trabajo pretende ser una introducción general a los estudios de caso que lo seguirán.

Extensión del Problema

El hecho de que el tema central de esta reunión se refiera al proceso de establecimiento de las pasturas es, por sí solo, un reconocimiento de que este problema se ha generalizado. Ahora bien, el examen detallado de los documentos que los países miembros de la RIEPT presentaron en la última reunión de la red realizada en David, Panamá, en abril de 1987, confirma esa conclusión. Aunque tanto el diagnóstico de la situación ganadera de los países participantes de la red como la identificación de sus problemas y prioridades específicas se trataron allí con más o menos detalles, prácticamente todos los documentos presentados reconocen, implícita o explícitamente, que el establecimiento de pasturas tendrá importancia en la investigación futura. En efecto, el Cuadro 1 señala una coincidencia de opiniones al respecto, aun admitiendo la notable variabilidad de los agroecosistemas que atiende la RIEPT hasta el presente. Para poder generalizar, el Cuadro 1 incluye un número reducido de ecosistemas y de fisiografías; asimismo, algunos de los países incluidos en el Cuadro poseen otros ecosistemas, pero se consideraron solamente los contenidos en los documentos originales.

El Cuadro 1 sugiere que, en general, hay coincidencia sobre la prioridad del problema del establecimiento de pasturas en las partes altas y bien drenadas del trópico húmedo; este ecosistema se encuentra, en diferente medida, en todos los países integrantes de la RIEPT incluido Venezuela, aunque su informe (en David) no lo considere.

Los países que poseen sabanas, sean éstas originales o derivadas, mencionan también el problema del establecimiento, aunque no con la misma urgencia con que se discute en el trópico húmedo. Esta impresión hace la lectura de los documentos respectivos. Como se verá más adelante, la naturaleza del problema varía según el modelo de desarrollo adoptado en cada país, el cual deriva de la política agropecuaria implementada por los gobiernos respectivos.

Cuadro 1. Países de la RIEPT que en 1987 identificaron los problemas de establecimiento de pasturas como una de sus prioridades futuras de investigación.

País	Fisiografía ^a				
	Trópico húmedo ^b		Cerrado, sabanas, o PND ^c	Región del cacao, Brasil ^d	Laderas m.q.
	Tierra firme	Bajos o vegas			Trópico sh. y sa.
Brasil	+	+	+	(+)	
Colombia	+	+	+		
Costa Rica	[+]				(+)
Cuba	+		+		
Ecuador	+				[+]
El Salvador	+				
Guatemala	+				+
Honduras	(+)				+
México	+		+		+
Nicaragua	(+)				
Perú	+				
Panamá	+		+		+
Rep. Dominicana	+		+		+
Venezuela			+		

a. (+) = alusión marginal a problemas de establecimiento; [+] = opinión del autor; m.q. = montañosas y quebradas; sh. = subhúmedo; sa. = semiárido.

b. Aproximadamente, 500 millones de hectáreas.

c. Cerca de 200 millones de hectáreas; PND = pastos nativos derivados.

d. Cerca de 9 millones de hectáreas.

La fisiografía denominada de laderas es una categoría muy heterogénea y pobremente definida. Hasta el momento, la RIEPT no dispone de estudios en escala continental de estas regiones, que permitan precisar, con mayor rigor, los límites de dicha fisiografía y sus características. En el Cuadro 1 se agruparon, arbitrariamente, en zonas que van desde onduladas hasta muy quebradas, los terrenos con pendiente en que se desarrollan pasturas; todos llegan hasta los 1500 msnm porque hasta esa altura, y en igualdad de condiciones, las forrajeras tropicales evaluadas por la RIEPT poseen un grado de adaptación aceptable. En esta agrupación están entonces las laderas andinas de América del Sur y las topografías quebradas de la mayor parte de América Central, admitiendo que no es posible definir con precisión la transición hacia el trópico bajo que se presenta en la mayoría de los casos. Una definición funcional de esta ecología podría derivarse del análisis hecho al

desempeño comparativo del germoplasma evaluado por la RIEPT en ambos subcontinentes (América del Sur y América Central). Conviene señalar, por último, que los documentos de la reunión de Panamá son poco precisos en lo que respecta a este tema.

Aproximadamente los mismos comentarios pueden hacerse sobre el trópico subhúmedo (Cuadro 1); como en el caso anterior, hay superposiciones entre este ecosistema y las regiones de ladera.

Tipos de Problemas

Los documentos de David, Panamá, facilitan también una primera aproximación a la definición de los problemas específicos encontrados en el establecimiento de praderas, en toda la región cubierta por la RIEPT.

Los detalles a que se ha descendido en esta discusión varían entre uno y otro de los documentos presentados. La información resumida en el Cuadro 2 es un poco arbitraria, y será complementada con la que se encuentra en otros capítulos de esta obra. Sin embargo, sirve de base para discutir los factores implicados en el establecimiento de una pastura, y definir los que son comunes a todos los participantes de la RIEPT; sólo éstos justifican las acciones complementarias de investigación aplicada que la Red inicie.

El estudio del Cuadro 2 indica claramente que la demanda de nuevo germoplasma adaptado es general en todo el trópico americano; este hecho es la razón de ser de la RIEPT. Los documentos de David sugieren que, a pesar del número considerable de ensayos ERA y ERB ya establecidos, es necesario continuar la evaluación sistemática de nuevas accesiones. Se recomienda, por tanto, que en aquellas regiones donde los problemas de establecimiento son de alta prioridad, el proceso de evaluación temprana del nuevo germoplasma deberá definir las variables de éste que tengan influencia en su establecimiento exitoso como especies forrajeras; además, deberá indicar el modo de medirlas. En este campo ya se han logrado algunos avances; en Carimagua, por ejemplo, las evaluaciones de categoría II se hacen permitiendo la competencia de la vegetación nativa con las especies introducidas, las cuales se siembran en franjas dentro de la sabana no perturbada pero sometida a cortes periódicos.

Cuadro 2. Tipos de problemas prioritarios identificados en el establecimiento de pasturas.

País	Fisiografía			
	Trópico húmedo		Región del	Trópico subhúmedo
	Tierra firme	Bajos o vegas		
Brasil	Germ, Mal, Met, Sist	Germ, Mal, (?)	Germ, (?)	y semiárido
Colombia	Germ, Mal, Met, Sist		—	
Costa Rica	[Germ, Mal, Met, Sist]			
Cuba	Germ, Disp, Met, Nut	Disp, Nut, Met, Germ		
Ecuador	Germ, Mal, Sist			
El Salvador	Germ, (?)			
Guatemala	Germ, Disp, Mal, Nut			
Honduras				
México	Germ, Mal			
Nicaragua	Germ, Mal, Disp	Disp, Germ		
Venezuela				
Perú	Germ, Mal, Met			
Panamá				
Rep. Dominicana	Germ, Mal, Nut	Mal, Germ, Disp, Comp		
Cal	= calidad de la semilla	Nut	=	nutrimentos limitantes en el suelo o falta de aplicación de insumos
Comp	= competencia con cultivos	Pen	=	
Disp	= disponibilidad de semillas	Sist	=	pendiente o erosión
Germ	= germenoplasma adaptado	Sue	=	
Mal	= malezas	Comp2	=	establecimiento en sistemas agrosilvopastoriles
Man	= manejo después de la siembra	[]	=	
Met	= métodos de siembra (incluye asociación con cultivos)	(?)	=	preparación de suelos
			=	
			=	competencia de especies nativas
			=	
			=	opinión de los autores
			=	
			=	problema aparente, poca información
			=	
			=	

En muchos casos—ya sea en países o en regiones dentro de ellos—no es posible separar con nitidez el problema de la disponibilidad de semilla (Disp, en el Cuadro 2) y el de la calidad de la semilla (Cal). En muchos países y ecosistemas, la actividad de la RIEPT y de otras instituciones de investigación ha identificado especies y accesiones forrajeras adaptadas; no obstante, la disponibilidad de semilla (sexual o vegetativa) de calidad aceptable de esas forrajeras es un problema cuya solución se ve lejana.

El problema de las **malezas** (Mal, en el Cuadro 2) es común a todo el trópico húmedo, y comprende todo tipo de especies no sembradas, desde las gramíneas nativas o naturalizadas y las especies herbáceas de hoja ancha, hasta las especies arbustivas nativas. Las causas de la degradación de las pasturas, particularmente en el trópico húmedo, han sido discutidas ampliamente en esta obra. Algunos documentos de David, Panamá, así como otros disponibles en la literatura, indican que los productores reales emplean diversas estrategias de control de estas especies de malezas. La más drástica, adoptada en algunas regiones de América Central, es la aplicación generalizada de herbicidas hormonales y de contacto. Esta estrategia tiene obvias implicaciones negativas en la introducción de leguminosas; al presente, sin embargo, la RIEPT dispone de un reducido número de leguminosas que toleran, o definitivamente resisten, algunos productos hormonales (Ferguson y Sánchez, 1986). En otras regiones, dependiendo de los costos relativos de la mano de obra, de su disponibilidad, y del costo de los herbicidas, se aplica una combinación de limpieza manual, de aplicación localizada de los herbicidas, y de quema de la pradera.

Este último método, la quema controlada, se emplea tanto antes como durante el período de establecimiento de la pastura, en los sistemas extensivos de sabana y en las regiones de colonización del trópico húmedo y de las laderas; sería, por tanto, muy deseable que cuando se evalúa el germoplasma empleado en diversas técnicas de establecimiento, la quema se estudie siempre como uno de los tratamientos aplicados. Afortunadamente, hay limitada evidencia hasta el momento de que algunas de las leguminosas más promisorias (*Stylosanthes* spp., *Centrosema* spp.) tengan mecanismos de supervivencia a la quema, tanto en las sabanas (Alejo et al., 1988) como en el trópico húmedo.

Otro aspecto relacionado con las malezas merece ser mencionado. Es el diferente peso asignado a este problema, a nivel de la finca, en las sabanas brasileras, colombianas y venezolanas. Poca importancia tienen las malezas para los productores colombianos, en tanto que en los otros dos países se las menciona insistentemente. La diferencia está, sin duda, en la presencia de algunos cultivos anuales (arroz, maíz, sorgo, soya) que si bien dejan efectos residuales favorables, como el control de la vegetación nativa y el enriquecimiento del suelo por las aplicaciones de cal y de fertilizantes, también favorecen, por medio de estos mismos mecanismos, la aparición de malezas que no son comunes en la vegetación nativa.

Sorprende también la muy escasa mención de la **competencia** (Comp, Cuadro 2) con los cultivos asociados, como factor que afecta el establecimiento de los pastos en las fincas, a pesar de que la siembra de pastos con cultivos es común en todas las fisiografías consideradas. Este fenómeno puede afectar negativamente ambos componentes. En efecto, hay evidencias experimentales de que, por ejemplo, la siembra simultánea de especies forrajeras agresivas con cultivos como yuca es altamente perjudicial para el rendimiento del cultivo; en cambio, hasta el momento no hay informes de que las especies o accesiones de la RIEPT hayan sufrido pérdidas significativas durante su establecimiento por causa de la competencia de los cultivos asociados. No obstante, en la medida en que estas investigaciones avancen, este tipo de competencia se presentará con más frecuencia.

Hay otro aspecto, de importancia relativamente menor, que también deberá tenerse en cuenta cuando se estudie el establecimiento conjunto de pastos y cultivos: es el rendimiento y la calidad de los residuos y rastrojos del cultivo. En algunas regiones de América Latina, tanto este rendimiento como el grano que produzcan los cultivos tienen un considerable valor; asimismo, la interacción entre la cantidad, o calidad, de los residuos dejados en el campo y el éxito en el establecimiento de los pastos asociados con los cultivos será de gran magnitud (Ramírez y Kessler, 1988).

Los problemas relacionados con suelos, tales como el bajo status de **nutrimentos** en los Oxisoles y Ultisoles, y el escaso uso que se hace en las fincas de los fertilizantes cuando se establecen los pastos (ver

Nut, Cuadro 2) también llaman la atención. Los problemas nutricionales son más difíciles de diagnosticar en la finca que otros como las malezas o la competencia excesiva, y tal vez el hecho de que sean mencionados más frecuentemente en el ecosistema de sabana esté relacionado con los conocimientos existentes sobre los suelos de este ecosistema. El status nutricional del suelo no debe separarse, en la mayoría de los casos, de la competencia entre pastos y cultivos asociados.

En los Llanos Orientales de Colombia los ganaderos han adquirido conciencia de la necesidad de aplicar fertilizantes (especialmente P) al momento de establecer pastos, y otro tanto ocurre en Venezuela gracias a que en este país hay subsidios para los fertilizantes. Casi en todos los demás casos, los pastos recientemente establecidos sólo tienen acceso a los efectos residuales de los fertilizantes aplicados a los cultivos que los han precedido o que están asociados con ellos. En el trópico húmedo esos pastos deben, por lo general, utilizar los nutrimentos reciclados a partir del bosque original. De persistir, como es previsible, esta situación, las estrategias de investigación deberán adaptarse, en el futuro, a esta realidad. Se prestará, por tanto, mucha más atención a la interfase cultivos-pastos, y a los efectos que ella tiene en el rendimiento de ambos componentes del sistema de producción.

En el Cuadro 2 no hay una referencia explícita al efecto de las plagas en el establecimiento de las pasturas tropicales. Como hipótesis, algunas plagas y enfermedades son difíciles de diagnosticar a nivel de la finca, particularmente cuando el daño no es extremo. Sin embargo, hay diagnósticos de los sistemas de producción y de las pruebas hechos en las fincas que señalan el efecto dramático de algunas plagas. En efecto, muchos de los fracasos en el establecimiento de pasturas a base de *Andropogon gayanus* en los Llanos Orientales de Colombia parecen estar asociados con las hormigas cortadoras de hojas; en el Cerrado brasileño, en cambio, esta asociación ha sido controvertida. Se ha recibido también un número creciente de informes de los Llanos colombianos—y del Caquetá, trópico húmedo de Colombia—indicando que los ataques del salivazo en la etapa de establecimiento de *B. decumbens* pueden estar relacionados con pérdidas significativas de la grámínea en las fincas. En todo caso, estos aspectos requieren mayor atención ahora que en el pasado.

Métodos y Sistemas de Establecimiento

Los métodos de establecimiento de pasturas aplicados en las fincas tienen suficiente importancia como para considerarlos separadamente. Tienen efecto por sí mismos en el grado de éxito del establecimiento, y también afectan la elección de especies forrajeras adecuadas y el uso de insumos químicos y de la mano de obra.

Los ejemplos aquí incluidos resaltan sólo algunas situaciones muy contrastantes de las condiciones halladas en las fincas.

La Figura 1 ilustra algunos de los métodos de establecimiento de pasturas más comunes en el trópico húmedo, particularmente cuando los pastos siguen a la tumba del bosque original o del secundario, inmediatamente o pocos años después de dicha tumba. Como es ya sabido, el establecimiento de cultivos y pastos, en esas regiones, se beneficia del reciclaje de nutrimentos inducido por la quema. Sin embargo, en el Napo, Ecuador, el proceso común de establecimiento se caracteriza por la siembra de los pastos seguida más tarde, pero no siempre, por la quema. Aunque se carece de estudios comparativos, tal vez los criterios con que se escogen las especies forrajeras en ambas circunstancias son diferentes; factores como el status de nutrimentos del suelo, la competencia por la luz con las malezas, y otros deben diferir sustancialmente de una región a otra. Además, los riesgos a que está expuesto un establecimiento exitoso en ambas regiones también difieren.

Predomina también el método de establecimiento de pastos asociados con cultivos en la mayoría de los ecosistemas incluidos en la comparación de la Figura 1. Habría, por tanto, claras ventajas comparativas, y una relación de mutuo complemento, si se estudia este método a nivel de la Red; en la discusión de prioridades este asunto debería considerarse en detalle, ya que las asociaciones maíz/pastos o arroz/pastos parecen ser muy comunes.

Otro aspecto del establecimiento que merece atención es la siembra manual, practicada generalmente, pero no exclusivamente, en el trópico húmedo y en regiones de colonización. Con frecuencia, en esta siembra se utiliza semilla vegetativa, en lugar de sexual, y hay

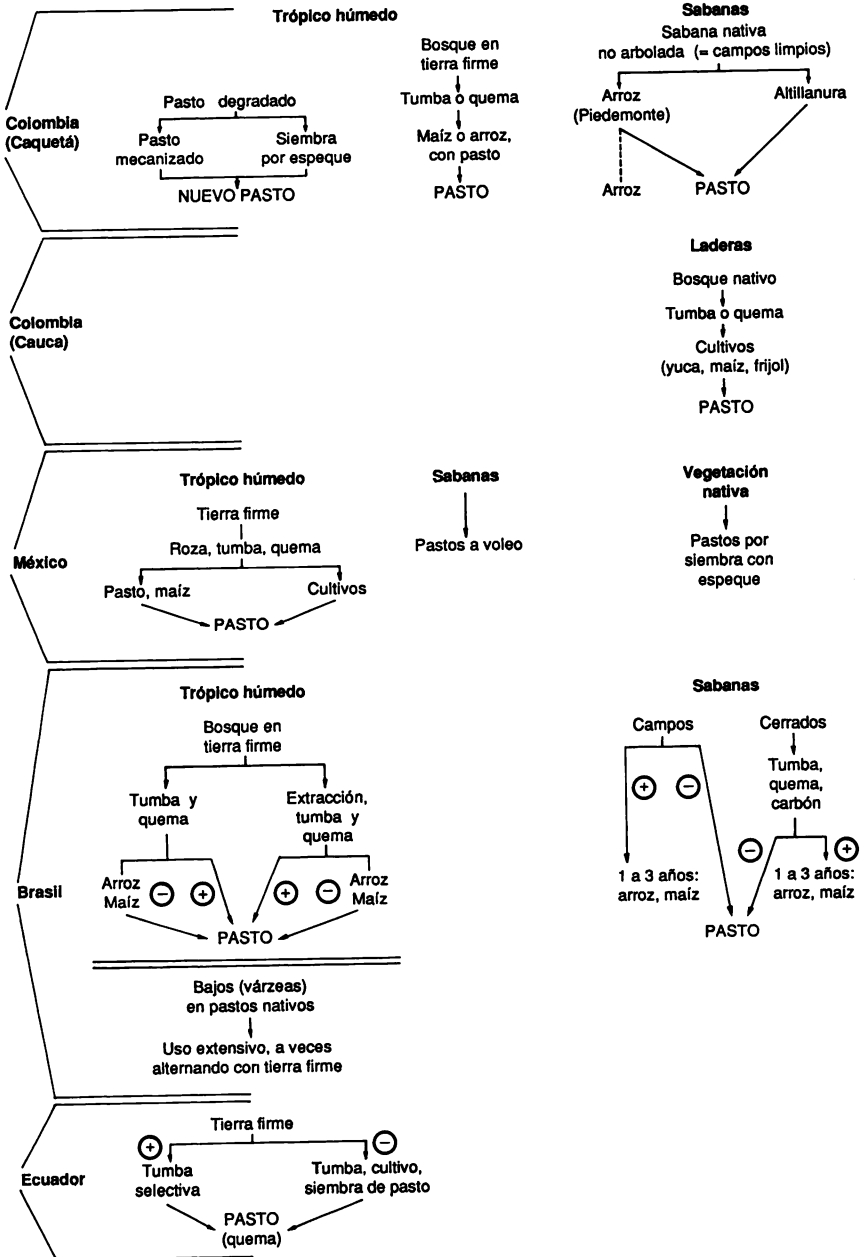


Figura 1. Métodos comunes de establecimiento de pasturas comunicados por la RIEPT.
 ⊖ método menos frecuente; ⊕ método más frecuente.

controversia sobre los motivos que tienen los productores para usarla. En algunas regiones se argumenta que la escasez de semilla sexual de buena calidad es uno de esos motivos; es muy probable también que haya una reducción de los riesgos de establecimiento y de la duración de este proceso cuando se siembra material vegetativo. Sin embargo, la operación emplea mano de obra que es costosa y cuya disponibilidad se reducirá probablemente en el futuro.

Cuando se establecen pastos en zonas o ecosistemas que presentan riesgos climáticos (sequías a destiempo), bióticos (malezas), y físicos (erosión) muy notorios, debería estudiarse seriamente la siembra de mezclas de gramíneas y leguminosas. Se entiende aquí por mezcla la integrada por más de una gramínea y de una leguminosa, de características complementarias. Por ejemplo, una leguminosa de rápido establecimiento, aunque sea anual o bianual, junto con leguminosas perennes de establecimiento más lento, tendría claras ventajas desde el punto de vista de la competencia con las malezas y del control de la erosión; lo mismo puede ocurrir si se incluye más de una gramínea en la pastura. De hecho, la mezcla de *B. decumbens* y *B. humidicola* es ya una práctica bastante común en varias partes del Estado de Zulia, Venezuela.

Conclusiones

Se han resumido aquí evidencias de que muchos de los problemas relacionados con el establecimiento de pasturas, a nivel de la finca, son similares en los países que integran la RIEPT. La identificación clara y la agrupación de estos problemas en diferentes ecosistemas contribuirá a establecer las necesidades de investigación básica y aplicada de la RIEPT en lo que respecta al establecimiento y la renovación de pasturas.

Referencias

- Alejo, A. P.; Rodríguez, A. G. y Fisher, M. J. 1988. Tolerancia de *Stylosanthes capitata* a la quema en los Llanos Orientales de Colombia. Pasturas tropicales (CIAT) 10(1):2-7.

Ferguson, J. E. y Sánchez, M. 1986. El control integrado de malezas en la producción de semilla de forrajeras. Trabajo presentado en el Segundo Curso Intensivo sobre Producción de Semilla de Pastos Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. (Mimeografiado.)

Ramírez, L. y Kessler, C. D. 1988. Establecimiento de pastos en la zona henequenera de Yucatán, México. *Pasturas tropicales* (CIAT) 10(2):26-29.

Costos y Riesgos en el Establecimiento de Pasturas Tropicales

Andrés Aluja, Carlos Seré y Libardo Rivas

Introducción

La producción de carne y leche en las regiones tropicales ha estado basada en el pastoreo de extensos potreros naturales. Desde hace algunos años se hace un esfuerzo para incrementar la productividad de esas regiones mediante la introducción de tecnologías; el propósito de éstas es elevar el nivel nutricional de los pastos estableciendo variedades forrajeras mejoradas.

El establecimiento de praderas se considera una inversión en la cual se utilizan recursos (insumos, mano de obra) con el fin de producir un bien de capital (la pastura) que, si es apropiadamente manejado, generará beneficios en una serie de períodos posteriores.

Este capítulo analiza concretamente la inversión, es decir, la aplicación de los recursos necesarios para que la pastura empiece a producir. Por lo tanto, es sólo el análisis de una presupuestación parcial que incluye las alternativas posibles para el establecimiento de una pradera perenne con una productividad determinada; el análisis considera aquí las opciones factibles que reducen la inversión bajo la premisa de que los recursos utilizados son limitados. Sin ser exhaustivo, este análisis presenta ciertos puntos que ayudan a identificar los ‘cuellos de botella’ del flujo de caja, y propone algunas áreas que los investigadores deben considerar para tratar de reducir los costos o los riesgos—o ambos—a fin de incrementar la rentabilidad de la inversión, factor crítico en la adopción de tecnología.

Andrés Aluja es profesor de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México. Carlos Seré, anteriormente economista del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, Cali, Colombia, trabaja actualmente en Uruguay (Casilla de correos 18944, 11.500 Montevideo). Libardo Rivas es economista M.Sc., asociado de investigación del mismo Programa del CIAT.

Estructura de Costos del Establecimiento de Pasturas

Cuando el productor agropecuario decide establecer una pastura, tiende a aplicar un análisis económico marginal, es decir, compara los costos adicionales con los beneficios adicionales. El punto de partida del análisis es un productor que tiene una explotación ganadera en funcionamiento, y decide cubrir un área limitada de su propiedad con mejores especies forrajeras.

A. Categorías de costos más frecuentes

Costo de oportunidad de la tierra

Esta categoría se refiere al ingreso que deja de percibir la unidad de producción por dedicar cierta área al establecimiento de praderas en vez de dedicarla a algún otro cultivo o uso. Puede considerarse también como el costo adicional en que incurre un productor cuando necesita rentar un área equivalente a aquella para mantener el ganado durante el establecimiento de la pastura, o como el costo de alimentar ese ganado en condiciones especiales de suplementación o estabulación. De las alternativas mencionadas, la más interesante es la de menor costo.

En condiciones de ganadería extensiva, este concepto no es, generalmente, de alta incidencia en la estructura de costos; lo es, en cambio, en ganaderías intensivas o en proceso de intensificación. En estos casos se pueden aplicar las siguientes prácticas de manejo para reducir los costos:

- a. Sembrar cultivos anuales remunerativos asociados con el pasto que se establecerá, por ejemplo: 1) maíz-*Brachiaria* en la zona andina (Ramírez y Seré, 1988); 2) maíz-*Andropogon* en la costa norte de Colombia; 3) arroz-*Brachiaria* en los Cerrados de Brasil (Vera y Seré, 1985); 4) sandía-*Brachiaria* en Venezuela.
- b. Cuando se trata de un pasto de propagación vegetativa, se puede disminuir el período de establecimiento del potrero—o sea, aquél

en que no se puede utilizar el forraje—plantando con mayor densidad de población.

Es importante también tener presente que el costo de oportunidad varía de acuerdo con el tipo de tierra. En regiones de pendientes pronunciadas, de suelos pesados o que tengan problemas de acidez, la posibilidad de establecer otros cultivos es remota, por lo que el costo de oportunidad disminuye. En cambio, si las tierras son apropiadas, por su calidad y topografía, para producir cultivos de alto valor económico, el costo de oportunidad es alto. Es recomendable, por tanto, desarrollar tecnologías que permitan dedicar a otros cultivos los terrenos de bajo valor económico; así se evitan altos costos de oportunidad.

Preparación del terreno

En un terreno que ya ha sido desmontado y se está preparando para la siembra de las especies forrajeras, se consideran generalmente tres actividades principales:

- Limpieza o corte de la vegetación secundaria, y quema.
- Arada.
- Rastrillada.

El costo variable de estas actividades varía según diversos aspectos; los siguientes sirven de ejemplo:

- La superficie que se va a preparar.
- El nivel de fertilidad del suelo.
- La maquinaria que se empleará, ya sea propia o alquilada.
- La mano de obra disponible.
- La competencia de otros cultivos.
- La época del año en la cual se hace la preparación.

Los costos de preparación del terreno son más críticos en aquellas regiones donde la competencia con otras actividades agrícolas es mayor; esto ocurre especialmente cuando las épocas de siembra son muy cortas a causa de las condiciones climatológicas. Por ejemplo, en regiones donde los patrones de lluvia son notoriamente bimodales, los períodos de preparación y de siembra son muy cortos; la demanda de

mano de obra y de maquinaria, por tanto, es alta y su costo (sobre todo si ésta es alquilada) llega a ser elevado. En aquellas regiones donde las lluvias son muy erráticas, la demanda de mano de obra y de maquinaria será también alta en el período en que se reúnan las condiciones climatológicas adecuadas para el trabajo agrícola. A continuación se mencionan algunas estrategias que disminuirían esos costos:

- a. Elegir la época de siembra: sembrar antes, o después, de la época de mayor actividad agrícola cuando hay una estación lluviosa larga y bien definida.
- b. Reducir el laboreo al nivel mínimo: trabajar el suelo en el tiempo óptimo, no sobreprepararlo, emplear técnicas de labranza mínima (y aun ninguna labranza) aplicando racionalmente herbicidas, y combinar esas técnicas con otras labores culturales.
- c. Combinar el establecimiento de los pastos con un cultivo.
- d. Aceptar un establecimiento más lento de la pastura con menor preparación (o sin preparación). Por ejemplo, plantar *B. decumbens* vegetativamente, sin preparación del suelo, en pasturas naturalizadas de *Paspalum* spp. y de *Homolepis aturensis*, en el piedemonte amazónico colombiano (Ramírez y Seré, 1988).
- e. Establecer la pastura después de la quema en las zonas de vegetación boscosa, donde es posible hacerlo sin preparar el suelo e inclusive asociándola con otros cultivos.

Costo de la fertilización

Este costo es fácil de calcular a partir de la cantidad de fertilizante aplicado y de los precios de mercado corregidos respecto al valor del transporte en el momento del establecimiento. Sin embargo, la fertilización es todavía una práctica poco común en las praderas del trópico debido a su alto costo.

Este costo se puede mantener bajo, o puede anularse, si se siembran especies forrajeras de bajos requerimientos nutricionales, si se aprovecha la fertilidad residual del suelo, o si se aplican los fertilizantes en bandas o en líneas; esta última práctica puede ser útil al menos durante la etapa de establecimiento.

En los últimos años, el CIAT y otras instituciones han hecho un esfuerzo para identificar leguminosas forrajeras que, además de elevar la calidad nutricional de la dieta ofrecida al ganado, ayudan en la fijación del nitrógeno atmosférico para las gramíneas. Sin embargo, los resultados han sido variables por las siguientes razones: la competencia entre leguminosas y gramíneas, la preferencia del ganado por algunas especies forrajeras y, en algunos casos, la especificidad de las cepas de *Rhizobium* respecto a las especies de leguminosas. Este último tema se discute en el capítulo "Manejo del ambiente microbiológico del suelo".

Costo de la siembra

Según el tipo de material forrajero seleccionado, es posible establecer potreros mediante semilla sexual o estructuras vegetativas. Los pastos estoloníferos, rizomatosos o amacollados, que pueden plantarse vegetativamente, tienen la ventaja de que el costo incluye solamente el establecimiento y el mantenimiento del semillero, y luego el corte y acarreo de partes vegetativas, y su 'siembra'. Todas estas actividades requieren empleo intensivo de mano de obra y pocos insumos comprados. En las condiciones del trópico húmedo, particularmente, el establecimiento de una pastura con material vegetativo es menos riesgoso que con semilla sexual.

En este último caso, hay aspectos tales como la pureza y el porcentaje de germinación de la semilla que son difíciles de determinar directamente por el productor. Es recomendable obtener la información sobre las pruebas de germinación y de pureza antes de sembrar, para ajustar las densidades de siembra a la calidad de la semilla con que se cuenta.

Los investigadores deben dar prioridad a la producción de semilla, es decir, a la obtención de cultivares que produzcan buena semilla, a las tecnologías eficientes de cosecha, y a las técnicas adecuadas para preservar la semilla. En algunos casos, este progreso ayudará al productor agropecuario a producir directamente su propia semilla, como ha ocurrido con *A. gayanus*, *S. capitata* y *P. phaseoloides*.

Costo del control de malezas

Las malezas determinan en cierto modo el éxito o el fracaso del establecimiento de potreros y de su productividad posterior. Su presencia varía según el tipo de terreno, los cultivos sembrados anteriormente en esa región, y el tipo de manejo que éstos recibieron.

Cuando los suelos son de baja fertilidad o los terrenos fueron utilizados para cultivos agrícolas—o los potreros anteriores fueron sobrepastoreados—entonces las malezas proliferan, y deben controlarse mediante limpieza manual, o con herbicidas cuando hay siembras puras de forrajeras. Si se establecen asociaciones de gramíneas y leguminosas, el control de malezas es más complicado porque se limita más el uso de los herbicidas.

Algunas estrategias para mantener bajo el costo de este factor son el pastoreo inicial controlado, la siembra y la fertilización en épocas poco propicias para las malezas, y la aplicación de herbicidas en las épocas críticas del ciclo de crecimiento de las malezas.

Costo de la mano de obra

La mano de obra debe valorarse según su precio de mercado (precio de contrato o jornal) si es contratada, o según su costo de oportunidad si es familiar. Para los pequeños productores que trabajan en sistemas mixtos (cultivos y ganadería), el costo de oportunidad de la mano de obra al comienzo de la época de lluvias suele ser muy alto porque la urgencia de establecer los cultivos exige contratar mano de obra. Por esto las pasturas se establecen después de los cultivos.

Los que investigan en pastos necesitan desarrollar tecnologías que tengan en cuenta el factor mano de obra, ya sea empleando con mucha eficiencia este factor en el período lluvioso, o facilitando el traslado de los trabajos que requiere la siembra de pastos a épocas de menor costo de oportunidad (sembrar, p. ej., días antes de la llegada de las lluvias).

Costo de cercas y fuentes de agua

Frecuentemente, el establecimiento de pastos está asociado con la subdivisión de las pasturas con el fin de manejarlas mejor. Este arreglo implica, en ocasiones, la instalación de fuentes de agua adicionales.

Un análisis de rentabilidad del establecimiento de pasturas debe incluir la inversión que éste exija según el sistema de producción predominante o el objetivo del trabajo de investigación. Si las áreas sembradas con pastos son muy pequeñas, como las de los experimentos de pastoreo, el costo de las cercas, por hectárea, tiene una altísima incidencia en el costo total. Si este caso no es representativo de la situación del productor, se están distorsionando los resultados. Asimismo, se considera que las cercas perimetrales deben imputarse, normalmente, por la mitad de su costo puesto que se comparten con otro potrero. Finalmente, en regiones donde las propiedades son tan pequeñas que las cercas no son necesarias, el ganado pastorea amarrado a una estaca con una sogá.

Costo del ganado

Cuando la siembra de pastos trae consigo un aumento de la capacidad de carga, debe tenerse en cuenta la inversión adicional necesaria para la compra de los animales cuando se hacen análisis marginales de rentabilidad. Cuando el presupuesto sólo considera la inversión en pastos, no suele incluir el costo del ganado, particularmente si en las alternativas que se evaluarán las cargas animales son semejantes.

Crédito y costo del dinero

El análisis de los costos de establecimiento es sólo una parte del análisis de la rentabilidad, porque evalúa la fase de inversión en la pastura, prescindiendo del uso que se haga de ésta. Como el análisis se hace normalmente para un período de 10 a 20 años, se supone que todos los gastos de establecimiento ocurren en un punto en el tiempo. Por ello, no se acostumbra imputar intereses en los costos de establecimiento.

Si se supone un beneficio constante para todas las alternativas, es posible hacer un análisis económico tradicional, que incluya cálculos

de rentabilidad, si se computa la tasa interna de retorno (TIR). Así se evita la necesidad de definir una tasa de interés. La TIR representa el interés que genera la inversión propuesta, y éste se compara con el costo de oportunidad del dinero; por ejemplo, la tasa de interés de los créditos que dan los bancos comerciales. Estas tasas se deben ajustar respecto al riesgo de las inversiones que se comparan, y se corrigen según el proceso inflacionario implícito, con frecuencia, en las tasas de interés del mercado.

Otros cálculos de rentabilidad, como el valor presente neto (VPN) o la relación beneficio/costo (B/C), exigen la definición de la tasa de interés que se usará. Además, en ellos tienen cabida las mismas consideraciones sobre el riesgo y la inflación hechas anteriormente.

En los cálculos de rentabilidad debe separarse el análisis de la rentabilidad del proyecto (establecimiento de pastos, en este caso) del análisis de la rentabilidad de los recursos asignados al proyecto por el inversionista (rentabilidad del capital propio). La diferencia entre estos dos análisis radica en el uso del financiamiento externo de la empresa; éste afecta los flujos de caja porque reduce el capital propio inicial que necesita el proyecto y aumenta los egresos por pago de capital e intereses.

El análisis más útil, desde el ángulo de visión del investigador, para evaluar una tecnología es el del retorno al capital total prescindiendo del financiamiento. Si se incluyera éste, se confundiría la eficiencia de la tecnología en sí tanto con el costo del dinero o con el subsidio implícito en el crédito—o con uno y otro—como con la habilidad del productor para obtener ese crédito.

B. Cálculo de costos de establecimiento

Siembra convencional de gramínea-leguminosa en los Llanos Orientales de Colombia

El presupuesto (Cuadro 1) representa los costos de convertir una pradera nativa (sabana) en pastura mejorada. Las condiciones físicas de esos suelos permiten prepararlos con dos pases de rastrillo. En cambio, su baja fertilidad hace necesaria una importante inversión en

Cuadro 1. Costo del establecimiento de una asociación gramínea-leguminosa en los Llanos Orientales de Colombia. Cantidades y valores referidos a una hectárea, en dólares de 1988.

Etapa o variable	Operación o insumo	Cantidad y unidad	Valor unitario (US\$)	Valor total (US\$)	Porcentaje del total
Preparación del terreno	Pases de tractor (rastrillo)	2	16.0 ^a	32.0	19
Siembra	Semilla de <i>A. gayanus</i>	10 kg	3.0	30.0	
	Semilla de <i>S. capitata</i>	2 kg	12.0	24.0	32
	Pase de tractor con voleadora o encaladora	1	16.0	16.0	10
Fertilización	Roca fosfórica	250 kg	0.07	17.0	
	Sulpomag	100 kg	0.22	22.0	23
Mano de obra	Aplicación de fertilizante y siembra	2 jor. ^b	4.0	8.0	5
Duración del establecimiento	Alquiler de 1 ha	6 meses	3.0	18.0	11
Total				167.0	100

a. Costo del contratista.

b. jor. = jornales.

fertilizantes que, a los precios de 1987, representan un 23% del costo total. Este presupuesto no incluye los gastos del control de malezas, porque la importancia de éstas es escasa dadas las condiciones de fertilidad de la sabana nativa antes de la siembra de los pastos mejorados.

La siembra de la leguminosa en asociación con la gramínea implica un costo adicional de US\$24 por concepto de semilla, y de US\$22 por concepto del fertilizante Sulpomag (fuente de S, K, Mg), es decir, US\$46 ó 38% más que la gramínea pura. Este costo adicional de la asociación respecto a la siembra de la gramínea pura es una función del costo de la semilla que, en este caso, equivale a cuatro veces el valor del kilogramo de semilla de gramínea más el del fertilizante adicional que necesita la leguminosa. La RIEPT y el CIAT están trabajando

en la selección de leguminosas de buen potencial de producción de semilla; cuando se liberen estos cultivares, se reducirán los precios de la semilla. Además, en un suelo moderadamente fértil las leguminosas no requieren fertilización adicional. Por otro lado, se está trabajando en el manejo del suelo, en el empleo de micorrizas, y en otras prácticas de cultivo que permitan reducir aún más el nivel de nutrientes requeridos por las plantas.

Establecimiento de la asociación gramínea-leguminosa en Mondomo, Cauca, Colombia

En esta localidad hay pequeños agricultores que siembran en terrenos ondulados. La preparación del suelo se hace con tracción animal (bueyes) y se planta material vegetativo (Cuadro 2). Frecuentemente, el pasto se establece después de un cultivo de yuca fertilizado, y no se fertiliza. Con frecuencia se hace cierto control, ya sea manual o químico, de las malezas provenientes de la historia agrícola del lote. Estos

Cuadro 2. Costo del establecimiento de una pastura asociada (1 ha) de un pequeño productor que planta material vegetativo, en la región de Cauca, Colombia.

Etapas	Costo (US\$)	Porcentaje del total
Preparación del suelo:		
Una yunta de bueyes y un operario (6 días)	58	38
Corte del material vegetativo: 4 jornales	16	11
Acarreo del material vegetativo: 1 jornal	4	3
'Siembra' del material vegetativo: ^a 10 jornales	40	26
Fertilización fosfórica (250 kg/ha):		
Roca fosfórica (US\$68/t, puesta en la finca)	17	11
Control de malezas: 4 jornales	16	11
Total^b	151	100

a. Supone la existencia de un semillero de material vegetativo en la finca o cerca de ella.

b. Cuando la mano de obra y los bueyes son recursos propios, los gastos en efectivo no exceden de US\$17/ha. La asociación exige adicionar US\$24/ha por concepto de la semilla de la leguminosa, y 100 kg del fertilizante Sulpomag a US\$22/ha.

lotes se convierten, generalmente, en pasturas cuando el rendimiento de la yuca desciende a un nivel tal que no se justifica cultivarla de nuevo; permanecen entonces en rastrojo y no se les imputa por ello un costo de oportunidad durante el tiempo que demora el establecimiento. Este tipo de establecimiento está particularmente bien adaptado a las condiciones del pequeño agricultor quien dispone de poco dinero en efectivo.

Además del fertilizante, que a menudo no se usa o que puede aplicarse una vez establecido el pasto, los demás costos son causados por el empleo de los bueyes y por la mano de obra propia. Puesto que la curva de necesidad de mano de obra para los cultivos tiene un pico particular al inicio de la época de lluvias, los agricultores tienden a 'sembrar' los pastos un poco tarde en esa época, cuando el costo de oportunidad es menor. Esta práctica tiene importancia en el diseño de la tecnología apropiada para el sistema de establecimiento; hay que identificar, por ejemplo, materiales que toleren la siembra tardía, y debe sembrarse semilla en vez de plantar material vegetativo para reducir así los requerimientos de mano de obra. La preparación del suelo tiene un alto costo en estas condiciones; se ha observado, por ello, que los agricultores intercalan pasto y cultivos como frijol o maíz, para utilizar más eficientemente el terreno y financiar la preparación del suelo.

Establecimiento de pasturas con cultivo asociado en Caquetá, Colombia

Este tipo de establecimiento es muy frecuente en el trópico húmedo, y refleja la adaptación del agricultor a las características de ese medio (Cuadro 3). El bosque secundario, del cual se parte, ha hecho un efectivo control de malezas y su biomasa, una vez quemada, concede un efímero aumento de fertilidad al suelo. Esta quema permite el establecimiento de la pastura y de un cultivo acompañante sin necesidad de preparar el suelo, etapa que tiene un costo importante en los otros ejemplos descritos.

Se planta material vegetativo y se siembra el cultivo asociado; por consiguiente, se necesita una cantidad mínima de dinero en efectivo, pero se requiere abundante mano de obra. A medida que aumenta el

Cuadro 3. Costo del establecimiento de una pastura asociada con un cultivo en el trópico húmedo, en Caquetá, Colombia.^a

Operación o insumo	Cantidad	Costo (US\$)
Roza y quema (jornales/ha)	6	24
Material vegetativo (jornales/ha):		
– corte	4	16
– acarreo	1	4
– ahoyada	4	6
Siembra manual de gramínea (jornales/ha)	10	40
Semilla de leguminosas (kg/ha)	2	24
Siembra de leguminosas (jornales/ha)	2	8
Control de malezas (jornales/ha)	4	16
Subtotal, gastos pastura		148
Mafz, cultivo asociado:		
– siembra (jornales/ha)	2	8
– cosecha (jornales/ha)	2	8
– desgrane (jornales/ha)	2	8
– empaque (unidades)	16	6
Subtotal, gastos mafz		30
Gastos netos por hectárea:		
– ingreso bruto por mafz (500 kg/ha)		124
– gastos [pastura + cultivo]		-178
– gastos netos		54

a. El suelo en rastrojo no tiene uso alternativo durante el establecimiento.

rendimiento del cultivo, se eleva el atractivo de este método de establecimiento con cultivos asociados. La investigación de estos tipos de establecimiento de pasturas es muy promisoria.

Riesgo en el Establecimiento de Pasturas y en la Producción Ganadera

El establecimiento de pasturas perennes constituye una inversión de mediano a largo plazo. Una vez plantada la pastura, se espera obtener beneficios de su utilización durante períodos más o menos largos de tiempo (cuatro o más años, según su persistencia).

Se define el riesgo como el conjunto de circunstancias que pueden afectar la rentabilidad de una actividad productiva. En el caso específico de la producción ganadera, riesgo sería el conjunto de factores biológicos o económicos que influyen en la rentabilidad de la ganadería, bien sea en la siembra y establecimiento de los pastos, en la etapa de utilización de la pastura, o en la de comercialización de los productos finales (carne o leche).

Hay en la actualidad abundante literatura sobre la incorporación del riesgo en la toma de decisiones de la inversión; a través de ella se han desarrollado y sistematizado diferentes enfoques y procedimientos para tomar decisiones en situaciones de riesgo. Este conjunto de procedimientos se conoce genéricamente como 'análisis de decisión'. En Anderson et al. (1977), Barnard y Nix (1979) y Rodríguez da Cruz (1984) se encuentra un detallado análisis de tales técnicas.

Los riesgos presentes en la etapa de establecimiento de una pastura se consideran como los más críticos del proceso de producción de ganado. No obstante, cuando el productor toma la decisión de invertir en la siembra de una pastura, evalúa todos los riesgos presentes en el proceso productivo; en realidad, la producción de pasto es sólo una fase intermedia de ese proceso, cuyo objetivo final es la producción de carne o leche o de ambas.

Los riesgos que corre el establecimiento de una pastura son fundamentalmente de tipo biológico, y están asociados con la calidad de la semilla, con la presencia de malezas, plagas y enfermedades, y con las condiciones climáticas (Figura 1). Estos factores de riesgo pueden estar correlacionados; por ejemplo, el exceso de lluvias o de humedad puede contribuir a la aparición de plagas y enfermedades en el pasto.

Superada la etapa de establecimiento, aparecen los riesgos relacionados con la utilización de la pastura (el pastoreo), que son de naturaleza biológica y afectan a la pastura y a los animales. En la última etapa del proceso, la comercialización de la producción, surgen riesgos de naturaleza fundamentalmente económica; éstos están relacionados con las condiciones económicas prevalecientes en la época de venta, es decir, con el nivel y la variabilidad de los precios domésticos de los productos ganaderos y, en algunos casos, también de los precios internacionales.

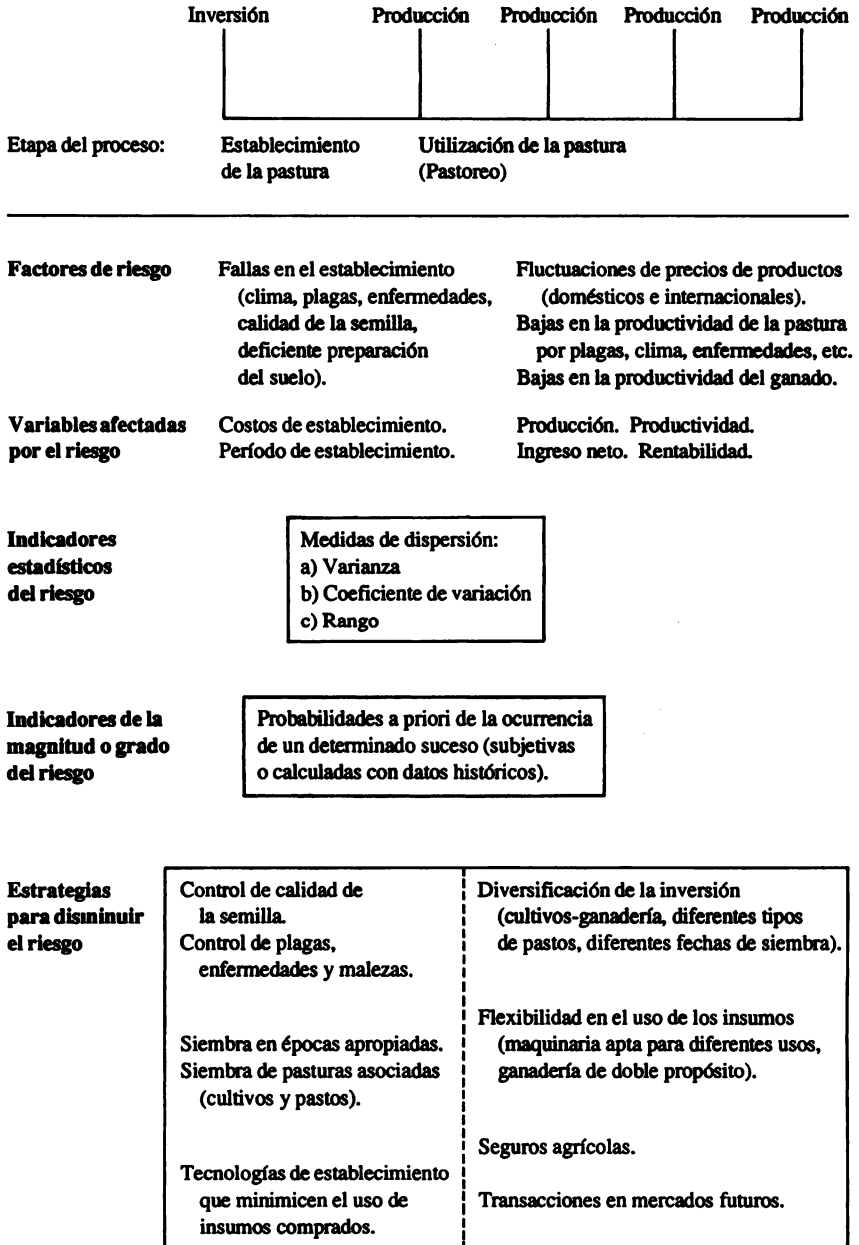


Figura 1. Esquema del modo en que el riesgo afecta el proceso de producción ganadera en una pastura sometida a pastoreo.

Los factores de riesgo antes descritos se reflejan en los costos de establecimiento, la duración del período de establecimiento, la producción animal (carne o leche, o ambas), la productividad (producción/ha), el ingreso neto, y la rentabilidad (retribución económica a los fondos invertidos).

El riesgo se refleja en la variabilidad de los parámetros anteriores; por consiguiente, las medidas de dispersión, como la varianza, la desviación estándar, y el coeficiente de variación se emplean frecuentemente para determinar el riesgo implícito en una opción de inversión.

El riesgo es un fenómeno aleatorio; por tanto, la magnitud o grado del riesgo se expresa en términos de la probabilidad a priori de que ocurra un determinado suceso (probabilidad de un exceso de lluvias, de un precio bajo o de otros eventos).

La valoración del riesgo es un proceso subjetivo, que deriva de la formación psicológica de cada tomador de decisiones, y está afectado por la situación económica de éste; por consiguiente, cuando toma decisiones riesgosas, el productor debe elegir entre alternativas con distintas posibilidades de ocurrencia y con distintos valores esperados. La estrategia óptima será diferente según la actitud adoptada frente al riesgo por cada tomador de decisiones.

Hay numerosas estrategias para reducir el riesgo en las diferentes etapas del proceso de producción ganadera; en la Figura 1 aparecen algunas de ellas. El control de calidad de la semilla (grado de pureza y de germinación), el control de malezas, plagas y enfermedades, la siembra de pasturas asociadas a cultivos, el empleo de técnicas de establecimiento y de mantenimiento de las pasturas que minimicen el uso de insumos comprados, todas estas son estrategias que reducen sustancialmente los riesgos de fallar en el establecimiento de la pastura.

La ganadería extensiva, en particular la que está localizada en áreas marginales, ocupa generalmente tierras de baja calidad que tienen pocas probabilidades de ser usadas por actividades diferentes a la ganadería; en consecuencia, su costo de oportunidad es bajo. Esta característica confiere a esos sistemas un alto grado de inflexibilidad en el uso del recurso tierra; por consiguiente, las estrategias dirigidas a reducir los riesgos inherentes a su utilización (siembra de pastos) son de gran importancia.

El siguiente ejemplo ilustra el efecto de las probabilidades en la toma de decisiones anterior a una inversión. Un productor ganadero que ceba novillos tiene dos alternativas para utilizar un terreno recién desmontado: a) siembra de una pastura asociada gramínea-leguminosa, y b) siembra de una gramínea pura. Se enfrenta entonces a dos situaciones opuestas: que haya un 'buen establecimiento', o que haya un 'deficiente establecimiento' de la pastura.

El productor tiene una idea a priori de la probabilidad de lograr un buen establecimiento o uno malo, basado en su conocimiento del clima. Además, mediante los presupuestos parciales conoce la utilidad neta por hectárea y por año que resulta de la ceba, en situaciones en que el establecimiento es bueno o deficiente. Con esta información se puede construir la siguiente matriz de decisión:

Estado de la pastura	Probabilidad	Alternativas	
		(1) Pastura asociada (ingreso neto, US\$/ha)	(2) Pastura pura (ingreso neto, US\$/ha)
Buen establecimiento	0.3	300	150
Deficiente establecimiento	0.7	70	100
Ingreso neto esperado		139*	115

* Mejor opción para el agricultor que tome decisiones estando indiferente al riesgo.

La matriz indica que la probabilidad de un 'buen establecimiento' es de 0.3 y la de un 'establecimiento deficiente' es de 0.7. Si el productor toma la opción de sembrar pasto mejorado, obtendrá \$300/ha si hay un buen establecimiento, y \$70/ha si éste es deficiente. En estas condiciones, la mejor alternativa, según las probabilidades a priori, es sembrar pasto mejorado, puesto que esta alternativa tiene el mayor ingreso neto esperado, \$139/ha (o sea: $300 \times 0.3 + 70 \times 0.7$).

Suponiendo que el productor obtiene, de los técnicos del servicio de extensión agrícola, una predicción más confiable de que habrá un buen establecimiento o uno deficiente, la situación cambia. Si se predice un

buen establecimiento, la mejor decisión es establecer la pastura asociada (ingreso neto de \$300/ha); si se predice, en cambio, uno deficiente, la mejor decisión es sembrar la gramínea pura (ingreso neto de \$100/ha).

El valor esperado (VE) de este problema de decisión, bajo condiciones de información perfecta, es el siguiente:

$$VE = 300 \times 0.3 + 100 \times 0.7 = 160$$

Este VE significa que si el productor pudiese predecir con certeza, para cada año, que el establecimiento será bueno o malo, y selecciona la mejor alternativa bajo esa condición, tendrá en promedio un beneficio de \$160 por hectárea.

La diferencia entre el valor esperado de la mejor opción cuando hay información imperfecta (\$139/ha) y el valor esperado de este problema de decisión cuando la información es perfecta (\$160/ha) se denomina valor esperado de la información perfecta (VEIP), y su valor es:

$$VEIP = 160 - 139 = 21 \text{ \$/ha}$$

El VEIP es una medida del grado de incertidumbre que enfrentan quienes toman decisiones (Anderson et al., 1977), y representa el valor máximo que el tomador de decisión puede pagar anualmente por un pronóstico perfecto de la condición esperada cada año. Puesto que la mayoría de los pronósticos no son perfectos, deben tener un costo inferior a este valor para que su uso sea económicamente atractivo. Este ejemplo hipotético ilustra el empleo de las probabilidades en la solución de problemas de decisión. Hay una gran variedad de técnicas para abordar estos problemas, pero rebasan los límites de este capítulo.

Intervención en los Mercados para Fomentar el Establecimiento de las Pasturas

Por considerar que es socialmente deseable lograr una rápida expansión del área sembrada con pastos mejorados, algunos gobiernos intervienen los mercados de insumos o de crédito para fomentar la adopción de esos pastos. Entre los argumentos expuestos para justificar esa

acción están el impacto positivo de las pasturas en la conservación de los recursos naturales, y la compensación por las distorsiones que causa ya sea el control de precios de los productos o ya los aranceles aplicados a los insumos importados.

Otro argumento que apoya el crédito subsidiado que se otorga a las pasturas es la conveniencia social de subsidiar el aprendizaje de una tecnología; se cree entonces que es más eficiente hacer esto último por medio de los subsidios dados al crédito o a los insumos—o a ambos—que mediante los programas de extensión.

En muchos casos, estos programas de crédito subsidiado están condicionados, por ejemplo, al uso de determinada tecnología o a la compra de insumos de cierta calidad. Una distorsión, frecuentemente discutida, de esta política es adjudicar el crédito solamente si se siembra semilla de especies forrajeras de "calidad conocida", es decir, producida por el sector semillista establecido o por instituciones públicas. Cuando existe la posibilidad—sobre todo en el trópico seco—de que el ganadero produzca localmente la semilla para establecer la pastura, se tiende a segmentar el mercado y a reducir las opciones del productor. Por ejemplo, si se limpia de tierra la semilla de *B. decumbens*, como lo hacen los 'semillistas modernos', aumenta el costo de la semilla sin que esto represente una ventaja real para el productor; en efecto, si se produjera la semilla en la misma zona en que se usará, sería necesario, de todos modos, agregarle un material inerte para sembrarla.

Evidentemente, todas las intervenciones del mercado que encarecen los insumos o reducen el precio de los productos o aumentan el riesgo de las operaciones, afectarán la rentabilidad de la inversión hecha en las pasturas y, por ende, debilitarán la adopción de éstas.

Conclusiones

El análisis económico aporta una dimensión adicional al análisis técnico de una nueva tecnología de establecimiento de pasturas. El propósito final es que la tecnología generada sea adoptada por los productores ganaderos y produzca un beneficio social.

El análisis económico retroalimenta al investigador biológico informándole sobre la eficacia de las tecnologías propuestas en función de

la disponibilidad relativa de los recursos que éstas utilizan. Esta escasez se refleja en los precios relativos de los insumos, de la mano de obra, y de otros factores del proceso productivo.

La eficiencia de este mecanismo de retroalimentación es una función directa del carácter real de los supuestos empleados en el análisis económico. El logro de esta eficiencia es uno de los múltiples argumentos en favor de una evaluación técnica y económica temprana de las tecnologías potenciales diseñadas para fincas reales.

Las inversiones destinadas a pasturas perennes se hacen generalmente en condiciones de poco control del medio ambiente; por consiguiente, el riesgo biológico que implican el establecimiento y uso de esas pasturas tiende a ser un factor importante en la decisión de invertir. Al anterior se añade el riesgo económico derivado de la variabilidad de los precios, particularmente los de la carne. En consecuencia, la consideración de ese riesgo y las estrategias para aminorarlo pueden incidir mucho en la elección que haga el productor de las técnicas propuestas para el establecimiento de la pastura.

Referencias

- Anderson, J. R.; Dillon, J. L. y Hardaker, B. 1977. *Agricultural decision analysis*. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, E. U. 344 p.
- Barnard, C. S. y Nix, J. S. 1979. *Farm planning and control*. 2 ed. Cambridge University Press, Cambridge, Inglaterra. 600 p.
- Ramírez, A. y Seré, C. 1988. *Brachiaria decumbens* en el Caquetá: Adopción y uso en ganaderías de doble propósito. Documento de trabajo no. 67. Proyecto colaborativo de Nestlé de Colombia, Fondo Ganadero del Valle del Cauca S.A., INCORA, SENA, Universidad de la Amazonia, ICA, y CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 119 p.
- Rodríguez da Cruz, E. (ed.). 1984. *Risco em modelos de decisão na agricultura*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) y DEP, Brasília, Brasil.
- Vera, R. R. y Seré, C. (eds.). 1985. *Sistemas de producción pecuaria extensiva: Brasil, Colombia, Venezuela*. Proyecto ETES, informe final. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 538 p.

D

**Experiencias con Productores en el
Establecimiento y Recuperación
de Pasturas: Estudio de Casos**

Establecimiento de Pasturas en el Trópico Húmedo: Experiencias en la Selva Peruana

William M. Loker, Eduardo Hernández y Julio Rosales

Introducción

Hay una zona en Perú ubicada dentro del trópico húmedo, al oriente del país. Abarca dos regiones: una es la vertiente oriental de los Andes, desde los 2000 hasta los 500 msnm, aproximadamente, que se denomina Selva Alta y tiene 19.4 millones de hectáreas; la otra es la llanura de los grandes ríos afluentes del río Amazonas, como el Ucayali y el Marañón, a alturas menores de 500 msnm, que se denomina Selva Baja y tiene 56.2 millones de hectáreas. En términos generales, la selva peruana comparte las características típicas del trópico húmedo: clima cálido y lluvioso, suelos ácidos, baja densidad de población, e infraestructura física mínima. La Figura 1 presenta el patrón de lluvias del área que se extiende alrededor de Pucallpa, Perú, segunda ciudad de la selva peruana y sede de la investigación descrita en este capítulo.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo estudiar los factores agroecológicos y socioeconómicos que influyen en la adaptación de los pastos mejorados a la finca del productor, y en la adopción que él haga de éstos. Por tanto, esta actividad se puede considerar como un esfuerzo de 'validación y transferencia de tecnología'.

El proyecto estableció ensayos en las fincas de los productores para observar el comportamiento de las nuevas especies forrajeras bajo las condiciones de esas fincas y con el manejo de los productores. El trabajo en las fincas brinda además la oportunidad de poner en contacto los productores y los nuevos pastos para estudiar los criterios con que aquéllos conforman las pasturas de sus animales. En este capítulo se describe el proceso seguido en la siembra de pastos en las fincas, y se analizan los problemas que trae consigo ese proceso.

William M. Loker es agrónomo, investigador principal en la estación experimental del IVITA, Pucallpa, Perú. Eduardo Hernández y Julio Rosales son asistentes de investigación en la misma estación.

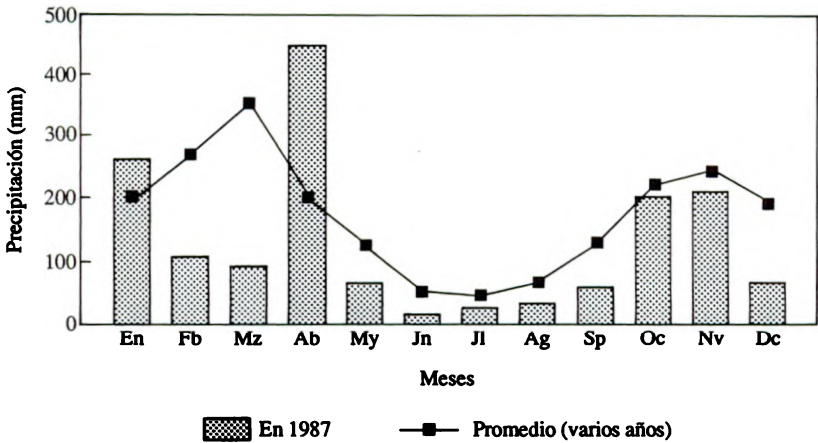


Figura 1. Lluvia mensual registrada en Pucallpa, Perú.

Metodología del Trabajo en las Fincas

La metodología empleada en la siembra de los pastos exige una breve descripción. Como primer paso, se definieron las hipótesis que se probarían:

1. Las asociaciones de gramíneas y leguminosas bien adaptadas al medio pueden formar pasturas estables que compitan biológicamente con las especies nativas (malezas) de baja productividad.
2. Las asociaciones de gramíneas y leguminosas se pueden establecer con insumos mínimos, y de manera económicamente atractiva que implique poco riesgo para los pequeños productores.

Criterios para escoger fincas

Para probar las anteriores hipótesis a nivel de la finca, se buscó gente representativa de los sistemas de producción típicos de la zona, que

representara además situaciones agroecológicas distintas. Desde un comienzo se decidió establecer los pastos mejorados en zonas de bosque secundario denominadas 'purmas' en Perú. No se quiso trabajar en el bosque virgen porque una de las metas del Programa de Pastos Tropicales del CIAT es evitar la tumba de más bosques. Tampoco se quiso trabajar en pasturas degradadas dominadas por gramíneas nativas, porque éstas presentan serios problemas técnicos todavía sin solución. Se buscaron, de otro lado, productores que ordeñaran sus vacas de manera más o menos continua. Finalmente, se eligió gente que viviera en sus fincas y derivara su sustento de lo producido en ellas, porque estos productores estarían más comprometidos con el manejo cotidiano de la finca y facilitarían por ello la trasmisión de información técnica a los miembros del proyecto.

Una vez escogidas las fincas, se determinaron las hectáreas que pensaba sembrar el productor, y se le propuso dividir el lote en dos. En un mitad, sembraba su pasto (generalmente *Brachiaria decumbens*) a la manera tradicional, y en la otra mitad los técnicos del proyecto sembraban una de dos asociaciones de gramíneas y leguminosas (Cuadro 1). La siembra tradicional sirvió como testigo, y el lado sembrado con asociaciones de gramíneas y leguminosas como tratamiento experimental. El proyecto proporcionó la semilla de las especies, la asistencia técnica, y el alambre para cercar la parcela experimental. El productor suministró la tierra y la mano de obra, y se comprometió a tomar algunos datos sobre la mano de obra y sobre otros gastos causados en el establecimiento de la pastura.

Mediciones

Para interpretar los resultados referentes al establecimiento y a la eventual adopción de los pastos mejorados, se midieron las siguientes variables en cada finca:

Biomasa y composición botánica de las purmas antes de la quema. Se cuantificó el tipo y la cantidad de vegetación presente en las parcelas; ésta puede, en efecto, influir mucho en el establecimiento de los pastos por su contribución a la fertilidad del suelo después de la quema.

Cuadro 1. Especies y accesiones de especies forrajeras mejoradas en el CIAT, que se sembraron en ensayos hechos en fincas en Pucallpa, Perú.^a

Especie o accesión	S.S. (kg/ha)
Asociación 1	
<i>Brachiaria decumbens</i> CIAT 606 6	2.0
<i>B. dictyoneura</i> CIAT 6133,	1.5
con: <i>Stylosanthes guianensis</i> CIAT 136 + 184	3.0
<i>Centrosema macrocarpum</i> CIAT 5713	0.5
<i>C. acutifolium</i> CIAT 5277	1.0
<i>C. pubescens</i> CIAT 438 + 442	0.5
<i>Desmodium ovalifolium</i> CIAT 350	0.5
Asociación 2	
<i>Andropogon gayanus</i> ,	10.0
con: <i>Stylosanthes guianensis</i> CIAT 136 + 184	3.0
<i>Centrosema acutifolium</i> CIAT 5277	1.5
<i>C. macrocarpum</i> CIAT 5713	0.5
<i>C. pubescens</i> CIAT 438 + 442	1.0

a. S.S. = semilla sembrada.

Caracterización química de los suelos. Se midieron los cambios ocurridos en el suelo antes y después de la quema.

Mano de obra empleada en todas las fases del establecimiento. Se consideraron la roza, la tumba y quema del monte, la siembra, y las desyerbas después de la quema.

Rapidez de establecimiento de los pastos. Se midió esta variable en la gramínea sola y en las asociaciones gramínea-leguminosa, mediante evaluaciones, a través del tiempo, de la cobertura y de la composición botánica.

Un aspecto muy importante en el proceso de establecimiento de pasturas en el trópico húmedo es que las especies sembradas cubran rápidamente el suelo y logren competir con las malezas. La metodología empleada para evaluar la rapidez de establecimiento consistió en medir la cobertura y la composición botánica, haciendo evaluaciones mensuales a partir de la sexta semana después de la siembra. En la estimación visual de la cobertura y la composición botánica se utilizó un

marco muestral de 1 m², y se hicieron 100 lecturas, elegidas al azar, por hectárea. En cada marco se estimaba el porcentaje de suelo descubierto y la composición de la vegetación existente; de ésta se analizaban gramíneas y leguminosas sembradas, kudzú, y malezas de hoja ancha y de hoja angosta tomando el área foliar de las plantas encerradas por el marco muestral.

Estudios de Casos

El proyecto se inició con 13 colaboradores. Se retiraron tres fincas por razones ajenas al proyecto, y se agregó una más en el transcurso del trabajo. A continuación se analizan cinco casos comparativos para establecer algunas pautas sobre los principales factores que influyen en un proceso de establecimiento; esos factores son, por ejemplo, la fertilidad nativa de los suelos, la composición botánica y la biomasa de las purmas, y el manejo que aplica el productor en el proceso de establecimiento (especialmente las deshierbas).

Caso A (fincas 1 y 3)

Purma joven despejada y sin despejar

Se consideran dos purmas jóvenes con cuatro años de descanso, solamente. En el Cuadro 2 se presentan datos sobre la biomasa y el tamaño de los árboles encontrados en las parcelas experimentales antes de rozarlas y quemarlas. Se nota que la purma de la finca 1 tenía poca biomasa (menos que la de las otras parcelas) y árboles de poco tamaño pero en gran número (más árboles que en todas las parcelas juntas). La purma de la finca 3 tenía una biomasa más alta, con menos árboles pero un poco más grandes. En términos generales, las condiciones de las dos purmas fueron muy similares respecto al uso previo del terreno, a los años de descanso, y al tamaño y cantidad de la vegetación presente.

En el Cuadro 3 se presenta el análisis químico de los suelos de las purmas; en él se nota que, antes de la quema del lote de la finca 3, había en su suelo una concentración algo mayor que en el de la finca 1 de calcio, magnesio y potasio. Estas diferencias se acentuaron después de la quema, y estaban asociadas a una quema más completa hecha en la finca 3.

Cuadro 2. Composición botánica de la vegetación secundaria en las parcelas experimentales antes de la quema.

Finca no.	Biomasa ^a (kg/ha)	Especies (no.) ^b	Arboles (no./ha) ^c	Arboles con Dm. > 5 cm ^d	Dm./altura (promedio general) ^e	Dm./altura (promedio máximo) ^f
1	18,266	nd	17,000	700	2.6-3.1	12.2- 8.1
	60,953	19	8,300	1800	5.5-7.2	17.1-18.6
3	27,680	nd	7,440	540	2.4-3.6	9.0- 9.2
4	27,098	14	7,440	840	3.2-3.5	17.0-13.1
5	48,762	16	5,400	1400	6.5-6.5	16.0-13.2
6	22,630	14	7,440	740	3.8-5.2	12.5-16.8
7	58,426	nd	11,760	1360	4.5-4.7	16.8-16.2
8	29,403	18	3,280	580	5.8-6.8	17.8-16.2
9	25,923	nd	9,520	920	2.9-4.6	8.8-15.0
10	73,567	24	6,100	1100	6.5-7.5	30.5-20.8
11	110,236	12	7,560	1760	6.5-8.7	19.5-23.2
12	80,085	31	7,100	1300	6.2-6.9	30.0-19.3

a. La biomasa se refiere a la vegetación arborífera sin incluir la vegetación herbácea ni las lianas.

b. Se refiere al número de especies identificadas; en todos los casos hay árboles no identificados (nd) que no se consideran.

c. Los árboles por hectárea se han extrapolado de un área de muestreo de 10 x 50 m.

d. Indica los árboles con diámetro (Dm.) mayor de 5 cm (no./ha), extrapolando de un área de muestreo de 10 x 50 m.

e. El diámetro en cm y la altura en m.

f. Promedio máximo, o sea, tomado de los cinco árboles más grandes de un área de muestreo de 10 x 50 m.

En las Figuras 2 y 3 se muestra el patrón de establecimiento en las dos parcelas. Se aprecia que, desde la primera evaluación, la parcela de la finca 1 tenía más malezas y menos suelo descubierto, un resultado, en gran parte, de una quema menos efectiva. La parcela de la finca 3 quemó muy bien, y el terreno quedó limpio al momento de la siembra; en cambio, la parcela de la finca 1 no quemó completamente y quedaron algunas plantas vivas que rápidamente reiniciaron su crecimiento. Sin embargo, la gran diferencia entre los lotes se debió al manejo que les dieron los productores después de la siembra. El dueño de la finca 1 no hizo deshierbas durante todo el período de las evaluaciones. En cambio, el dueño de la finca 3 hizo su primera deshierba a las seis semanas después de la siembra, y dos deshierbas más durante el período de establecimiento. Según los registros de mano de obra, el dueño de

Cuadro 3. Caracterización química de los suelos de las parcelas del ensayo en las fincas 1 y 3.

Parcela y muestra ^A	pH	Ca	Mg	K	Al	Sat . Al	M.O.	P, Bray II
		(meq/100 g)				(%)	(%)	(ppm)

Antes de la quema								
Finca 1:								
Muestra 1	4.0	0.65	0.30	0.13	2.7	74	2.00	5.3
Muestra 2	3.8	0.63	0.30	0.14	4.1	81	2.90	2.7
Finca 3:								
Muestra 1	3.8	0.64	0.59	0.18	6.9	85	2.44	3.3
Muestra 2	3.9	1.37	0.56	0.22	4.0	67	3.34	5.2
Después de la quema								
Finca 1:								
Muestra 1	3.8	0.75	0.36	0.19	3.8	77	3.69	4.3
Muestra 2	3.8	1.07	0.42	0.17	2.5	62	2.84	4.5
Finca 3:								
Muestra 1	3.9	2.29	1.11	0.90	21	2.36	3.3	0.17
Muestra 2	4.1	2.24	0.69	3.60	55	2.72	5.6	0.26

a. Muestras tomadas entre 0 y 20 cm de profundidad.

la finca 3 invirtió aproximadamente 26 jornales en la deshierba de su potrero de una hectárea y media.

El resultado más significativo en el estudio de este caso es que la parcela de la finca 3 terminó con un 75% de su área ocupada por pastos (50% de las gramíneas *B. decumbens* y *B. dictyoneura*, y 25% de leguminosas, principalmente *S. guianensis*), 20% del área en malezas, de las cuales la mitad aproximadamente era kudzú, y 5% de suelo descubierto. En cambio, la finca 1 terminó con un 60% de pasto sembrado (16% de *Brachiaria* spp. y 38% de leguminosas, de las cuales el 99% era *S. guianensis*), 45% de kudzú espontáneo (o sea, maleza en este trabajo), y sin suelo descubierto.

Estos resultados sugieren que la deshierba favoreció más el establecimiento de *Brachiaria* spp. que el de *S. guianensis*, posiblemente a causa de la sombra que producen las malezas; éstas tienen mayor efecto en la gramínea que en la leguminosa.

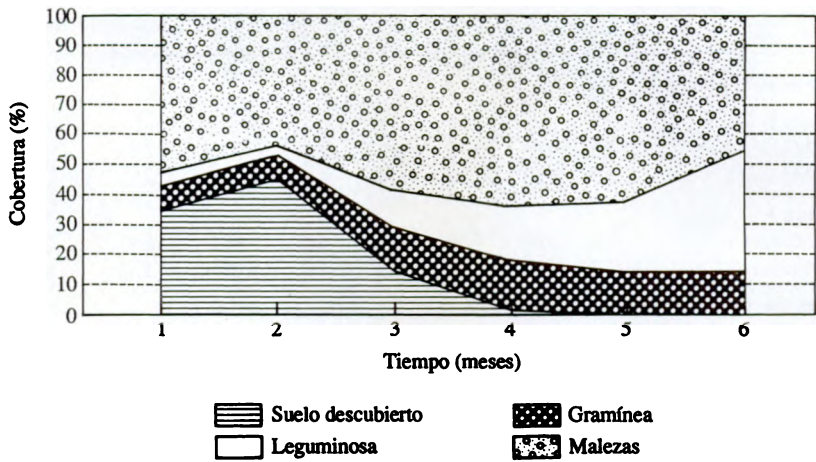


Figura 2. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 1.

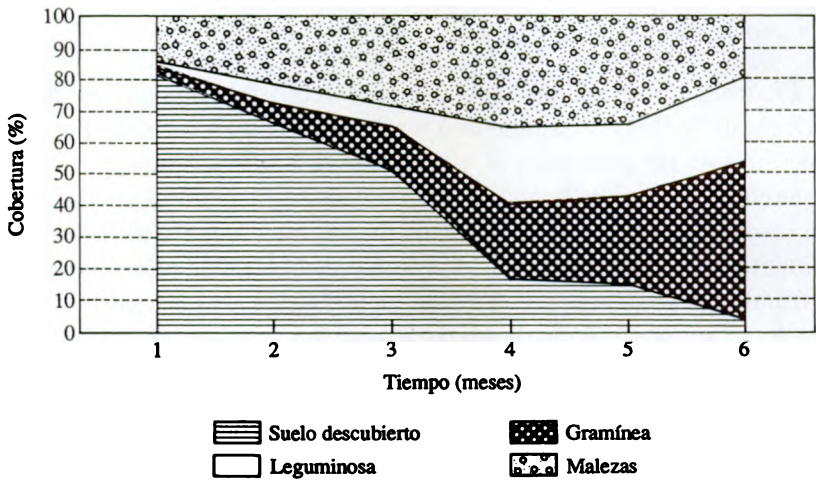


Figura 3. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 3.

De los resultados obtenidos en estas dos fincas, surge una pregunta: ¿Valió la pena el esfuerzo que hizo el dueño de la finca 3 para obtener 15% más de pasto? En la región estudiada, como en otras zonas de frontera agrícola, la mano de obra es escasa. La respuesta dependerá de los costos de oportunidad de la mano de obra, y de lo que hará el propietario con esos potreros en el futuro. Ahora bien, la gran mayoría de la mano de obra empleada en desyerbar la finca 3 era mano de obra familiar. El dueño de la finca 1 piensa quemar sus potreros para dominar las malezas; si esta estrategia es exitosa, quizás él tuvo razón por no desyerbar. Debe tenerse en cuenta que la parcela experimental en la finca 3 estaba lista para ser pastoreada al terminar el período de establecimiento, mientras que esa parcela en la finca 1 debió esperar más tiempo; en efecto, por la quema, el rebrote del pasto no estaba listo, y esta demora representa una desventaja cuando el pasto es escaso, como ocurre en ambas fincas.

Caso B (fincas 5, 7 y 10)

Purma intermedia con tumba y quema, y sin ellas

En este caso se comparan tres parcelas semejantes en vegetación antes de la tala y la quema. En dos de ellas (fincas 5 y 7) los productores desyerbaron durante el establecimiento, mientras que el dueño no lo hizo en la parcela de la finca 10. En el Cuadro 2, comparando las cantidades de biomasa inicial de las tres parcelas experimentales, se observa que la parcela 10 tenía más biomasa. La parcela de la finca 5 se aproxima mucho a la de la finca 10 en el número y tamaño promedio de los árboles, pero esta última tenía mayor cantidad de biomasa a causa, principalmente, de la presencia de algunos árboles grandes. La parcela de la finca 7 tenía muchos árboles pequeños.

En cuanto al uso previo dado a las parcelas, todas tuvieron de 5 a 6 años de descanso después de haber sido utilizadas para cultivos. La parcela de la finca 5 recibió un uso muy ligero: al tumbar el monte alto, el productor cosechó una sola vez arroz y luego la dejó descansar. En la finca 7 el productor sacó una cosecha de maíz y luego la dejó descansar de 4 a 5 años; luego, rozó y quemó de nuevo para sembrar yuca. La purma que rozó para la asociación fue producto de 5 años de descanso después de la yuca. La parcela de la finca 10 era una purma

alta cuando la tumbaron y quemaron hace 7 años. De la parcela sacaron una cosecha de arroz y luego la dejaron descansar 6 años, antes de sembrar el pasto.

En el Cuadro 4 se presenta el análisis químico del suelo de estas fincas. El suelo de la finca 5, antes de la quema, era un poco más fértil que el de las otras dos fincas, en términos de contenido de calcio, magnesio y fósforo, y de menor saturación de aluminio. Estas diferencias se acentuaron después de la quema. En las tres fincas, la quema causó un aumento significativo de la fertilidad del suelo a causa de la liberación de nutrientes en la biomasa.

Cuadro 4. Características químicas de los suelos de las parcelas en las fincas 5, 7 y 10.

Parcela y muestra ^a	pH	Ca	Mg	K	Al	Sat. Al (%)	M.O. (%)	P, Bray II (ppm)
Antes de la quema								
Finca 5:								
Muestra 1	4.2	3.41	0.80	0.13	4.2	50	1.78	3.3
Muestra 2	4.1	2.47	0.60	0.16	2.1	41	2.22	4.8
Finca 7:								
Muestra 1	4.0	0.60	0.41	0.11	3.6	78	2.44	2.2
Muestra 2	3.9	0.49	0.35	0.11	4.2	83	2.44	4.2
Finca 10:								
Muestra 1	4.2	1.05	0.35	0.13	2.5	64	1.34	3.0
Muestra 2	4.2	2.06	0.49	0.10	3.3	34	1.56	3.7
Después de la quema								
Finca 5:								
Muestra 1	4.8	4.59	1.19	0.64	0.0	0	2.36	15.7
Muestra 2	4.5	6.09	1.57	0.48	0.5	6	2.84	15.5
Finca 7:								
Muestra 1	4.0	1.59	0.80	0.31	2.4	50	2.84	8.3
Muestra 2	3.1	1.93	0.80	0.24	1.5	35	2.96	10.0
Finca 10:								
Muestra 1	4.1	1.70	0.59	0.23	1.0	30	2.11	6.6
Muestra 2	4.3	2.70	0.63	0.17	0.3	8	2.11	4.5

a. Muestras tomadas entre 0 y 20 cm de profundidad.

En el proceso de establecimiento de los pastos, los productores de las tres fincas sembraron maíz en ellas, aunque sólo 20%, aproximadamente, en la parcela 10. En la finca 7 el productor perdió su maíz por la sequía y por invasión de animales; en la finca 5, el productor sacó una cosecha moderada, aproximadamente 1500 kg/ha, haciendo tres deshierbas, una durante el crecimiento del maíz y otra al momento de la cosecha. El maíz le hizo bastante sombra al pasto y le impidió su rápido establecimiento; una vez que se secaron las hojas del cultivo, hubo un incremento notorio en el porcentaje de cobertura de los pastos sembrados.

El factor que más influyó en el establecimiento de los pastos en las tres fincas (Figuras 4, 5 y 6) fue la deshierba. El dueño de la finca 7 empleó 56 jornales en su hectárea, mientras que el de la finca 5 invirtió sólo 19, y el de la finca 10 no desyerbó (salvo una deshierba ligera dentro de su maíz). La diferencia más significativa entre las parcelas de este caso se observó en la cobertura de las leguminosas; las fincas 5 y 7 terminaron con 65% y 60% de cobertura de leguminosa, respectivamente, mientras que la finca 10 sólo tenía 38%. Las diferencias entre

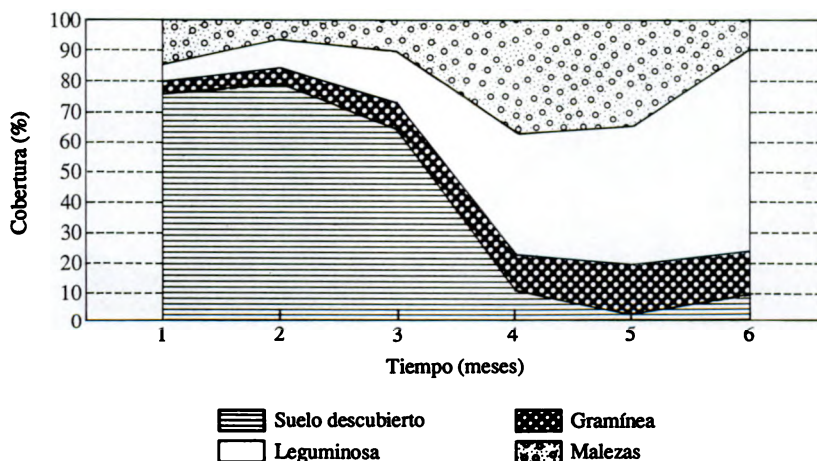


Figura 4. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 5.

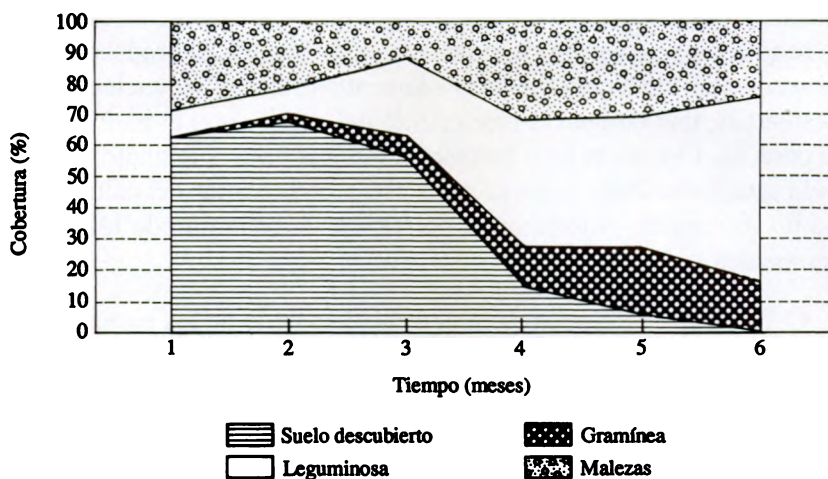


Figura 5. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 7.

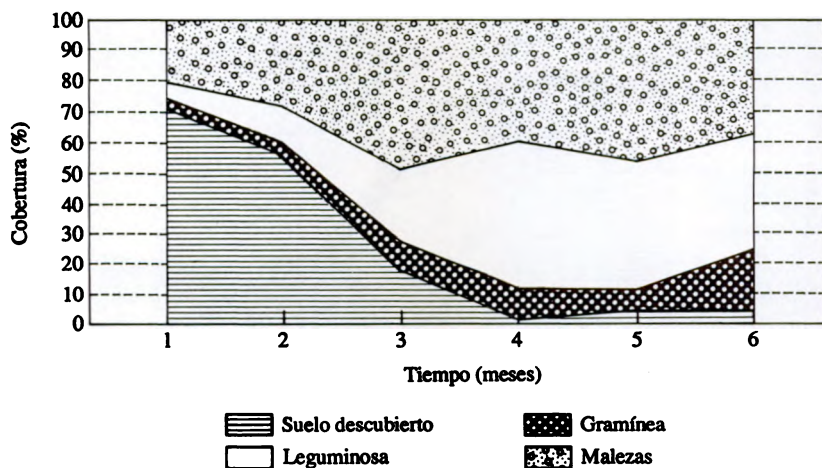


Figura 6. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 10.

las gramíneas de las fincas no fueron grandes. También se diferenciaron estas fincas por su cantidad de malezas; la finca 10, que no desyerbó, terminó con aproximadamente 38% de malezas, en comparación con 22% en la finca 7 y 10% en la finca 5. El dueño de la finca 10 quemará la vegetación para tratar de controlar las malezas, mientras que los potreros de las fincas 5 y 7 están en pastoreo.

En general, de los casos A y B se deduce que el problema de controlar las malezas fue menor en las purmas más descansadas. Cuando el productor no desyerbó, la parcela terminó con 62% de malezas (purma menos descansada, finca 1), y con sólo 38% de malezas (purma más descansada, finca 10). Los 56 jornales que empleó el dueño de la finca 7 representan un esfuerzo significativo; afortunadamente, él disponía de mucha mano de obra familiar y su inversión resultó buena si se considera el resultado, o sea, un lindo potrero.

Caso C (fincas 2 y 8)

***Andropogon gayanus* en purma joven y en purma vieja**

Este caso muestra el efecto de lotes distintos en el establecimiento de pasturas mejoradas basadas en *Andropogon gayanus* asociado con *Stylosanthes guianensis* y con *Centrosema* spp. En el Cuadro 2 aparecen las diferentes condiciones de ambos lotes (fincas 2 y 8) antes de la siembra. La parcela de la finca 8 tenía una biomasa baja con pocos árboles por hectárea (3280) y además pocos árboles de más de 5 cm de diámetro (580). La parcela en la finca 2 tenía más del doble de biomasa debido a un número elevado de árboles por hectárea (8300) y a muchos árboles con más de 5 cm de diámetro (1500). Además, se observó un porcentaje significativo de kudzú y de malezas de hoja ancha en la parcela de la finca 8 que no se presentó en la finca 2.

Los suelos eran más fértiles en la finca 8 que en la finca 2 (Cuadro 5), a pesar de que esta última tenía una biomasa más exuberante y más años de descanso de la purma (aproximadamente, de 8 a 10 años contra 5 de la finca 2). Sin embargo, ambos suelos eran ácidos y de baja fertilidad.

Cuadro 5. Características químicas de los suelos de las parcelas en las fincas 2 y 8.

Parcela y muestra ^a	pH	Ca	Mg	K	Al	Sat. Al (%)	M.O. (%)	P, Bray II (ppm)
Antes de la quema								
Finca 2:								
Muestra 1	3.5	0.29	0.35	0.21	6.7	91	2.44	2.4
Muestra 2	3.7	0.21	0.29	0.24	5.2	91	2.22	3.4
Finca 8:								
Muestra 1	4.1	1.10	0.61	0.21	4.1	66	1.78	3.7
Muestra 2	4.0	1.73	0.83	0.17	3.9	60	1.78	5.4
Después de la quema								
Finca 2:								
Muestra 1	3.4	0.61	0.55	0.34	5.7	83	2.96	5.4
Muestra 2	3.7	0.65	0.73	0.40	4.0	74	2.84	4.6
Finca 8:								
Muestra 1	3.6	1.47	0.72	0.27	2.3	51	2.48	4.2
Muestra 2	3.9	3.18	1.49	0.35	1.6	17	2.72	7.2

a. Muestras tomadas entre 0 y 20 cm de profundidad.

La evolución de la cobertura de las parcelas después de la siembra se presenta en las Figuras 7 y 8. Se nota que en el momento de la primera evaluación, la proporción de suelo descubierto fue más o menos igual en ambas fincas (60% en la 8 y 65% en la 2), pero la parcela de la finca 8 mostró un porcentaje más alto de malezas (25% contra 18%). Sin embargo, la diferencia más notoria entre las dos fincas fue el porcentaje de pastos establecidos (5% contra 10%). Con el tiempo, las malezas aumentaron en la parcela de la finca 8 hasta cubrir el 80% del terreno, mientras que en la finca 2 las malezas no aumentaron. En consecuencia, el porcentaje de pastos sembrados que se estableció fue mayor en la finca 2 (65%) que en la finca 8 (20%).

Estas diferencias entre fincas pueden atribuirse, en parte, a la historia del uso de los lotes. La finca 8 era inicialmente una purma alta de nueve años cuando el productor la tumbó y sembró en ella maíz con pasto; la pastoreó durante tres años y después la dejó retornar a la purma. Cinco años más tarde sembró los pastos experimentales.

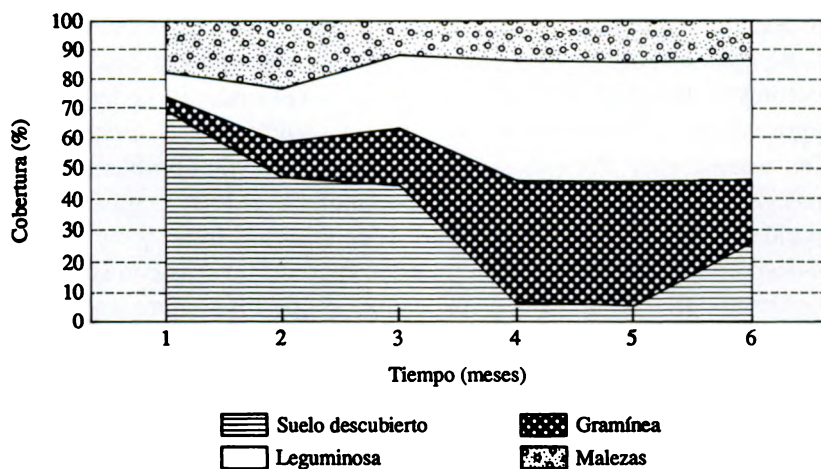


Figura 7. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 2.

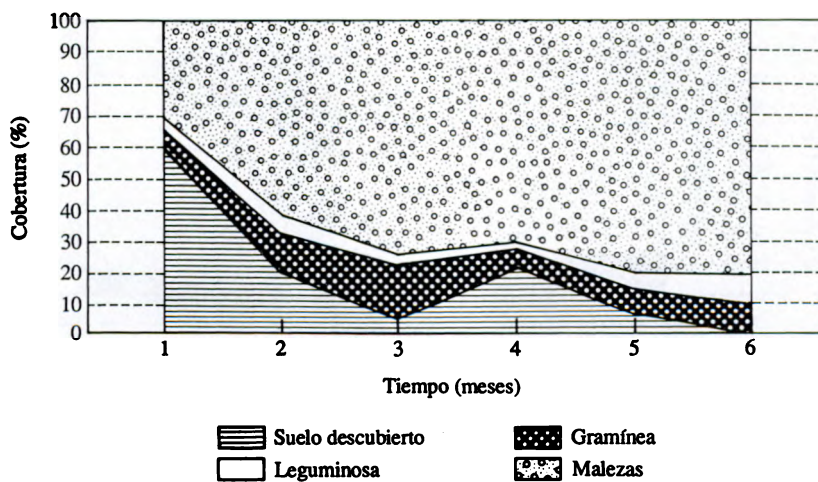


Figura 8. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 8.

El problema más grave de la parcela de la finca 8 fue una población de malezas muy agresiva y difícil de controlar, que terminó dominando los pastos sembrados. Al comienzo hubo una invasión de kudzú, que no fue eliminada por la roza y la quema; antes bien, el kudzú se desarrolló más después de la quema, posiblemente de plantas que sobrevivieron y de semillas de reserva contenidas en el suelo. El kudzú fue tan vigoroso que dominó a *A. gayanus* y a las leguminosas *S. guianensis* y *Centrosema* spp. Por otra parte, cuando se observó el problema de las malezas, se le pidió al productor desenmalezar el lote; él quiso pastorearlo primero para pisotear el kudzú, dejarlo más libre, y facilitar así la deshierba. El pastoreo fue demasiado fuerte (10 vacas con sus terneros durante tres semanas) y causó daño a los pastos sembrados pero no al kudzú. Al hacer la cuarta evaluación se empezó a desyerbar, y se controlaron así las malezas de hoja ancha pero no el kudzú (Figura 9). Al final del período de evaluación se notó una ligera recuperación de *S. guianensis* y de *A. gayanus*, aunque el lote seguía dominado por el kudzú. Al hacer la última visita, el lote había sido quemado con la esperanza de doblegar el kudzú y para que dejara desarrollarse las especies forrajeras, especialmente la gramínea.

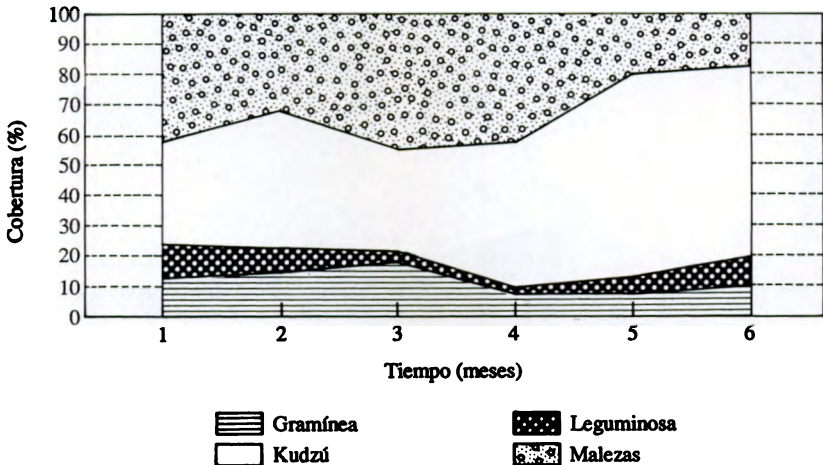


Figura 9. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 8 (cuarta evaluación).

La parcela de la finca 2 en que crecía una purma vieja (8 a 10 años) tenía malezas; en su mayoría, éstas eran arbustivas o arbóreas y de más fácil control. Una sola limpieza, hecha entre la segunda y la tercera evaluación, fue suficiente para controlarlas y dar tiempo a la pastura para que creciera vigorosamente. En realidad, la tasa de crecimiento de *A. gayanus* fue asombrosa, y contribuyó bastante al mismo control de las malezas entre la segunda y la cuarta evaluación. Entre la cuarta y la quinta evaluación, *A. gayanus* empezó a espigar y luego a secarse. El aumento de suelo descubierto que se nota entre la quinta y la sexta evaluación es un efecto de la cosecha de semilla de *A. gayanus*. El productor estaba tan impresionado con el comportamiento de esta gramínea, que contrató gente para cosechar su semilla y recolectó aproximadamente 200 kg; también cosechó 45 kg de *S. guianensis*. Su plan era aumentar el área sembrada con estas forrajeras en la próxima campaña agrícola.

La opinión del dueño de la finca 2 contrasta mucho con la del dueño de la finca 8, quien piensa que *A. gayanus* no es un buen pasto; sin embargo, no ha perdido la fe en *S. guianensis* porque su experiencia previa con esta leguminosa ha sido positiva. Vale la pena anotar que *B. decumbens* fue sembrado en la finca 8 como control pero tampoco se estableció.

Los resultados obtenidos en las fincas 2 y 8 permiten sacar algunas conclusiones. *Andropogon gayanus* es una gramínea que se adapta a ciertas condiciones del trópico húmedo, siempre y cuando se siembre en lotes cuyo potencial de malezas sea bajo. En la zona estudiada, donde hay una fuerte dependencia de una sola gramínea (*B. decumbens*), *A. gayanus* es una alternativa útil para diversificar los pastos y evitar así una pérdida catastrófica causada por una plaga o enfermedad.

Caso D (finca 4)

Pasto en purma degradada

En este caso se describe el establecimiento de pasturas mejoradas (*B. decumbens* y *B. dictyoneura* con *S. guianensis*, *Centrosema* spp. y *D. ovalifolium*) en un lote que había sido utilizado como potrero durante

cinco años. El dueño de la finca 4 había tumbado el monte alto 13 años antes, y había sembrado maíz con pasto yaraguá; luego lo pastoreó durante cinco años luchando constantemente contra las malezas. Por último, abandonó el lote y lo dejó en descanso durante ocho años antes de utilizarlo de nuevo para la siembra de pastos mejorados.

La purma de la finca 4 tenía poca biomasa, a pesar de los ocho años de descanso (Cuadro 2). Comparando esta finca con la finca 2, que tuvo de 8 a 10 años de descanso, la primera tenía menos de la mitad de la biomasa de la segunda; además, su biomasa era similar a la encontrada en la purma de la finca 3 que sólo tuvo cuatro años de descanso. El tipo de vegetación de esta finca 4 era además muy distinto del que se halló en las demás fincas. Había relativamente pocos árboles y de tamaño pequeño en promedio; el suelo estaba parcialmente cubierto por una gramínea (un remanente del yaraguá), por malezas de hoja angosta, y por otras malezas muy persistentes (*Pseudoelephantopus spicatus*, *Desmodium* sp., *Sida rhombifolia*).

La condición de esta parcela antes de la siembra de la pastura mejorada es tal vez el resultado de su uso previo como potrero, por tres razones: 1) El control de malezas tuvo más éxito con la vegetación arbórea y arbustiva que coloniza típicamente un campo abandonado. 2) Las deshieras con machete, combinadas con el uso frecuente del fuego, crean condiciones hostiles para especies arbóreas pioneras como el cetico (*Cecropia* spp.), la topa (*Ochroma pyramidale*) y el atadijo (*Trema micrantha*); es más difícil controlar las malezas persistentes y agresivas comunes en pastizales, como el mata-pasto (*S. spicatus*), la pega-pega (*Desmodium* sp.), y la escoba (*S. rhombifolia*). 3) Por último, el pisoteo del ganado contribuye a compactar el suelo, efecto que se agrava si el potrero se somete a períodos de sobrepastoreo, como ocurre generalmente.

Todos los factores mencionados (el control mecánico de malezas, el uso del fuego, y el pisoteo del ganado) pueden combinarse para impedir la recolonización del lote por las especies típicas de la purma. Si así ocurriera, predominarían en el lote las malezas agresivas y el suelo tardaría mucho más tiempo en recuperar su fertilidad.

Esta finca ofrecía una buena oportunidad para investigar si las especies seleccionadas de gramíneas y leguminosas podían establecerse bajo condiciones muy difíciles, y para determinar cuánta mano de obra se necesitaría hasta lograr el establecimiento de esas especies forrajeras. El productor rozó y enseguida quemó la parcela sin dejar que la vegetación rozada secara bien; lógicamente, la quema no fue buena. En el Cuadro 6 se muestran las condiciones de fertilidad del suelo antes y después de la quema, y se observa que ésta elevó los niveles de calcio, fósforo, y magnesio, y redujo la saturación de aluminio. Las condiciones químicas de la parcela están dentro del rango encontrado en la mayoría de los suelos de la zona.

El productor sembró maíz directamente después de la quema a principios de septiembre, época tradicional de siembra de este cultivo. Sin embargo, la lluvia de septiembre fue escasa y el maíz se perdió por la sequía. Fue necesario esperar siete semanas para sembrar la pastura mejorada, y mientras tanto la maleza creció considerablemente. Antes de esa siembra se asperjaron las malezas con glifosato (Roundup), en dosis de 0.5 gal/ha (unos 2 l/ha).

Cuadro 6. Características químicas de los suelos de la parcela experimental en la finca 4.

Muestra de suelo ^a	pH	Ca	Mg	K	Al	Sat. Al (%)	M.O. (%)	P, Bray II (ppm)
Antes de la quema								
Finca 4:								
Muestra 1	4.2	0.73	0.36	0.15	1.8	62	1.63	5.5
Muestra 2	4.3	0.61	0.56	0.20	6.3	84	1.99	3.6
Después de la quema								
Finca 4:								
Muestra 1	4.0	0.61	0.33	0.09	1.8	65	1.34	3.6
Muestra 2	4.5	2.35	1.30	0.13	0.6	14	2.22	3.4

a. Muestras tomadas entre 0 y 20 cm de profundidad.

En la Figura 10 se observa que, en la segunda evaluación, las malezas habían alcanzado a cubrir el 65% de la parcela, y el 21% de ésta era suelo descubierto; solamente el 14% del área estaba cubierta con pasto. En este punto, los investigadores intervinieron en el proceso de establecimiento, prestando ayuda al productor en forma de mano de obra y de herbicidas.

Se invirtieron en total 39 jornales en la parcela de 2 ha en que se hacía control de malezas; el productor puso aquí la mayor parte de la mano de obra. El proyecto de investigación le prestó cinco jornales en algunos momentos críticos. Además, se aplicó más Roundup en áreas donde no había forrajeras, y luego se hizo una resiembra parcial del lote. Donde había pastos y también mucha maleza, se utilizó una mecha para aplicar el herbicida directamente a las malezas, operación en que se gastó menos de medio litro del producto. Finalmente, se tomó la decisión de suspender el control de las malezas en la parte mal drenada de la parcela (20%).

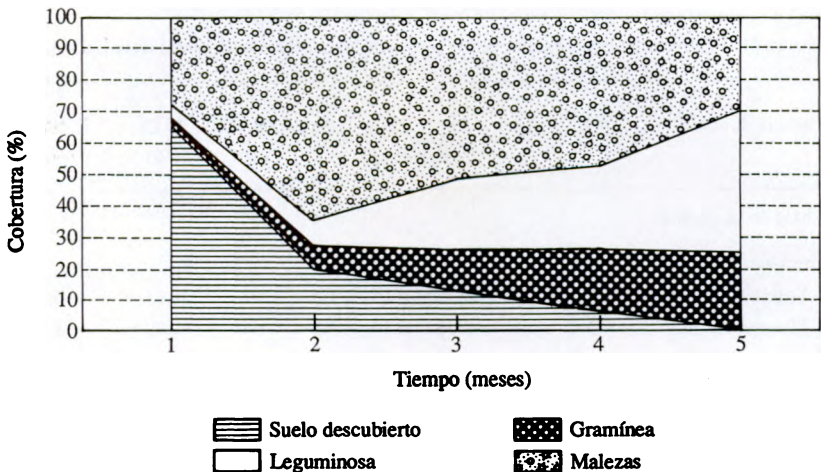


Figura 10. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 4.

La parcela de la finca 4 fue la única en que se intervino para lograr establecer la pastura. El valor del herbicida—que no estaba disponible en el mercado local—fue de US\$50.00/gal, y constituyó un gasto muy significativo en el establecimiento de la pastura. El valor de los jornales fue, aproximadamente, de US\$50.00/ha. El costo total del control de las malezas fue de alrededor de US\$100.00/ha, sin que se lograra por ello un establecimiento adecuado.

De esta experiencia en la finca 4 surgen dos preguntas: ¿Tiene el pastoreo previo un impacto negativo en el establecimiento posterior de los pastos mejorados en una purma? ¿Qué implica, para un sistema mixto de producción, la rotación cultivos/pastos/barbecho y de nuevo cultivos? El método de rotar pastos y cultivos es muy positivo porque mantiene la productividad de las áreas donde se tumbó el bosque. No obstante, si es cierto que el pastoreo tiene el efecto de impedir la recuperación de esos terrenos, creará a largo plazo un problema serio para el productor: la degradación de sus tierras. Este es un tema que preocupa y que merece más investigación en el futuro.

Caso E (finca 13)

Pastura en un bosque primario

Si bien este proyecto estaba orientado principalmente al establecimiento de pasturas en las purmas, no en el bosque primario, se presentó un caso particular: un productor había tumbado ya 7 ha de bosque primario para sembrar maíz y pastos. Se aprovechó esta oportunidad para sembrar 2 ha con la asociación de *Brachiaria* spp. y una mezcla de *S. guianensis*, *D. ovalifolium* y *Centrosema* spp.

Antes de la quema, el suelo era ligeramente más fértil que el de las otras fincas (Cuadro 7), y aunque la quema hizo en él un efecto positivo, ese aumento fue menor que el observado en las purmas.

En las Figuras 11 y 12 se muestra cómo evolucionaron el establecimiento de la pastura asociada y el de sólo *Brachiaria* spp. En la primera se observó lo siguiente: al principio hubo una proporción relativamente alta de especies sembradas (más del 25%) que aumentó con el tiempo, y una consecuente disminución de malezas y de suelo descubierto. Cuando las malezas empezaron a preocupar al productor (en la

Cuadro 7. Características químicas de los suelos de la parcela experimental en la finca 13.

Muestra de suelo ^a	pH	Ca	Mg	K	Al	Sat. Al	M.O.	P, Bray II
		(meq/100 g)				(%)	(%)	(ppm)
Antes de la quema								
Finca 13:								
Muestra 1	4.3	5.90	1.92	0.24	6.0	43	2.60	10.3
Muestra 2	3.9	2.45	1.84	0.27	10.0	70	3.20	5.7
Después de la quema								
Finca 13:								
Muestra 1	3.9	5.80	1.38	0.27	3.5	33	2.48	7.5
Muestra 2	3.8	2.60	2.11	0.30	8.2	63	3.33	11.8

a. Muestras tomadas entre 0 y 20 cm de profundidad.

cuarta evaluación), éste desyerbó. Las malezas eran, en su gran mayoría, especies arbóreas: ceticos (*Cecropia* spp.) y topas (*Ochroma pyramidalis*); por ello, su control no fue muy difícil y sólo se requirieron 6 jornales/ha para hacer esta limpieza. Después de despejar el lote y de sacar el maíz, los pastos crecieron vigorosamente y llenaron los vacíos dejados por las malezas.

Aproximadamente un 30% de la cobertura total de la parcela era de leguminosas (7.5% *Centrosema* spp. y 1.5% *D. ovalifolium*). El relativo éxito de *Centrosema* spp. se relacionaba con el tapado de la semilla, método que no se practicó en otras fincas donde la siembra fue a voleo.

Conviene destacar, en esta finca, la diferencia en el establecimiento de *Brachiaria* spp. sola y asociada con las leguminosas. En las Figuras 11 y 12 se aprecia que la cantidad de gramínea registrada en la sexta evaluación era casi igual en la mezcla (42%) que en la gramínea sola (37%), sin que hubiera diferencias en la cantidad de malezas (12% en la mezcla y 14% en la gramínea sola). La gran diferencia, en cambio, que se observó entre las parcelas estaba en el porcentaje de suelo descubierto: 13% en la mezcla y 48% en la gramínea sola. La razón de esta diferencia es la cobertura que proporcionan las leguminosas, la cual protege el suelo contra la erosión, la lixiviación y la pérdida general de nutrimentos.

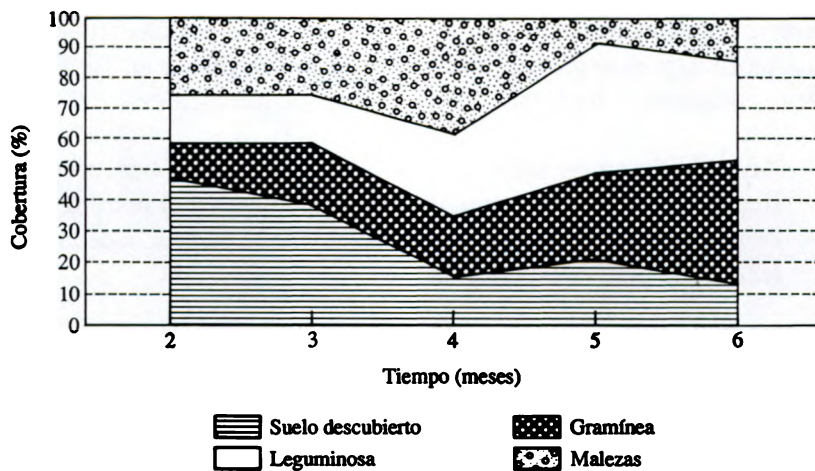


Figura 11. Evaluación mensual del establecimiento de la asociación de gramínea y leguminosa en la finca 13.

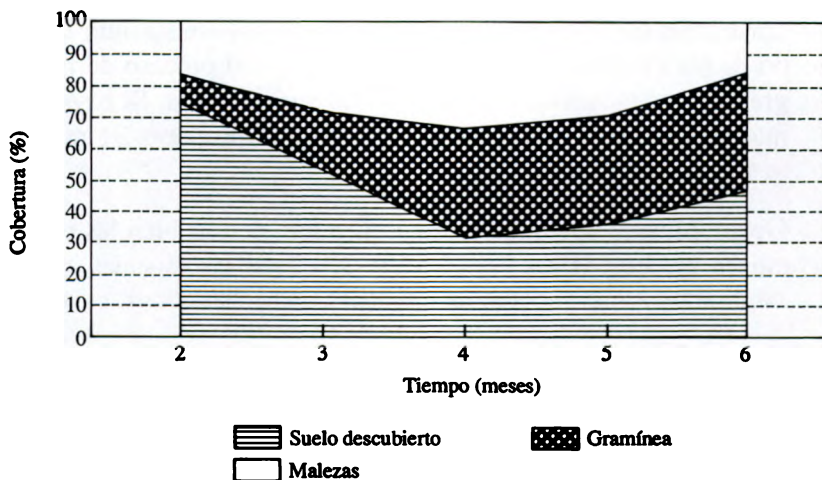


Figura 12. Evaluación mensual del establecimiento de la gramínea sola en la finca 13.

Conclusiones

De la experiencia obtenida en las fincas del trópico húmedo de Perú se derivan dos conclusiones: hay factores clave en el establecimiento de una pastura, y es necesario intensificar la investigación en las fincas. De los primeros se han identificado aquí cuatro principales:

Años de descanso del lote. Los años de descanso tienen una influencia notable en la acumulación de biomasa en el potrero, en la recuperación de la fertilidad del suelo, y en la presencia de las malezas en la pastura establecida.

Historia del uso del lote. Los años de descanso del lote no son una variable independiente del uso anterior dado al lote. El pastoreo, por ejemplo, puede conducir a períodos más largos de descanso hasta obtener en un lote la misma biomasa y un control de malezas equivalente a los de otro lote que recibió un uso previo diferente.

Manejo. Un resultado notable de estos ensayos fue comprobar la gran importancia que tiene el manejo (control de malezas) durante el establecimiento de las pasturas. En circunstancias difíciles, como en las purmas jóvenes, el manejo es decisivo para lograr un establecimiento exitoso. Hasta cierto punto se pueden sustituir la mano de obra u otros insumos por descanso en el proceso de reintegrar áreas degradadas a la producción agropecuaria. Si hay áreas más descansadas, purmas viejas, y bosque primario, el manejo tiende a ser menos crítico.

Germoplasma apropiado. Es importante definir bien las condiciones agroecológicas para las que se eligen las especies que se sembrarán; así lo sugieren las experiencias hechas con *A. gyanus*.

En segundo lugar, es necesario hacer investigación en las fincas para identificar los problemas que plantea la tecnología que se está generando. Por consiguiente, es preciso involucrar a los productores en el proceso de investigación para lograr dos cosas: una idea más clara de las necesidades y limitaciones de éstos, y el contacto directo de las iniciativas de los investigadores con las condiciones difíciles que rigen en

las fincas. Con esta estrategia se corrigen errores y se evitan pérdidas de tiempo porque se canaliza la investigación hacia las necesidades de los productores. El resultado final será la producción de tecnología apropiada y la disseminación de información útil que beneficiarán los sistemas de producción ensayados en el trópico.

Establecimiento y Recuperación de Pasturas entre los Productores del Trópico Húmedo Brasileño

Emanuel A. S. Serrão y Moacyr B. Dias Filho

Introducción

El trópico húmedo en la Amazonia brasileña ha sido escenario de un acelerado proceso de explotación ganadera durante los últimos 20 años. El fenómeno se debe principalmente a la sustitución de áreas de bosque por pasturas cultivadas. Se estima que, en esa región, por lo menos ocho millones de hectáreas de bosque tropical húmedo han sido transformadas en pasturas (Serrão y Couto, 1987; Fearnside, 1989; Mahar, 1989). Una característica de este sistema de producción es la poca persistencia de las pasturas, la cual contribuye, a su vez, a una baja eficiencia de uso del área, tanto biológica como económica (Serrão et al., 1979; Serrão y Kitamura, 1988; Hecht et al., 1988; Uhl y Parker, 1986; Kitamura et al., 1982).

La inestabilidad de las pasturas que se forman después de la tumba y quema del bosque amazónico es el resultado de problemas ambientales, tecnológicos y socioeconómicos (Serrão et al., 1979). Se pueden enumerar, entre ellos, la baja fertilidad del suelo, las plagas y enfermedades, la agresividad de la población de malezas, y las estaciones secas prolongadas. También contribuyen a esa inestabilidad la poca adaptación del germoplasma forrajero, el empleo de métodos deficientes para el control de las malezas, el escaso uso de los fertilizantes, y el manejo deficiente de las pasturas. Entre los factores socioeconómicos se consideran las políticas adversas a los precios de los productos pecuarios, el alto costo de los insumos y del transporte, las explotaciones de gran tamaño donde el establecimiento y manejo de las pasturas es complejo, la incipiente infraestructura vial, y el carácter extensivo de los sistemas de producción.

Emanuel S. Serrão y Moacyr B. Dias Filho son investigadores de EMBRAPA/CPATU, en Belém, Pará, Brasil.

Sin lugar a dudas, el buen establecimiento de una pastura determina su productividad y persistencia futuras, y el malo da como resultado una productividad baja y efímera.

En este capítulo se describen las experiencias obtenidas en el establecimiento de pasturas en el trópico húmedo de la Amazonia brasileña; se estudian especialmente los procesos de establecimiento, después de la tumba y quema del bosque, y de recuperación de las pasturas degradadas; se resaltan las implicaciones biológicas, económicas y ecológicas de ambos procesos; y se indican finalmente las áreas prioritarias de investigación.

Descripción del Ambiente

En la Amazonia brasileña predomina el ambiente tropical húmedo, típico de esa región, que presenta ya sea características favorables o ya limitaciones para el mantenimiento de las pasturas cultivadas.

Clima

El clima predominante es caliente y húmedo (Bastos, 1982; Nascimento y Homma, 1984), y la precipitación pluviométrica total anual varía de 1000 a 3600 mm; la distribución de las lluvias durante el año también es variable. Hay una estación lluviosa que dura de seis a siete meses, y una estación seca que dura de cinco a seis meses.

La temperatura media anual es de 22 °C durante la estación lluviosa y de 27 °C en la estación seca; la humedad relativa presenta valores medios anuales de 65% en las épocas más secas y de 90% en las más lluviosas.

Vegetación

Los tipos principales de vegetación encontrados en la región son el bosque denso, el bosque abierto, y las llanuras naturales; éstas comprenden las sabanas bien drenadas, las sabanas mal drenadas, y las llanuras de tierra inundable o de 'várzea' (Nascimento y Homma, 1984).

Predominan los bosques densos y abiertos; éstos, en opinión de los autores, son áreas de sumo interés porque casi todas las pasturas formadas en el trópico húmedo los han sustituido.

El bosque denso de tierra firme ocupa cerca del 50% del trópico húmedo amazónico, tiene un elevado volumen de biomasa y, en general, está constituido por especies arbóreas de porte alto. El bosque abierto ocupa cerca del 27% de la región, pero tiene un volumen de biomasa menor que el del bosque denso; los árboles de porte alto son en él menos frecuentes, pero contiene un número considerable de palmeras y lianas, o de asociaciones de estas dos especies (Nascimento y Homma, 1984).

Suelo

En el trópico húmedo de la Amazonia brasileña se han formado pasturas sobre suelos ácidos y de baja fertilidad. Estos suelos pertenecen principalmente a los Oxisoles (de éstos abundan los latosoles amarillos, rojo-amarillos y rojo oscuros); en segundo lugar, y en proporciones considerablemente menores, a los Ultisoles (sobre todo el podzólico rojo-amarillo); en tercer lugar, y en menor escala, a los Entisoles (arenas quartzosas) (Nascimento y Homma, 1984; Falesi, 1989).

Presiones bióticas

El ambiente de este trópico húmedo ejerce fuertes presiones bióticas sobre las pasturas que remplazan el bosque; principalmente las plagas y enfermedades de las plantas que conforman las pasturas pueden limitar seriamente el establecimiento de éstas, y afectarlas mucho una vez establecidas.

Formación de Pasturas de Primer Ciclo

La tasa de expansión de pasturas en la Amazonia brasileña ha disminuido en la última década; no obstante, las pasturas de primer ciclo continuarán estableciéndose a medida que nuevas áreas, aún no colonizadas, sigan incorporándose al proceso productivo de esa región.

Manejo de la vegetación

La formación de pasturas de primer ciclo en el trópico húmedo amazónico empieza, necesariamente, por la tumba del bosque. Los métodos de tumba varían según la localidad, la densidad del bosque, la extensión y topografía del área, y la disponibilidad de los recursos financieros para efectuar la operación. De esta manera, el proceso de tumba del bosque varía desde la tumba manual y la quema tradicionales, hasta las operaciones totalmente mecanizadas. Los costos aumentan generalmente a medida que se mecaniza la operación.

Tumba tradicional. En las áreas de bosque denso, el método tradicional de tumba manual y quema ha sido el más utilizado. El método comprende, básicamente, las operaciones manuales de trocha, tumba, socla y quema de la biomasa boscosa.

La trocha consiste en la apertura de vías de acceso en el bosque, para eliminar la vegetación más fina de los estratos inferiores. De esta manera se mejoran las condiciones para tumbar la vegetación que forma los estratos superiores.

Durante la tumba de la vegetación se cortan los árboles más altos y de mayor diámetro, utilizando machetes o motosierras. En muchos casos, después de la tumba se hace la socla; esta operación consiste en cortar las ramas de los árboles caídos para que sequen más rápidamente, acumulando así material de más fácil combustión para la quema. Por razones económicas, esta operación se omite muchas veces; por consiguiente, se dificultan la quema de la biomasa, la siembra de las forrajeras, y el manejo de la pastura en el establecimiento y después de él.

Las operaciones de trocha, tumba y socla se hacen, por lo regular, al final de la estación lluviosa, o al inicio de la estación seca; la biomasa cortada se deja secar durante cuatro o cinco meses, hasta un mes antes, aproximadamente, de que comience la estación lluviosa. Entonces se hace la quema.

Dependiendo de la eficacia de la tumba, el área limpiada puede quedar en óptimas condiciones para la siembra cuando se quema casi toda la biomasa boscosa; si hay quema parcial de la biomasa, se dificultan

la siembra de las forrajeras y el manejo de la pastura establecida. Aunque la primera condición no es tan frecuente como la última, se presenta una condición intermedia en la mayoría de los casos.

Tumba mecanizada. Ha sido utilizada principalmente en áreas de bosque abierto, denominado también bosque fino o bosque secundario, donde el volumen de biomasa se considera de mediano a alto. Aquí la vegetación boscosa se tumba mecánicamente utilizando cadenas de 70 a 80 m de largo, tiradas por dos tractores de gran potencia como el Caterpillar D-8. Con este método no es necesaria, generalmente, la socola, porque la vegetación característica es más delgada; además, el trabajo mecánico de la cadena quiebra ramas y material fino a medida que tumba y amontona. La quema se hace como en la tumba manual.

En el Cuadro 1 están los costos aproximados de la tumba tradicional, la mecanizada, y la quema de la biomasa boscosa. Como los costos de arrendamiento de los tractores de oruga son muy altos, la tumba con cadenas es más frecuente en las fincas que los poseen.

Las operaciones totalmente mecanizadas de tumba y amontonamiento sin quema, que se practican para sembrar pasturas de primer ciclo, son muy raras en esta región por sus efectos negativos. Algunos de éstos son la compactación del suelo, la oportunidad desaprovechada de aumentar la fertilidad del suelo con la quema, y los altos costos (Falesi, 1976; Serrão et al., 1979).

Cuadro 1. Costo aproximado de la tumba del bosque primario para el establecimiento de pasturas de primer ciclo, en el trópico húmedo de la Amazonia brasileña.

Método de tumba	Recurso empleado	Cantidad	Costo/ha ^a (US\$)
Manual			
Trocha + tumba	Hombres/día	20	60
Trocha + tumba + 'socola'	Hombres/día	25	75
Mecanizado (con cadenas)	Horas/tractor	4	160

a. En noviembre de 1988.

Manejo del suelo

Después de quemar la biomasa tumbada, el área queda en condiciones más o menos satisfactorias para la siembra de una pastura. En los grandes proyectos agropecuarios, parte de la madera que no ha sido quemada se utiliza para construir cercas, corrales, casas de madera. Más recientemente, otra parte de esa madera se ha utilizado también para producir carbón vegetal para usos energéticos, caseros e industriales. Sin embargo, en la mayoría de los casos la vegetación que no se quema no se utiliza y la siembra se hace de cualquier manera.

Modificaciones químicas del suelo. La quema de la biomasa vegetal que se hace después de la tumba manual o mecánica, para iniciar pasturas de primer ciclo, tiene grandes implicaciones bioeconómicas (Serrão et al., 1979). En el Cuadro 2 se observa que, gracias a la quema, una gran cantidad de nutrimentos se incorpora al suelo con la ceniza resultante de la combustión; aumenta así considerablemente la fertilidad del suelo, se eleva su pH, y prácticamente se neutraliza su aluminio intercambiable. En el ecosistema total, la quema produce una reducción temporal de la materia orgánica y, consecuentemente, del nitrógeno y del azufre, pues estos elementos se volatilizan parcialmente.

Este aporte de nutrimentos al suelo debido a la quema de biomasa es el principal responsable de la relativamente alta productividad inicial de las pasturas que se establecen después de la tumba y quema del bosque. Con el pasar del tiempo, los restos de biomasa no quemados, como troncos, tallos, ramas, se descomponen y liberan nutrimentos en la pastura ya formada. De esta manera algunos nutrimentos del suelo, como calcio, magnesio, potasio y nitrógeno, se mantienen en niveles satisfactorios hasta la descomposición total de los residuos no quemados; a partir de ese momento, el nivel de tales nutrimentos comienza a declinar en forma acentuada.

Modificaciones físicas del suelo. Las características físicas del suelo (estructura y granulometría) inmediatamente después de la quema de la biomasa boscosa permanecen prácticamente iguales a las de ese mismo suelo antes de la tumba (Falesi, 1976; Serrão et al., 1979).

Cuadro 2. Composición química, en promedio, de un suelo de bosque, antes y después de quemar la biomasa para establecer pasturas en el trópico húmedo de la Amazonia brasileña.^a

Suelo	Arcilla total		Materia orgánica		Nitrógeno		pH	Ca ⁺⁺ + Mg ⁺⁺ (meq/100 g)		Al (meq/100 g)		K (ppm)		P (ppm)	
	Oxma (%)	Oxm (%)	Oxma (%)	Oxm (%)	Oxma (%)	Oxm (%)		Oxma	Oxm	Oxma	Oxm	Oxma	Oxm	Oxma	Oxm
Bosque natural	65	23	2.79	1.95	0.16	0.09	4.4	4.3	1.47	0.45	1.8	1.1	23	31	1 2
Bosque recién quemado	—	11	—	1.31	—	0.07	—	5.8	—	2.33	—	0.1	—	74	— 8
Pasto de un año	50	11	2.04	0.99	0.09	0.07	6.5	6.8	7.53	3.33	0.0	0.2	31	78	10 5

a. Oxma = Oxisol (latosol amarillo) de textura muy arcillosa; Oxm = Oxisol (latosol rojo oscuro) de textura media.

FUENTE: Falesi, 1976.

Manejo de la siembra

Selección de especies forrajeras. Las especies empleadas en el establecimiento de una pastura en el trópico húmedo brasileño—principalmente las gramíneas—se han seleccionado considerando, ante todo, la disponibilidad de la semilla y su precio en la región; la selección dio preferencia además a las especies que presentaban algún potencial de adaptación al clima, al suelo, y a las condiciones de manejo de las pasturas en la localidad. Dado que la fertilidad del suelo no es una limitación para una pastura de primer ciclo, se sembraron las especies comerciales cuya semilla estaba disponible en cantidad suficiente.

En el Cuadro 3 se presenta una lista de las principales especies empleadas en la formación de pasturas de primer ciclo en esta región en los últimos 25 años. *Panicum maximum* cv. Colonião, seguido por *Hyparrhenia rufa* y *Melinis minutiflora*, fueron las gramíneas pioneras y las que más se han sembrado. *Panicum maximum* es todavía una gramínea importante en el establecimiento de pasturas; las otras dos han sido utilizadas cada vez menos, a medida que se dispone de nuevas opciones de germoplasma.

En los últimos 15 años, *Brachiaria humidicola* ha sido sembrado con mucha más frecuencia, y más recientemente, esto es, en los últimos cuatro años, *B. brizantha* cv. Marandú y *Andropogon gayanus* cv. Planaltina se están empleando también con mucha frecuencia. En la última década se ha observado una reducción considerable en el ritmo de expansión de las pasturas de primer ciclo; sin embargo, se espera que este proceso de expansión se mantenga durante varios años más. A corto y mediano plazo se prevé una tendencia cada vez mayor a emplear *B. brizantha* cv. Marandú y *A. gayanus* cv. Planaltina, un uso menor de *P. maximum* cv. Colonião y de *B. humidicola*, y muy poco interés por *B. decumbens*, *H. rufa* y *M. minutiflora*.

La siembra de leguminosas en las pasturas de primer ciclo no ha sido muy significativa. *Pueraria phaseoloides* ha sido la más utilizada, seguida de *Centrosema pubescens* y *Stylosanthes guianensis*. Un número reducido de variedades comerciales de *C. pubescens* y *S. guianensis* provenientes de Australia se sembraron entre 1965 y 1975, época en que el establecimiento de grandes proyectos ganaderos tuvo un

Cuadro 3. Principales especies forrajeras empleadas en la formación de pasturas de primer ciclo en el trópico húmedo de la Amazonia brasileña, y cantidad de semilla, en promedio, de dichas especies usada para ese fin.

Forrajeras	Cultivar o nombre local	Semilla (kg/ha)
Gramíneas		
<i>Panicum maximum</i>	(Diversos) ^a	10
<i>Hyparrhenia rufa</i>	Jaraguá	10
<i>Melinis minutiflora</i>	Meloso; Gordura	7
<i>Brachiaria humidicola</i>	Quicuio-da-Amazonia	8
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	Ruziziensis	8
<i>Pennisetum purpureum</i>	Elefante	—
<i>Brachiaria brizantha</i>	Marandú	8
<i>Andropogon gayanus</i>	Planaltina	10
Leguminosas		
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Pueraria	2
<i>Centrosema pubescens</i>	Común	4
<i>Stylosanthes guianensis</i>	(Diversos) ^b	2
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogonio	4

a. El cultivar Colonião es el más importante.

b. Principalmente los cultivares Cook, Endeavour y Schofield, introducidos en Brasil en las décadas del 60 y del 70.

gran apogeo. Después de ese período, la escasa adaptación al medio de las variedades comerciales y la ausencia de otras opciones de germoplasma de leguminosas convirtieron a *P. phaseoloides* en la única leguminosa que todavía se siembra en la región, aunque esporádicamente y en pequeña escala.

Establecimiento de las forrajeras. Las especies forrajeras se siembran o plantan al inicio de la estación lluviosa, que ocurre en noviembre y diciembre en las latitudes más altas de la región, y en enero y febrero en las regiones más próximas al Ecuador. Con estas fechas de 'siembra' se pretende evitar al máximo los 'veranicos' regionales que pueden presentarse después de las primeras lluvias y que han causado serios perjuicios económicos a la ganadería regional.

En las pasturas de primer ciclo, las forrajeras se establecen por propagación vegetativa o, en la mayoría de los casos, con semilla verdadera.

Propagación vegetativa. La propagación vegetativa ha sido un método importante en el establecimiento de pasturas de especies estoloníferas como *B. decumbens* y *B. humidicola*, sobre todo de los años 60 a los 70. Este método se emplea todavía, especialmente en fincas de menor tamaño, para establecer pasturas de *B. humidicola* en pequeña escala, aprovechando el material vegetativo existente en las fincas vecinas. La propagación vegetativa ha sido usada también para las gramíneas forrajeras que difícilmente producen semilla, como *Pennisetum purpureum*, *B. radicans*, *Digitaria* spp. y *Echinochloa polystachya*; estas especies se emplean esporádicamente para formar pasturas en condiciones ambientales muy específicas. Gramíneas que normalmente son propagadas por semilla, como *P. maximum* e *H. rufa*, se han propagado a veces vegetativamente para producir la semilla que consolidará el establecimiento de la pastura.

En las pasturas de primer ciclo, la propagación vegetativa se hace manualmente, plantando los 'retoños' (trozos de estolones o trozos de tallos con raíces) en huecos abiertos entre los restos de la biomasa no quemada. La distancia de siembra es de 1.0 m a 1.5 m, según la disponibilidad de material vegetativo en la localidad.

En la práctica, se estima que el material vegetativo cosechado en una hectárea de *B. humidicola* puede suministrar retoños para plantar unas 30 ha, utilizando solamente los estolones (EMBRATER, 1979).

La limitación principal de la propagación vegetativa de especies estoloníferas es que necesita mayor cantidad de mano de obra por unidad de área de 'siembra'. Esta desventaja se compensa parcialmente, sin embargo, con el establecimiento más rápido de la pastura, que se logra cuando las condiciones climáticas son favorables (EMBRATER, 1979; Dias Filho, 1987).

Siembra de semilla botánica. La mayor parte de las pasturas de primer ciclo se ha establecido mediante la siembra por semilla. Este método ha sido escogido en fincas de mediano y gran tamaño, porque había en la región suficiente cantidad de semilla comercial de *P.*

maximum, *H. rufa* y *M. minutiflora* en los últimos 25 años; de *B. decumbens* en los últimos 15 años; de *B. humidicola*, *B. ruziziensis* y *Setaria sphacelata* (estas dos últimas en menor escala) en los últimos 10 años; y de otras gramíneas forrajeras de introducción más reciente, como *B. brizantha* cv. Marandú y *A. gayanus* cv. Planaltina, en los últimos 5 años. La disponibilidad de semilla comercial de leguminosas ha sido baja y fluctuante; actualmente, *P. phaseoloides* es la única que despierta cierto interés entre algunos productores.

En las pasturas de primer ciclo, el método más común de siembra ha sido a voleo, manualmente o con sembradoras manuales, semejantes éstas a las sembradoras de arroz conocidas regionalmente como 'matracas'. La siembra aérea se practica también en la región para iniciar pasturas de primer ciclo, principalmente en fincas grandes ubicadas en áreas de frontera de difícil acceso. Se utilizan avionetas adaptadas de tipo Ipanema, que pueden sembrar hasta 100 ha por día.

La semilla de baja calidad ha ocasionado serios perjuicios en el establecimiento de pasturas en la región. Algunos ganaderos compran semilla de menor precio y poco valor cultural, una costumbre que afecta el establecimiento de las pasturas y, a corto plazo, propicia su degradación. Además, en muchos casos las semillas se almacenan en la finca en condiciones de humedad y temperatura altas que reducen a niveles críticos el porcentaje de germinación de aquéllas (Dias Filho, 1987).

En general, las condiciones ambientales predominantes en la Amazonia brasileña no son apropiadas para la producción de semilla comercial de gramíneas. Por tal motivo, casi toda la semilla que se emplea para el establecimiento de pasturas en esta región se importa desde la parte centro-sur del país. No obstante, se ha podido producir, en escala semicomercial, semilla de la leguminosa *P. phaseoloides*. Se ha comprobado, además, que la producción comercial de semilla de otras leguminosas, como *Centrosema* spp., *Stylosanthes* spp., *Desmodium* spp. y *C. mucunoides*, es viable en esta región.

Inoculación de semillas de leguminosas. Las leguminosas forrajeras se han utilizado muy pocas veces como componentes de las pasturas cultivadas de la región; por consiguiente, la inoculación de su semilla con *Rhizobium* ha sido también muy esporádica. Generalmente, el

inoculante se adquiere en el mismo local donde se compra la semilla, y la inoculación se efectúa siguiendo las instrucciones que acompañan el producto. No hay evidencia, en esta región, de la necesidad biológica o económica de inocular las leguminosas que se sembrarán en las pasturas. Más aún, se observa con frecuencia, en algunas pasturas, que especies de leguminosas como *C. pubescens*, *P. phaseoloides* y *C. mucunoides* desarrollan abundante nodulación activa (nódulos con una coloración rojiza en su interior) sin que hayan sido inoculadas antes de la siembra (Dias Filho, 1987).

Manejo de establecimiento

De modo general, el manejo de establecimiento que reciben las pasturas de primer ciclo en el trópico húmedo brasileño comprende prácticas cuyo objetivo principal es el control de la 'juquira';¹ obtenido éste, las plantas forrajeras ya plantadas aprovecharán más eficientemente los nutrimentos y el agua disponibles.

Manejo de las malezas. Durante la fase de establecimiento de las pasturas de primer ciclo, el número de especies de malezas que se encuentran en ellas es generalmente menor que el de las fases posteriores. Estas malezas provienen, en su mayoría, del rebrote de las plantas perennes, arbustivas y arbóreas, de menor porte que no fueron destruidas por la quema, y de las plantas que resultan de la germinación de las semillas presentes en el suelo antes de la tumba.

La mayor parte de estas malezas proviene del rebrote de plantas latifoliadas cuya superficie foliar está fuertemente cutinizada, y esta capa dificulta el control químico por medio de la aspersión foliar. Por ésta y otras razones económicas, el método más utilizado para controlar las malezas en esta región es el manual, es decir, con hoz y machete, principalmente. Muchas veces, el manejo de establecimiento de la pastura recién plantada impide el control manual o químico de las malezas durante el primero y, a veces, en el segundo año después de la siembra.

En el Cuadro 4 se presentan los costos aproximados de siembra y establecimiento de pasturas del primer ciclo.

1. Nombre regional utilizado para designar la comunidad de malezas de la pastura.

Cuadro 4. Costo aproximado de la siembra y del establecimiento de una pastura de primer ciclo en el trópico húmedo de la Amazonia brasileña.

Actividad o semilla	Medida	Cantidad (no./ha)	Costo/ha ^a (US\$)
'Siembra' de partes vegetativas	Hombre/día	15	45
Siembra de semilla (manual)	Hombre/día	1	3
Semilla de gramíneas	kg	10	20
Semilla de leguminosas	kg	3	9
Limpieza manual de malezas (segundo año)	Hombre/día	5	15

a. A noviembre de 1988.

Manejo en la formación de la pastura. Aunque la germinación de las semillas o el rebrote del material vegetativo de las forrajeras sea satisfactorio, el manejo inicial de la pastura en formación determina el éxito o fracaso de su establecimiento. Esto es especialmente cierto en las gramíneas de crecimiento erecto, como *P. maximum* y *H. rufa*, o en las de crecimiento inicial lento, como *B. humidicola* y *A. gayanus*.

Las pasturas recién plantadas con *P. maximum* o con *H. rufa* y, más recientemente, con *A. gayanus*, se someten, generalmente, a un pastoreo rápido y pesado, del tipo 'mob grazing', seis a ocho meses después de la siembra. Este pastoreo se realiza durante la fase de maduración de las semillas, para que los animales las consuman y las esparzan por el potrero; después de él, se hace una quema de la pastura o 'quema de formación', poco antes del inicio del período lluvioso. Esta quema tiene diversos propósitos, a saber: a) eliminar el exceso de forraje seco y estimular el rebrote de las plantas madre; b) estimular la germinación, por medio del choque térmico, de las semillas esparcidas por el suelo; c) reducir la competencia porque se elimina temporalmente la 'juquira' emergente; y d) eliminar parte de la biomasa boscosa remanente de una quema mal hecha, facilitando así el manejo de la pastura en el establecimiento y después de él.

En algunos casos, especialmente cuando no hubo una preparación satisfactoria del terreno y cuando la quema de la biomasa forestal

derribada no ha sido muy eficiente, la gramínea *M. minutiflora* se siembra—no más del 30% del total de semilla utilizada—junto con la gramínea definitiva. El papel que *M. minutiflora* desempeña es temporal: por sus características, sirve de ‘facho’, esto es, de material de combustión rápida para la quema de la pastura. La quema elimina prácticamente a *M. minutiflora* de la pastura, y el terreno queda cubierto por la(s) gramínea(s) definitiva(s).

Cuando las pasturas contienen gramíneas forrajeras de hábito decumbente, de menor resistencia a la quema, y que producen pocas semillas viables, como *B. decumbens* y *B. humidicola*, no se suelen hacer ni el pastoreo ni la quema de formación; la razón es que esas gramíneas tienen hábito rastrero y cubren mejor el suelo. Cuando no ha habido una buena preparación del área de siembra, los ganaderos no tienen otra alternativa que asociar especies decumbentes con una o más gramíneas—ya sea con *M. minutiflora* o con *P. maximum*, o con ambas—que harán el papel de ‘facho’ y ocuparán parcialmente el área después de la quema. Sólo al segundo año después de la siembra la gramínea decumbente ocupará su espacio definitivo.

Cuando se siembran gramíneas decumbentes y no se someten al pastoreo ni a la quema de formación, la pastura podría pastorearse en forma ligera durante la estación seca del primer año, y en forma moderada en la estación lluviosa del segundo año. Después se hará una limpieza manual, que es el método más frecuente, o química de la ‘juquirá’; si esta operación se hace en el período seco no es muy eficiente, pero al inicio del período lluvioso del tercer año produce mejores resultados.

Control de plagas y enfermedades. Por lo regular, las plagas que atacan las especies forrajeras no se consideran grandes limitantes del establecimiento de las pasturas de primer ciclo en esta región.

Los principales insectos plaga de la región son la larva de los pastizales (*Mocis latipes*), la larva militar (*Spodoptera frugiperda*), la cigarrita de las pasturas (principalmente *Deois incompleta*), y la cochinilla (*Antonina graminis*) (Silva y Magalhaes, 1980); estas plagas adquieren importancia, generalmente, a partir del tercer año de formación de la pastura. Las hormigas, principalmente *Atta sexdens rubropilosa*, están presentes en el bosque derribado; gracias a su hábito semisubterráneo,

sobreviven al fuego y pueden ocasionar daños considerables a las forrajeras recién plantadas. Sin embargo, estos daños no tienen consecuencias económicas serias.

Las enfermedades más importantes que atacan a las especies forrajeras en esta región están relacionadas con las semillas de *P. maximum* cv. Colonião. Las causan los hongos *Tilletia ayiresii* y *Fusarium roseum*. Estas enfermedades fungosas reducen, por lo común, la efectividad del mecanismo de resiembra de la gramínea en el primero y en el segundo año después de la siembra; lógicamente, es difícil consolidar así el establecimiento de la pastura en el segundo año. Otras enfermedades importantes, por ejemplo, la antracnosis, causada por *Colletotrichum* spp. y la 'mela', causada por *Rhizoctonia solani*, atacan los cultivos comerciales de algunas leguminosas: la primera a *Stylosanthes* spp. y la segunda a *Centrosema* spp. (Serrão et al., 1979; Dias Filho y Serrão, 1983).

En términos generales, las plagas y enfermedades que atacan las pasturas de primer ciclo durante su proceso de establecimiento en la región no han tenido, hasta ahora, mucha importancia bioeconómica; por tanto, apenas si practican algunas medidas de control. Solamente en ataques esporádicos de las hormigas, cuando la infestación es muy alta, se las controla con cebos impregnados de insecticida.

La tendencia actual es reducir la siembra de pasturas de primer ciclo e intensificar cada vez más las pasturas de segundo ciclo en las que es necesario sembrar también leguminosas. Por consiguiente, deben seleccionarse forrajeras muy resistentes, o muy tolerantes, a las enfermedades y plagas que prevalecen en la región.

Siembra de cultivos anuales

En el trópico húmedo de la Amazonia es poco frecuente la práctica de sembrar cultivos anuales para minimizar los costos de establecimiento de las pasturas de primer ciclo. Cuando se da este caso, la siembra se hace manualmente, casi siempre en el primer año, y al tiempo con la siembra de la gramínea. El maíz y el arroz son los preferidos, y esporádicamente el frijol común (*Phaseolus vulgaris*) o el caupí (*Vigna unguiculata*).

El rendimiento de estos cultivos es variable y generalmente bajo: 400 a 900 kg/ha para el maíz, 400 a 800 kg/ha para el arroz, y 300 a 600 kg/ha para el frijol y el caupí. Dos razones lo explican: la densidad de siembra es baja y hay competencia con las especies forrajeras ya sembradas.

Los cultivos anuales se siembran poco en esta región durante el proceso de formación de pasturas de primer ciclo por las siguientes razones: a) las pasturas se establecen en extensiones generalmente grandes que exigirían gran cantidad de mano de obra adicional para sembrar y cosechar esos cultivos; b) es difícil almacenar y comercializar una cosecha obtenida en áreas apartadas; c) hay competencia entre los cultivos anuales y las gramíneas plantadas; y d) en los planes de los proyectos ganaderos subsidiados para el establecimiento de pasturas no se considera la siembra de cultivos.

No existen datos, a nivel experimental, sobre el uso de cultivos anuales en el proceso de establecimiento de las pasturas de primer ciclo en esta región; por consiguiente, no es posible hacer una evaluación real de sus implicaciones bioeconómicas. Los cultivos anuales tienen, sin duda, más importancia en la recuperación de pasturas, tema que se discutirá enseguida.

Recuperación de Pasturas Degradadas

Por causa de factores ambientales, tecnológicos y socioeconómicos, las pasturas de primer ciclo tienen, en general, una vida productiva muy corta, y luego se degradan rápidamente. Para mantener el sistema productivo, el ganadero convierte nuevos segmentos de bosque en pasturas que, con el tiempo, también se degradan. El resultado es una 'ganadería itinerante' en gran escala que trae consigo serias consecuencias ecológicas y socioeconómicas. Por otro lado, la presión social generalizada para reducir la tumba del bosque en beneficio de la pastura establecida, la reducción a nivel local del bosque primario disponible, el aumento de la densidad de población en áreas de frontera, y otros factores socioeconómicos obligaron a los productores ganaderos, a partir de 1975, a frenar la deforestación y el ritmo de expansión de la ganadería. Se hizo entonces evidente la necesidad de usar más intensamente las áreas ya explotadas.

Al comenzar la presente década, se inició la fase de recuperación de las pasturas degradadas para incorporarlas al proceso productivo. Se estima que en los últimos diez años, cerca de 700,000 ha de esas pasturas (aproximadamente el 10% del área total de las pasturas ya establecidas) fueron sometidas a algún proceso de recuperación.

La recuperación de una pastura comprende, por lo regular, la preparación manual o mecanizada del terreno, la aplicación de fertilizantes y de otros insumos, y un manejo más cuidadoso del suelo que el aplicado en el proceso de formación de una pastura de primer ciclo.

Los sistemas de producción que resultan de la recuperación de una pastura degradada tienen, generalmente, una vida productiva más larga que aquéllos basados en las pasturas de primer ciclo.

Establecimiento de pasturas de segundo ciclo

Si hay terrenos disponibles en la finca, y no intervienen otros factores económicos y ecológicos, el área degradada podrá renovarse a corto plazo estableciendo en ella nuevas pasturas; podrá abandonarse durante algunos años ('pousio' o 'purma') y utilizarse luego para formar nuevas pasturas; o podrán sembrarse en ella cultivos, principalmente los permanentes.

El 'pousio', o descanso temporal que permite la recuperación natural de la vegetación secundaria del bosque, se practica para lograr una mayor productividad biológica. Su duración es variable y es costumbre con más frecuencia en las fincas de gran tamaño que disponen de área suficiente y donde se practica, de manera planeada o no, la 'ganadería itinerante'. La acumulación anual de biomasa de una pastura degradada durante el tiempo de descanso es inversamente proporcional a la intensidad del uso que se le dio antes, y puede variar de 1 t/ha (pasturas bajo pastoreo intenso) a 10 t/ha (pasturas con poco uso) (Uhl et al., 1988).

Manejo de la vegetación

La cantidad de biomasa de plantas herbáceas, arbustivas y arbóreas del área que se renovará y la disponibilidad de los recursos financieros, de la maquinaria, y de otros insumos indican cómo se eliminará la

vegetación que cubra esa área. Pueden considerarse seis procedimientos distintos, a saber:

- quema de la biomasa;
- limpieza manual y luego quema;
- quema y amontonamiento mecánico de los desechos;
- limpieza y amontonamiento mecánico de la biomasa, sin quema;
- trituración de la biomasa e incorporación de ésta con rastrillo;
- remoción de la biomasa con cadenas.

El manejo de la vegetación que cubre la pastura que se pretende recuperar se hace, generalmente, durante la estación seca.

Sólo quema de la biomasa. La quema es el método más barato para eliminar la vegetación de un terreno. No obstante, no es muy usado, aun en zonas donde el volumen de biomasa es bajo. La razón es que permanece sobre el terreno una gran cantidad de biomasa sin quemar, o mal quemada, dificultando la siembra de las especies forrajeras. Además, rebrota una gran cantidad de plantas resistentes al fuego, lo cual impide también el buen establecimiento de las pasturas. La quema sola casi nunca se usa para eliminar una vegetación cuyo volumen de biomasa se considere de moderado a alto.

Limpieza manual y quema. Se corta con hoz o machete la vegetación de menor porte; si fuere necesario, la vegetación mayor se cortará con serrucho o motosierra. En seguida se practica la quema y, si es grande la cantidad de biomasa mal quemada, ésta se amontona; generalmente, se hace una nueva quema de la biomasa amontonada para limpiar mejor el área.

Este método se emplea con frecuencia en regiones donde se dispone de suficiente mano de obra y, según el tipo de forrajera que se plante, puede proporcionar un establecimiento satisfactorio de la pastura. Una de sus desventajas es el rebrote de un gran número de plantas arbustivas y arbóreas que son resistentes al corte mecánico y al fuego, y son, en general, de difícil control.

Quema y amontonamiento mecánico. En este método se quema la vegetación para que la biomasa libere nutrientes al suelo. La biomasa

no quemada se amontona; esta operación se hace, generalmente, con tractor de oruga tipo D-4, o con tractor de ruedas con lámina tipo 'bulldozer' o tipo 'rootrake'. Las hileras o montones se colocan a distancias de 50 a 70 m una de otra, y luego se queman; de este modo, el terreno queda listo para recibir otras prácticas culturales previas a la siembra de la pastura.

Aplicando este método, el rebrote de la 'juquira' arbustiva y arbórea se reduce considerablemente; sin embargo, la descompactación parcial del suelo expone muchas semillas de plantas de ciclo corto a condiciones favorables para su germinación, y las plántulas que emerjan colocarán a las forrajeras sembradas en un alto nivel de competencia.

Limpieza y amontonamiento mecánico sin quema. Este método ha sido usado con cierta frecuencia en lugares donde se desconoce la importancia de la quema para aumentar la fertilidad del suelo, o donde es imposible realizar la quema.

La remoción y amontonamiento de la biomasa se hace, como en el caso anterior, con tractores de oruga o de rueda, a los que se acoplan cuchillas.

Trituración de la biomasa y su incorporación al suelo. El rolo es otro implemento utilizado, aunque con muy poca frecuencia, para eliminar la juquira de bajo a moderado volumen de biomasa. El objetivo, en este caso, es incorporar al suelo la mayor cantidad posible de material vegetal.

El rolo está provisto, en su superficie, de dientes o cuchillas que cortan y trituran la biomasa; además, actúan como palas abriendo en el suelo múltiples huecos pequeños, y así ayudan a airearlo y a incorporar en él parte de la materia orgánica.

Hay dos tipos de rolo en esta región: uno mayor, que pesa 7 t cuando está vacío y 10 t lleno de agua, y otro menor, que pesa 2.5 t vacío y 5 t lleno de agua. El primero, que puede ser tirado sólo por tractor de oruga, tritura totalmente la vegetación secundaria de medio a alto volumen de biomasa, y parcialmente la vegetación de alto volumen. El segundo, tirado por tractor de rueda de alta potencia, tritura totalmente la juquira de bajo volumen de biomasa. En ambos casos, al tractor se

acopla, en su parte delantera, una cuchilla o 'rootrake' para tumbar la vegetación que triturará el rolo.

Si la operación de quema de la biomasa ha sido eficiente, así como su trituración por el rolo, las especies forrajeras pueden sembrarse o plantarse directamente en el terreno. Esta operación no depende de que la preparación del suelo haya sido la mejor, mucho menos si se planta material vegetativo.

Remoción de la biomasa con cadenas. La cadena tirada por tractores de oruga o de rueda se ha utilizado para eliminar la juquirá de medio a alto volumen de biomasa, denominada localmente 'juquirão'.

Con este método se logra tumbar y arrancar parcialmente parte de la comunidad vegetal del 'juquirão'. Se necesitan, generalmente, dos pasadas, una en sentido contrario de la otra, para completar la remoción de la juquirá. La biomasa arrancada se deja secar antes de proceder a quemarla.

Manejo del suelo

Después de remover parcial o totalmente la biomasa vegetal, las áreas en las que se introdujeron pastos reciben prácticas de cultivo adicionales antes de sembrar o plantar las especies forrajeras.

Eliminación parcial de la biomasa. Cuando la biomasa se elimina parcialmente por medio de la quema—con limpieza manual previa o sin ella—no se hacen prácticas culturales adicionales antes de sembrar las forrajeras. La siembra se realiza entonces en asociación con un cultivo anual o sola, al inicio de la estación lluviosa.

Eliminación total de la biomasa. Una vez removida la mayor parte de la biomasa vegetal, se coloca en hileras o montones los cuales, a su vez, son parcialmente eliminados por la quema. A partir de este momento, se puede hacer la siembra directa o someter el terreno a prácticas culturales adicionales, principalmente la rastrillada. Estas prácticas se hacen con la intención de crear mejores condiciones para la siembra de las forrajeras, especialmente cuando éstas se asocian con cultivos anuales.

La decisión de sembrar directamente después de remover la vegetación existente está relacionada, generalmente, con factores de orden económico. No debe olvidarse, sin embargo, que después del trabajo hecho hasta aquí, el suelo tiende a presentar todavía restos de biomasa en la superficie, cierto grado de compactación debida al peso de las máquinas, y una mineralización deficiente de la materia orgánica.

En la mayoría de los casos, cuando la pastura destinada a recuperación ha sido preparada mecánicamente—después de amontonada y quemada la biomasa vegetal—el terreno se ara y rastrilla en secuencia. La alternativa es hacer una sola operación con un rastrillo arador, que es la práctica más común. Esta práctica beneficia considerablemente el suelo, porque con ella se tritura y se incorpora prácticamente toda la biomasa vegetal residual; además, le da buena aireación al suelo y aumenta la mineralización de la materia orgánica. Habrá, pues, mejores condiciones para la germinación de las semillas. Sin embargo, la arada y la rastrillada tienen dos desventajas: los costos altos, y la exposición de gran cantidad de semillas de plantas herbáceas y arbustivas de ciclo corto, anuales y bianuales, que se hallaban en estado de latencia en el suelo. Estas semillas encuentran condiciones excepcionales para su germinación, y las plántulas se desarrollarán compitiendo fuertemente con las especies forrajeras y los cultivos sembrados; se crea así la necesidad de favorecer las plántulas mediante el control manual, mecánico o químico de la vegetación existente.

Para minimizar los efectos de la arada y la rastrillada iniciales, se acostumbra normalmente dar una segunda pasada de rastrillo; ésta eliminará el mayor número posible de malezas herbáceas provenientes de las semillas germinadas con las primeras lluvias. La siembra de las forrajeras se realiza dos o tres semanas después del comienzo de la estación lluviosa. Como puede suponerse, este control de las malezas en presiembra encarece el establecimiento de la pastura, aunque puede ser tan eficiente como el control manual o químico practicado después de la siembra.

Manejo de la siembra

La selección de las especies que se sembrarán y el manejo de la siembra son factores decisivos en el éxito o el fracaso de la renovación de pasturas en esta región.

Forrajeras sembradas. Las forrajeras más usadas para renovar pasturas pertenecen a una generación reciente en que hay especies más adaptadas, en general, a las condiciones ambientales (principalmente edáficas) que las especies pioneras elegidas para la formación de las pasturas de primer ciclo.

Las principales gramíneas, por orden de importancia, usadas para la recuperación de las pasturas degradadas son: *B. humidicola*, *B. brizantha* cv. Marandú, *P. maximum* cv. Colonião y *A. gayanus* cv. Planaltina. La primera de ellas ha sido la más utilizada en este proceso, a pesar de los daños, reales y potenciales, que le causa el salivazo. *Brachiaria brizantha* cv. Marandú ha sido la gramínea de mayor aceptación, y la que más se ha expandido, en los últimos tres o cuatro años; se observa una tendencia semejante, aunque en menor escala, con *A. gayanus* cv. Planaltina y con *P. maximum* cv. Tobiatá. Por su tradición, y por algunas características deseables—rápido crecimiento y excelente calidad—*P. maximum* se utiliza también en el proceso de recuperación de pasturas; se siembra tanto puro como asociado con gramíneas de establecimiento más lento y hábito inicial decumbente o rastro, como *B. humidicola*.

Pocas veces se han sembrado las leguminosas en las pasturas de segundo ciclo. La razón principal de este hecho es que fueron más las experiencias negativas que las positivas cuando se sembraron cultivares comerciales seleccionados fuera de esta región; otra explicación, más reciente, es la falta de semilla comercial de las leguminosas mejor adaptadas. Solamente *P. phaseoloides* y *C. mucunoides* tienden a colonizar las pasturas de segundo ciclo. Se reconoce el papel importante que deben desempeñar las leguminosas en la recuperación de las pasturas degradadas de esta región. Sin embargo, sólo se usarán cuando se disponga de cultivares comerciales de alta estabilidad en las pasturas asociadas y de un valor bioeconómico comprobado.

Siembra de las especies forrajeras. Según el tamaño del área que se renovará y según las especies que se sembrarán, la 'siembra' se hace con material vegetativo o con semilla.

Las pasturas se renuevan con material vegetativo en las fincas pequeñas, generalmente, y utilizando principalmente *B. humidicola*. La

eficiencia de este método de 'siembra' es variable pero, de modo general, y en condiciones climáticas favorables, los resultados son bastante satisfactorios.

En una zona no mecanizada, donde permanecen los restos de la biomasa vegetal no quemada, el material vegetativo se planta manualmente: se abren huecos y en ellos se plantan estolones o los trozos que resulten de la división de los tallos de la gramínea.

En terrenos preparados mecánicamente se ha aplicado el método anterior de plantación manual. También se ha hecho esta operación mecánicamente, esparciendo los estolones sobre el terreno e incorporándolos al suelo enseguida con un rastrillo de discos; o se esparcen los estolones en los surcos dejados por el rastrillo de discos y después se entierran mecánicamente con el mismo rastrillo o con los pies.

Cuando se recuperan grandes extensiones de pasturas degradadas en fincas de tamaño mediano o grande, se siembra generalmente la semilla de las forrajeras seleccionadas, siempre que esté disponible en el mercado. Así se hace con *B. humidicola*, *B. brizantha* cv. Marandú, *P. maximum* cv. Colonião, *A. gayanus* cv. Planaltina y *P. maximum* cv. Tobiatá. Sin embargo, aun en estas fincas, y según la disponibilidad de mano de obra y semilla, el material vegetativo se utiliza para complementar la siembra de la semilla.

Fertilización en la siembra. El efecto fertilizante de la quema de la biomasa boscosa logrado en el proceso de formación de pasturas de primer ciclo, se reduce progresivamente a medida que transcurre el tiempo de uso de la pastura (Falesi, 1976; Serrão et al., 1979). El fósforo, principal nutrimento limitativo en esta región, alcanza niveles muy bajos en el suelo en las fases de degradación de las pasturas; se vuelve al final insuficiente para el establecimiento satisfactorio de una nueva pastura (Serrão et al., 1979). La situación anterior es más frecuente cuando se omite la quema en la preparación del terreno.

Cuando se quema biomasa de mediano a alto volumen, y cuando se utilizan gramíneas de baja exigencia nutricional como *B. humidicola*, la siembra no incluye, generalmente, ninguna fertilización. En estos casos se han obtenido resultados más satisfactorios cuando el área se prepara mecánicamente, tal vez porque hay descompactación del

suelo; este efecto propicia la explotación del suelo por las raíces, así como la mineralización de la materia orgánica que liberará nutrimentos para las forrajeras sembradas.

La gran mayoría de las pasturas degradadas que se recuperan tienen un volumen de biomasa de bajo a moderado. Por consiguiente, la cantidad de nutrimentos que ésta contiene, y que se incorporarán al suelo después de la quema, son bajos; por ello es necesario aplicar fertilizantes.

Durante el proceso de renovación de pasturas en esta región, la fertilización fosfatada es la que más se aplica. Los demás nutrimentos, generalmente menos limitativos, se aplican muy pocas veces, casi siempre cuando se siembran gramíneas asociadas con cultivos anuales.

Los fertilizantes fosfatados que más se utilizan en la región han sido los comerciales en que el P es de rápida solubilidad (superfosfato triple y superfosfato simple); se aplican solos o en mezcla con fuentes de P parcialmente acidificadas. La cantidad de fertilizante que se aplica, a la siembra, para recuperación de pasturas, varía de 20 a 80 kg/ha de P_2O_5 según su costo, las especies que se plantarán, y las condiciones químicas del suelo.

En general, los resultados obtenidos a nivel experimental, principalmente en fertilización fosfatada (Serrão et al., 1979; Dias Filho y Serrão, 1987) se han repetido en algunos predios comerciales de manera satisfactoria y, a veces, contundente, sobre todo en los ensayos con gramíneas exigentes como *P. maximum* y *B. brizantha* cv. Marandú.

Siembra de cultivos. Se siembran cultivos anuales con alguna frecuencia en el proceso de renovación de pasturas degradadas; el maíz y el arroz son los más empleados.

Muchos ganaderos regionales siembran cultivos anuales en asociación con las especies forrajeras por las siguientes razones: a) la producción de esos cultivos alivia los altos costos de renovación de las pasturas; b) en los últimos diez años ha sido más fácil obtener crédito para sembrar cultivos alimenticios en la región, y éste es más atractivo que el que se obtiene para la producción ganadera; c) el aumento de la densidad poblacional en regiones apartadas, y el bajo potencial de

producción de la agricultura migratoria tradicional han incrementado la demanda de productos alimenticios.

En general, la siembra del cultivo anual se hace en asociación con las gramíneas; puede ser manual, abriendo huecos y sembrando en ellos las semillas, o empleando máquinas manuales como las sembradoras de arroz, o sembradoras y fertilizadoras combinadas tiradas por tractores de ruedas. En estas máquinas, las semillas de las forrajeras, mezcladas con el fertilizante, se colocan en un compartimento, y las semillas del cultivo anual en otro.

Pasados cuatro meses para el arroz, y seis para el maíz, los granos ya maduros se recolectan manual o mecánicamente. Para este tiempo la pastura estaría ya completamente establecida.

Aunque en condiciones experimentales se obtienen altas producciones de grano de arroz o maíz, en la práctica son bajas y difícilmente superan los 1500 kg/ha. Las razones son las siguientes: a) los productores de ganado consideran secundarios a los cultivos anuales; b) la fertilización—generalmente sólo la fosfatada—tiene más en cuenta las necesidades de la pastura que las del cultivo; c) según la gramínea sembrada—o sea, si es de rápido establecimiento, de alta exigencia nutricional, o de hábito de crecimiento erecto—la competencia por luz y por nutrimentos puede ser considerable; y d) se eligen variedades de esos cultivos que normalmente se siembran solas y no en asociación con forrajeras. A pesar de todo, la siembra de cultivos en el proceso de renovación de pasturas tiene, en esta región, un gran potencial socioeconómico.

Manejo después de la siembra

La preparación del terreno y la siembra de las forrajeras son factores decisivos en la renovación de las pasturas degradadas. Ahora bien, para que esa renovación sea exitosa, el manejo en el primer año de establecimiento debe ser muy cuidadoso.

La competencia con las malezas es, sin duda, el factor limitativo más importante en esta etapa, y ha causado muchos fracasos en el establecimiento de pasturas de segundo ciclo. Las plagas y las enfermedades también afectan estas pasturas.

Siembra no mecanizada. El suelo presenta, generalmente, gradientes variables de compactación y mineralización reducida de los nutrientes; esta condición ocasiona un retardo en la emergencia de las plántulas, en la siembra de la semilla, y en el enraizamiento de los estolones cuando se planta material vegetativo. Además, hay rebrote de las plantas arbustivas y arbóreas que no fueron destruidas, antes bien, estimuladas algunas veces por la quema de la biomasa de la pastura degradada. También, aunque en menor escala, hay rebrote de las plantas de ciclo corto que resultan de la germinación de las semillas estimuladas por la quema.

La asociación de las pasturas con cultivos anuales en áreas no mecanizadas es poco frecuente, aunque se sabe que en ella la agresividad de las malezas tiende a ser menor que en los cultivos no asociados. Sin embargo, las forrajeras plantadas sí sufren la competencia del cultivo anual. Generalmente se realiza un control manual, utilizando hoz o machete, o aplicando herbicidas a base de 2,4-D (como 2,4-D + picloram, 2,4-D + MCPA), glifosato, o dicamba; estos productos son asperjados al follaje después de hacer un corte con hoz o machete.

Tradicionalmente, el control manual de las malezas se hace a mediados del período seco del primer año, o del período seco del segundo año después de la siembra. Cuando se hace control químico, los herbicidas se aplican en el período lluvioso del primero o segundo año. En uno u otro control, si se siembran gramíneas asociadas con cultivos anuales, rara vez se controlan las malezas durante el primer año.

El control manual de las malezas durante la época seca del año, principalmente en el segundo año después de la siembra, no es un método muy eficiente. Las malezas controladas rebrotan en la época seca y quedan en condiciones favorables para competir con las forrajeras en el período de las lluvias. Es necesario desarrollar métodos más efectivos para el control de las malezas durante la siembra no mecanizada de una pastura.

Siembra mecanizada. Cuando la recuperación de pasturas degradadas comprende la preparación del terreno y la siembra mecanizada, el control de las malezas anterior a la siembra (rastrillada después de las primeras lluvias) ha resultado ser una práctica eficaz desde el punto de vista biológico, aunque cuestionable desde el punto de vista

económico. La rastrillada destruye la mayor parte de las plántulas de especies invasoras herbáceas y arbustivas de ciclo corto; éstas provienen de semillas que, ocultas antes en el suelo, son expuestas por la mecanización a condiciones favorables para su germinación y crecimiento rápido. La rastrillada proporciona a las forrajeras y a los cultivos anuales un ambiente de menor competencia para su desarrollo y, en la mayoría de los casos, un establecimiento bastante satisfactorio.

Cuando no se hace control mecánico de las malezas antes de la siembra, se favorece su crecimiento, sobre todo si son de tipo herbáceo. Estas malezas causan serios problemas de establecimiento a la pastura, especialmente cuando la gramínea plantada es de hábito rastrojero durante su crecimiento inicial, como sucede con *B. humidicola*. Gramíneas como *P. maximum* cv. Colonião y *B. brizantha* cv. Marandú crecen con rapidez y compiten eficientemente con las malezas herbáceas.

Cuando la competencia de las malezas es excesiva, se practica un control mecánico en las siembras no asociadas con cultivos; se emplea para ello una guadañadora que haga corte alto y así rebaje la cantidad máxima del follaje desarrollado por las malezas, causando el mínimo daño a las forrajeras ya sembradas. Se aplica también control químico con herbicidas sistémicos dirigidos a las hojas, con el cual se han obtenido resultados bastante satisfactorios. Las aplicaciones no localizadas del control químico pueden eliminar, por lo menos temporalmente, las leguminosas colonizadoras como *C. mucunoides*.

Aunque los cultivos anuales retardan el establecimiento de las gramíneas sembradas con ellos, ejercen también, aparentemente, cierto control sobre la comunidad de plantas invasoras; en efecto, los cultivos reducen la competencia que éstas últimas hacen a las gramíneas en los primeros cinco a seis meses después de la siembra.

En conclusión, conviene desarrollar métodos económicos y eficaces de control de malezas como parte del proceso de recuperación de pasturas degradadas. Este es, sin duda, un gran desafío para la investigación que se hace en esta región amazónica.

Control de plagas y enfermedades. A diferencia de lo que generalmente ocurre durante el establecimiento de las pasturas de primer

ciclo, las plagas y las enfermedades son limitantes en el establecimiento de pasturas de segundo ciclo o de ciclos subsecuentes.

Muchos insectos y sus huevos son destruidos por el fuego y por la preparación mecánica del área; a pesar de ello, estas plagas causan daños durante los primeros dos años después de la siembra.

En la fase de establecimiento, principalmente en el primer año, las larvas de insectos como *S. frugiperda* y *M. latipes* tienden a causar más daños en las siembras de *P. maximum*, *A. gayanus* y *Brachiaria* spp. que el salivazo de las pasturas. En el segundo año después de la siembra, en cambio, el salivazo puede causar daños a las siembras de *Brachiaria* spp. porque para entonces su población ha aumentado considerablemente. Durante los años que siguen a la quema masiva de un pastizal vecino, la incidencia de larvas 'militares' y de salivazo es relativamente alta en las pasturas recién sembradas. Aparentemente, la quema de los pastizales reduce mucho el sustrato alimenticio de estas plagas al comienzo de la estación lluviosa, obligándolas a emigrar hacia las áreas recién plantadas; ahora bien, las plagas advenedizas junto con las que ya habitan esa área pueden causar daño al establecimiento de las pasturas.

No es muy común controlar las plagas durante el proceso de establecimiento de las pasturas de segundo ciclo, a no ser cuando se controlan, esporádicamente, los ataques de la larva de *S. frugiperda* al maíz en las siembras asociadas. En algunos casos se ha intentado el control del salivazo asperjando cepas comerciales del hongo *Metarrhizium anisopliae* al momento de la siembra de *Brachiaria* spp. Sin embargo, estos intentos no han dado resultados satisfactorios por razones que aún no han sido bien entendidas.

Las enfermedades más importantes, como sucede con las pasturas de primer ciclo, son las causadas por *Tilletia ayiresii* y *Fusarium roseum* en semillas de *P. maximum*; estas enfermedades reducen la eficiencia del mecanismo de resiembra de la gramínea en los dos primeros años, dificultando la consolidación del establecimiento en el segundo año.

Las enfermedades y las plagas que atacan de preferencia las leguminosas forrajeras en esta región no han tenido, hasta ahora, mucha

importancia en la renovación de las pasturas degradadas, ya que en éstas se siembran poco las leguminosas. No obstante, se espera que en el futuro próximo se usen más las leguminosas forrajeras en las pasturas regionales; para entonces convendrá disponer de cultivares resistentes o muy tolerantes a esas plagas y enfermedades.

Establecimiento de Sistemas Agrosilvopastoriles

Algunos investigadores han indicado que el modelo de producción agropecuaria más adecuado para recuperar pasturas degradadas es aquél que asocie cultivos anuales o perennes con pasturas y árboles de uso múltiple. Se ha llegado a esta conclusión considerando, primero, aspectos biológicos, ecológicos y socioeconómicos propios del trópico húmedo amazónico, y evaluando, en segundo lugar, experiencias obtenidas en los sistemas de producción pecuaria establecidos en pasturas abiertas, que hayan demostrado ser de baja eficiencia ecológica y socioeconómica.

Las experiencias regionales hechas con sistemas agrosilvopastoriles a nivel comercial son escasas porque la densidad de población humana en casi toda la región es todavía baja, y porque el modelo de explotación agropecuaria implementado en el proceso de desarrollo regional no es el mejor. Se espera por tanto que, al aumentar la población y al disminuir en consecuencia las áreas de bosque, los sistemas extensivos de producción pecuaria vigentes en algunos polos de desarrollo de la región se trasformarán progresivamente en sistemas agropastoriles, silvopastoriles o agrosilvopastoriles.

Hay pocos sistemas de producción que integren pasturas y cultivos perennes, o especies forestales, inmediatamente después de la tumba y quema del bosque; tampoco lo hacen en el proceso de recuperación de pasturas degradadas del trópico húmedo de la Amazonia brasileña. Los pocos conocidos son los siguientes:

Sistemas agropastoriles

- Caucho (*Hevea* spp.) con *P. phaseoloides*, establecidos por la Compañía Agroindustrial Pirelli; y con pasturas de *B. humidicola*

en otras fincas de menor tamaño próximas a Belém, Estado de Pará.

- Palma africana (*Elaeis guianensis*) con *P. phaseoloides*, establecidos por la Compañía Dendé do Pará S.A. (DENPASA) en las proximidades de Belém, Estado de Pará.
- Achiote (*Bixa orellana*) con pasturas de *B. humidicola*, en diversas fincas de pequeño a mediano tamaño de la región amazónica considerada.

Sistemas silvopastoriles

- Pino (*Pinus caribea*) con pasturas de *B. humidicola* y *P. maximum*, establecidos por la Compañía Jarí Agroforestal, en el municipio de Monte Dourado, en el límite entre el Estado de Pará y el Territorio Federal de Amapá.
- Castaña de Brasil (*Bertholletia excelsa*) con pasturas de *B. humidicola*, en el municipio de Itacoatiara, Estado de Amazonas.
- En casi todos estos sistemas, el componente pastura-animal se considera fuente de ingreso temporal, para minimizar los costos de establecimiento o de mantenimiento del cultivo. El cultivo principal se establece respetando sus características agronómicas, y se dejan de lado, comúnmente, las necesidades del sistema pastura-animal.

Sistemas agropastoriles

En los sistemas agropastoriles caucho + *P. phaseoloides* y palma africana + *P. phaseoloides*, que se establecen después de la tumba y quema de los bosques secundarios, la siembra de los cultivos se hace teniendo en cuenta las necesidades de éstos; la leguminosa se siembra entre los surcos del cultivo, aprovechando la fertilización residual derivada de la quema de la biomasa del bosque secundario.

La leguminosa se siembra por estas cuatro razones principales:
1) cubrir el suelo durante la vida del cultivo principal, especialmente

en su establecimiento; 2) reducir la infestación de las malezas, disminuyendo así los costos de mantenimiento; 3) contribuir el reciclaje de nutrimentos en el sistema tanto por su incorporación al suelo, como por la fijación biológica de nitrógeno atmosférico; 4) proporcionar alimento a los animales, junto con gramíneas nativas como *Paspalum conjugatum*, *Axonopus compressus*, *Homolepis aturensis* y *Paspalum* spp., en sistemas de pastoreo compatibles con el desarrollo del cultivo industrial.

Estos sistemas agropastoriles soportan el pastoreo controlado sólo después del establecimiento completo de la leguminosa—generalmente, dos años después de la siembra—con tal que aquél no interfiera con el desarrollo del cultivo.

Recientemente, a raíz del interés despertado por el achiote para fines industriales, y con el objetivo de minimizar los costos de establecimiento del sistema, se ha introducido en él *B. humidicola*. La distancia de siembra para el achiote puede ser de 5 x 5 m, de 4 x 5 m, o de 6 x 6 m; *B. humidicola* se siembra vegetativamente entre los surcos, al segundo año después de la siembra del cultivo.

Sistemas silvopastoriles

En el sistema silvopastoril de pino y pastura de *B. humidicola*, diseñado por la Compañía Jarí Agroforestal y en funcionamiento desde hace más de una década, el cultivo es el componente principal y la ganadería el componente secundario. Este sistema pretende dos cosas: 1) proteger el suelo—e incluso mejorarlo—por medio de la pastura, y reducir la presencia de las malezas; 2) obtener del animal un retorno económico durante el establecimiento y el desarrollo del cultivo.

El terreno se prepara tumbando y quemando la biomasa; la tumba puede ser manual o mecánica, y la primera es más frecuente. Durante el establecimiento de la pastura (segundo año después de la siembra de la gramínea) se hace una limpieza de malezas. Se siembra *B. humidicola*, ya sea por semilla o con material vegetativo, el mismo año en que se siembra el pino o, menos frecuentemente, el segundo año; la gramínea va entre las líneas del cultivo de pino, cuya distancia entre plantas varía de 4 x 4 m a 5 x 5 m.

El pastoreo no causa daños serios a las plantas jóvenes de pino porque los animales evitan el contacto con las ascúculas puntiagudas; no obstante, el área se somete a pastoreo solamente desde el tercer año de la siembra de la gramínea, cuando los pinos ya están bien desarrollados.

En el sistema en que la castaña de Brasil se asocia con pasturas de *B. humidicola* en el municipio de Itacoatiara, las castañeras se siembran a distancias de 20 x 20 m o de 10 x 20 m durante el proceso de recuperación de las pasturas de *P. maximum* (primer ciclo) ya degradadas. Después de quemar la biomasa de bajo volumen y preparar mecánicamente el terreno, se siembran las castañeras. *B. humidicola* se siembra el mismo año, o al segundo año, de la siembra de las castañeras.

Se fertilizan solamente las castañeras aplicando superfosfato triple de la siguiente manera: 100 g en el primer año, 200 g en el segundo, y 300 g en el tercero, por cada planta. Tal vez por el bajo volumen de biomasa que hay en el área antes de la siembra, la falta de fertilización ocasiona un retardo considerable en el establecimiento de *B. humidicola*.

Conclusiones

Pasturas de primer ciclo. El ritmo de expansión que ha alcanzado actualmente la ganadería en las regiones boscosas del trópico húmedo de la Amazonia brasileña debe contenerse, porque esa industria se desarrolla a expensas de nuevos segmentos del bosque sustituyéndolos por pasturas. Hay además una tendencia a utilizar más intensivamente las áreas ya explotadas para obtener en ellas mayor producción pecuaria, y de otros productos, por unidad de área.

Prescindiendo de esta tendencia, se considera que el método tradicional, o el mecanizado, de tumba seguida de quema es, generalmente, adecuado para la formación de pasturas del primer ciclo en las condiciones ambientales y socioeconómicas de esa región. Las gramíneas de mediana y alta exigencia nutricional, como *B. brizantha* cv. Marandú y *P. maximum* cv. Colonião, se pueden establecer satisfactoriamente sin necesidad de aplicar fertilizantes u otros insumos. No obstante, si se

consideran la cantidad y la calidad de los recursos explotados en este proceso, un ecosistema abierto de pasturas puras de primer ciclo, establecido en un área antes ocupada por el bosque, es de baja eficiencia ecológica, bioeconómica, y social.

Los siguientes factores específicos se consideran limitantes del establecimiento de las pasturas de primer ciclo:

- Las enfermedades de la semilla de *P. maximum*, principalmente las causadas por *Tilletia ayresii* y *Fusarium roseum*, que dificultan la resiembra natural de la gramínea en el primero y segundo año después de la siembra y, por ende, la consolidación del establecimiento de la pastura.
- La baja eficiencia bioeconómica de los métodos manuales y químicos empleados comúnmente para controlar las malezas, principalmente las perennes.
- La productividad, generalmente baja, de las variedades comerciales de los cultivos alimenticios sembrados con las pasturas durante el primer ciclo.
- La escasez de leguminosas adaptadas que sean más compatibles con las gramíneas empleadas comúnmente para establecer pasturas de primer ciclo.
- La falta de cultivos y árboles de uso múltiple, y más compatibles con aquellos sistemas de producción que integren la producción animal y la vegetal en forma sostenible.

Pasturas de segundo ciclo. En la región amazónica del Brasil se están aplicando tecnologías para recuperar pasturas degradadas; en este proceso se usa un nivel de insumos de moderado a alto. Se han obtenido así resultados positivos desde el punto de vista biológico, aunque cuestionables desde el ángulo económico si se considera la reducción progresiva de los incentivos y subsidios que sustentaban las tecnologías basadas en muchos insumos.

Los principales factores limitativos de la renovación de pasturas degradadas, son los siguientes:

- Los métodos mecanizados que se emplean actualmente elevan los costos de preparación del terreno y de siembra de las forrajeras.
- Las condiciones físicas (compactación) y químicas (poca disponibilidad de nutrimentos) del suelo son inadecuadas para la siembra y el establecimiento de especies forrajeras y de cultivos.
- Las gramíneas disponibles comercialmente son de crecimiento lento después de la siembra y, por ello, compiten poco con las malezas.
- La falta de leguminosas forrajeras adaptadas a los suelos de baja fertilidad, que se sembrarán en asociación con gramíneas y cultivos.
- Las plagas y enfermedades de gramíneas y leguminosas que afectan su establecimiento y persistencia.
- Los altos costos de insumos como los fertilizantes, los herbicidas y las semillas.
- La adaptación deficiente de las forrajeras y de los cultivos anuales a los sistemas en que se integran con árboles de uso múltiple.
- La baja eficiencia bioeconómica de los métodos empleados para controlar las malezas durante el establecimiento de las pasturas.
- El conocimiento imperfecto sobre la eficiencia de diversas fuentes de fertilizantes, principalmente de los fosfatados, y sobre los métodos de fertilización; esto impide lograr una aplicación más eficiente de estos insumos en el proceso de establecimiento de las pasturas.
- El desconocimiento de las respuestas bioeconómicas al uso de inoculantes en la siembra de las leguminosas.

Prioridades de Investigación

Consideradas ya las principales limitantes del establecimiento de pasturas en el trópico húmedo amazónico, los siguientes deberían ser temas prioritarios de investigación:

Investigación básica

- Ecología y biología de las malezas.
- Biología y ecología del salivazo.
- Reciclaje de nutrientes en las pasturas.
- Microbiología del suelo sembrado con pasturas (principalmente *Rhizobium*, *Micorrhizae*, *Azospirillum*).

Investigación aplicada

Para las pasturas de primero y segundo ciclo, se recomienda:

- Selección de germoplasma forrajero adaptado a los suelos de baja fertilidad y a factores bióticos.
- Selección de cultivos y de especies arbóreas que sean apropiados—unos y otras—para sembrarlos asociados con plantas forrajeras.
- Métodos de establecimiento de las forrajeras en asociación con cultivos y árboles de múltiple finalidad.
- Control de malezas.

Referencias

- Bastos, T. X. 1982. O estado atual dos conhecimentos das condições climáticas da Amazonia brasileira. En: Zoneamento agrícola da Amazonia; 1a. aproximação. Boletim técnico 54. IPEAN, Brasil. p. 64-122.
- Dias Filho, M. B. 1987. Espécies forrageiras e estabelecimento de pastagens na Amazonia. Documento no. 46. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Brasil. 49 p.

- ____ y Serrão, E. A. S. 1983. Principais doenças associadas a leguminosas e gramíneas em ecossistemas de floresta da Amazonia oriental brasileira. Comunicado técnico 37. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Brasil. 4 p.
- ____ y _____. 1987. Limitação da fertilidade do solo na recuperação de pastagem degradada de capim colônio (*Panicum maximum* Jacq.) em Paragominas na Amazonia oriental. Boletim de pesquisa 87. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Brasil.
- EMBRATER (Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural). 1979. Manual técnico de pecuária de corte: Bovinos e bubalinos em Pará, Amapá e Roraima. Brasília, Brasil. 188 p.
- Falesi, I. C. 1976. Ecossistema de pastagem cultivada na Amazonia brasileira. Boletim técnico no. 1. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Brasil. 193 p.
- ____. 1989. Estado atual de conhecimento de solos da Amazonia brasileira. En: Anais do Primeiro Simpósio do Trópico Úmido. Documento no. 36. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Brasil.
- Fearnside, P. M. 1989. Deforestation in Brazilian Amazonia. Department of Ecology, National Institute for Research in the Amazon.
- Hecht, S. B.; Norgard, R. B. y Possio, G. 1988. The economics of cattle ranching in eastern Amazonia. *Interciencia* 13(5):233-240.
- Kitamura, P. C.; Dias Filho, M. B. y Serrão, E. A. S. 1982. Análise econômica de algumas alternativas de manejo das pastagens cultivadas em Paragominas, PA. Boletim de pesquisa no. 41. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Brasil. 44 p.
- Mahar, D. J. 1989. Government policies and deforestation in Brazil's Amazon region; A World Bank publication. Washington, D.C., E. U.
- Nascimento, C. N. B. y Homma, A. K. O. 1984. Amazonia: meio ambiente e tecnologia agrícola. Documento no. 27. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Brasil. 282 p.
- Serrão, E. A. S. y Couto, A. J. 1987. Aspectos bio-socioeconômicos relacionados as pastagens do trópico úmido amazonico brasileiro. Quinta Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales, David, Panamá. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

- ____ y Kitamura, P. C. 1988. Pecuária na Amazonia: Algumas implicações-bio-socioeconômicas da implantação e uso de pastagens no processo de desenvolvimento de pecuária. Trabajo presentado en el simposio Produtividade Agroflorestal na Amazonia: Problemas e Perspectivas. Faculdade de Ciencias Agrárias do Pará (FCAP), Belém, Brasil. p. 43-85.
- ____; Falesi, I. C.; Veiga, J. B. y Teixeira Neto, J. F. 1979. Productivity of cultivated pastures in low fertility soils of the Amazon of Brazil. 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. 195-225.
- Silva, A. B. y Magalhaes, B. P. 1980. Insetos nocivos as pastagens no Estado do Pará. Boletm de pesquisa no. 8. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido (EMBRAPA-CPATU), Belém, Brasil. 20 p.
- Uhl, C. y Parker, G. 1986. Is a quarter-pound hamburger worth a half-ton of rain forest? *Interciencia* 11(5):213-215.
- ____; Buschbacher, R. y Serrão, E. A. S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia; 1: Patterns of plant succession. *J. Ecol.* 76:663-681.

Establecimiento de Pasturas en los Llanos Orientales de Colombia

Silvio Guzmán y Raúl R. Vera

Introducción

La región oriental de Colombia puede subdividirse en dos grandes zonas ecológicas: la Amazonia Colombiana y los Llanos Orientales. Estos están cubiertos de vegetación de sabana surcada por algunos bosques de galería.

Las sabanas de los Llanos Orientales, también llamadas Orinoquia Colombiana, ocupan aproximadamente 17 millones de hectáreas; dentro de esta región se encuentra la altillanura plana, cuya extensión es de 3.4 millones de hectáreas (Cochrane y Sánchez, 1981). La región se caracteriza por la predominancia de suelos con relieve plano, ácidos (pH 4.5), y con alta saturación de aluminio (86%). Su temperatura media es de 28° C, con una precipitación anual de 2200 mm al año y una evapotranspiración potencial de 2300 mm; la estación seca es muy definida y va de mediados de diciembre hasta finales de marzo. La altitud de esta región es de 150 a 200 msnm (Cochrane y Sánchez, 1981). La vegetación nativa comprende, en su mayor parte, gramíneas de escaso valor nutritivo; hay poco forraje disponible en las áreas quemadas que son pastoreadas de preferencia por el ganado (Alvarez y Lascano, 1987).

La baja productividad de la sabana nativa, en términos de producción animal, ha sido ampliamente documentada en trabajos realizados tanto en la estación experimental (Paladines, 1975; Paladines y Leal, 1979) como en las fincas de los Llanos Orientales (Kleinheisterkamp y Häbich, 1985). Esa productividad va de 15 a 30 kg/ha de peso vivo al año, y está asociada a una baja capacidad de carga (0.2 a 0.3 A/ha) y a bajos niveles de producción animal individual (60 a 90 kg/A por ha).

Silvio Guzmán es zootecnista M.Sc., fue asociado de investigación en el Programa de Pastos Tropicales del CIAT, y actualmente es investigador del ICA en la Estación Turipaná, en Montería, Colombia. Raúl R. Vera es zootecnista, investigador principal en sistemas de producción de ganado en el mismo Programa.

Por otra parte, se ha informado que la introducción de gramíneas y leguminosas adaptadas a las condiciones edáficas y bióticas prevalentes permiten lograr aumentos significativos en la producción por animal (150 a 180 kg/A por año) y por unidad de superficie (200 a 300 kg/ha de PV por año) (Lascano y Toledo, 1987; Guzmán, 1986).

La siembra de pastos mejorados en los Llanos Orientales de Colombia tiene una historia relativamente reciente porque se ha ofrecido poco germoplasma bien adaptado a los suelos ácidos (Toledo, 1985). Han contribuido a esa tardanza la falta de infraestructura vial, la escasez de maquinaria agrícola, y la poca disponibilidad de insumos (p. ej., fertilizantes). En este capítulo se discuten experiencias adquiridas en la siembra de pastos, en un proyecto de validación y transferencia de pasturas, a nivel de las fincas, en los Llanos Orientales de Colombia.

Validación de Tecnología

En 1979, el Programa de Pastos Tropicales del CIAT tomó la decisión de evaluar la productividad y la persistencia de las asociaciones de gramíneas y leguminosas en diferentes sistemas comerciales de producción de ganado de los Llanos Orientales de Colombia. El objetivo específico de este proyecto era la evaluación de gramíneas y leguminosas en estado avanzado de selección, para determinar su persistencia y calcular su contribución a la producción animal bajo condiciones de pastoreo.

Este trabajo se inició en siete fincas situadas en la sabana bien drenada, de área variable (de 380 a 6800 ha), y escogidas de un grupo de 16 fincas estudiadas antes en el Proyecto de Evaluación Técnica y Económica de Sistemas de Producción Pecuaria (ETES) (Kleinheisterkamp y Häbich, 1985).

En las fincas seleccionadas se hizo un análisis de caracterización de suelos que reveló una amplia variación en su textura (Cuadro 1), pero poca variación en su composición química.

Se observó que los suelos de las fincas escogidas tenían proporciones variables de arena, en un rango de 12% a 70%. Eran además

Cuadro 1. Caracterización del suelo de Carimagua y de las fincas estudiadas.

Localización	Contenido (%) de:			pH	P (ppm)	Al	CEC	Sat. Al
	Arena	Limo	Arcilla	(1:1)H ₂ O	Bray II	(meq/100 g)		(%)
Carimagua	12	50	38	4.1	1.5	3.6	4.1	86.5
Altagracia	12	50	38	4.4	2.5	2.3	2.7	87.6
Leonas	17	36	47	3.7	2.4	2.9	3.2	92.9
Margaritas	20	32	48	4.3	1.6	3.0	3.3	90.3
Paraíso	38	23	38	4.5	2.2	2.0	2.1	94.9
El Viento	38	23	38	4.5	2.2	2.0	2.1	94.0
Guayabal	56	20	23	4.2	1.8	1.2	1.3	88.7
Altamira	70	12	18	4.7	7.4	0.9	1.1	83.0

ácidos, con bajo nivel de fósforo, con alta saturación de aluminio (83% a 95%), y con baja capacidad de intercambio catiónico.

Selección de especies forrajeras

Las especies de gramíneas y leguminosas disponibles para establecimientos comerciales y adaptadas a las condiciones de sabana eran muy escasas cuando se inició el proyecto. Se contaba con las gramíneas *Andropogon gayanus*, *Brachiaria humidicola* y *Brachiaria decumbens*. Las leguminosas disponibles para esta primera etapa de validación fueron *Stylosanthes capitata* y *Desmodium ovalifolium*. Con unas y otras se conformaron las siguientes pasturas:

Andropogon gayanus + *Stylosanthes capitata*
Andropogon gayanus + *Desmodium ovalifolium* (bancos)
Brachiaria decumbens + *Desmodium ovalifolium*
Brachiaria decumbens + *Desmodium ovalifolium* (bancos)
Brachiaria decumbens + *Stylosanthes capitata*
Brachiaria humidicola + *Desmodium ovalifolium*

Las responsabilidades de las partes comprometidas en el proyecto se definieron en reuniones a las que se invitó a los productores; éstos

prometieron contribuir con la tierra, la preparación del suelo, las cercas, y los fertilizantes. Por su parte, el proyecto de validación del Programa de Pastos Tropicales del CIAT ofrecía semilla, inoculante, mano de obra para la siembra, y supervisión técnica. Cuando el productor no contaba con recursos para la compra de insumos, el PV se los financiaba sin intereses al capital. Todos los productores garantizaron la admisión en la finca, en forma continuada, de los técnicos del Programa de Pastos Tropicales que tomaban los datos.

Una vez escogidos los lotes para la siembra, se procedió a la ejecución de los trabajos de campo, en los que intervinieron mucho los técnicos del proyecto.

Preparación del terreno

Para la operación de preparación del suelo se pasó un rastrillo de dos cuerpos (californiano) sobre la vegetación nativa sin quemar, una o dos veces al final de la estación lluviosa. El tercer pase de rastrillo se hizo en la siguiente época de lluvias. Después de varias experiencias, y partiendo de trabajos realizados en la estación de Carimagua, se consideraron indispensables para una buena preparación del terreno las siguientes prácticas:

- a. Quema de la sabana al final de la época de lluvias (noviembre o diciembre) del año anterior a la siembra.
- b. Después de esta quema, hacer un primer pase con el rastrillo (californiano) de dos cuerpos. El propósito de esta práctica temprana es controlar la vegetación nativa, y disminuir los hormigueros que afectan el crecimiento y desarrollo de las plántulas después de la siembra.
- c. Al comienzo de la época lluviosa del siguiente año, hacer un segundo pase de rastrillo y, si fuere necesario, hacer un tercer pase. Lo fundamental es evitar la sobrepreparación del terreno para prevenir el enterramiento o el lavado de la semilla. Es recomendable sembrar después de dos o tres lluvias fuertes, porque éstas dan al suelo buena consistencia, sobre todo si es arenoso.

Fertilización

En las fincas se siguieron las recomendaciones generales de fertilización del Programa de Pastos Tropicales del CIAT. El fertilizante se esparció a voleo mezclado con la semilla de la leguminosa previamente inoculada. Los niveles de fertilización aplicados por hectárea fueron: 22 kg de P, 22 kg de K₂O, 11 kg de Mg, y 22 kg de S.

Siembra

Las siembras se iniciaron en mayo de 1979 y finalizaron en 1981; a diferencia de otras regiones, por ejemplo Brasil, aquéllas se hicieron en forma directa, es decir, no asociadas con un cultivo. La época de siembra se extendió de abril a agosto, cuando la precipitación es adecuada y confiable. En algunos casos, la siembra se alargó hasta octubre corriendo el riesgo de lograr un establecimiento deficiente y el consiguiente retraso en la iniciación del pastoreo.

La cantidad de semilla de cada especie, al momento del establecimiento, fue la siguiente: 8 a 10 kg/ha de *Andropogon gayanus*, 2 kg/ha de *Desmodium ovalifolium*, y 3 kg/ha de *Stylosanthes capitata*. Sólo en una de las siete fincas la siembra se realizó en forma combinada, es decir, utilizando material vegetativo y semilla.

El método de siembra más empleado en las fincas fue la siembra a voleo, en que se mezclaba la semilla de la leguminosa, previamente inoculada, con el fertilizante a base de fósforo. La semilla se colocaba en una abonadora de tolva (voleadora) acoplada a un tractor, y se esparcía en un área de 1 ha; terminada ésta, la operación se repetía en la misma forma hasta cubrir todo el lote en cada finca.

La semilla de *Andropogon gayanus* se esparció a voleo desde un remolque tirado por un tractor o desde el platón de una camioneta. La de *Brachiaria decumbens* se mezcló con el fertilizante y se esparció como se hizo con la leguminosa. En el caso de *Brachiaria humidicola*, se plantó material vegetativo en surcos separados un metro uno de otro.

Resultado de la siembra. Se consideró útil evaluar las pasturas sembradas en su fase posterior al establecimiento, y hacer luego seguimiento a su persistencia y a su nivel de productividad animal.

En total, se sembraron 877 ha y se consideró que sólo se establecieron 771 ha; la pérdida fue, por tanto, de 12% del total sembrado (Cuadro 2). Los principales problemas ligados a las pérdidas en el establecimiento de las pasturas fueron la sobrepreparación del terreno, la baja calidad de la semilla, y las plagas, especialmente las hormigas.

Cuadro 2. Area sembrada, área establecida y pérdida ocurrida en el proyecto de validación de tecnología de pasturas en 1979-1981, en los Llanos Orientales de Colombia.

Finca	Total sembrado (ha)	Total establecido (ha)	Pérdida (%)
El Viento	221	170	23
Leonas	50	45	10
Guayabal	113	98	13
Paraíso	210	185	12
Margarita	80	80	—
Altagracia	170	160	6
Altamira	33	33	—
Total o promedio	877	771	12

Evaluación de las pasturas

Durante seis años, las especies establecidas en el PV fueron evaluadas agrónomicamente y según la ganancia de peso que generaban. Un ejemplo de los resultados de este seguimiento de la pradera se aprecia en la mezcla de *Andropogon gayanus* + *Stylosanthes capitata* después de ocho años de pastoreo. La materia seca disponible se mantuvo relativamente constante hasta el quinto año, y declinó luego por sobrepastoreo, particularmente en el octavo año. La oferta de la leguminosa tendió a disminuir, lo cual se explica por la bianualidad de *Stylosanthes capitata* (Toledo et al., 1987). Sin embargo, la población de plántulas de leguminosas era muy alta cuando se evaluó la pastura, gracias a su alta producción de semilla; esta característica le ha asegurado su persistencia después de ocho años. En el Cuadro 3 se resume la producción animal obtenida durante cinco años; se observa en él que las ganancias de peso se han sostenido en el tiempo, y han sido muy

Cuadro 3. Comportamiento productivo de novillos que pastorean una asociación de *Andropogon gayanus* + *Stylosanthes capitata* en una finca de las sabanas tropicales de Colombia.

Variable de producción	1982	1983	1984	1985	1986	$\bar{X}$
Número de animales	80	70	68	57	54	66
Días de pastoreo	280	281	276	201	216	250
Peso inicial (kg)	290	319	311	338	269	305
Peso final (kg)	430	484	482	483	367	449
Ganancia peso/período (kg)	140	166	171	165	98	147
Ganancia peso/animal.día (kg)	0.495	0.590	0.625	0.804	0.435	0.589
Carga animal/ha	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.4

similares a las obtenidas en la estación experimental de Carimagua (Thomas et al., 1987).

Proyecto Colaborativo ICA-CIAT de Trasferencia de Tecnología

El inusitado interés que despertó en la región de los Llanos Orientales el trabajo de validación tecnológica en las fincas, previamente descrito, condujo a la creación de un proyecto piloto de transferencia de tecnología sobre el establecimiento de pastos, desarrollado por el ICA y el CIAT a nivel de la finca. Su principal objetivo era formar una base de apoyo para la siembra de pastos mejorados en gran escala en los Llanos Orientales. En las primeras etapas se consideró de mucha importancia promover la siembra de aquellos cultivares comerciales de gramíneas y leguminosas sobre los cuales había ignorancia entre los productores.

Se enfatizó además la necesidad de responsabilizar más al productor de las actividades de la siembra. Los técnicos del proyecto se encargarían únicamente de dar recomendaciones para el establecimiento de la pastura, reduciendo así su intervención.

Gracias a este proyecto, hacia finales de 1988 se habían establecido más de 6500 ha de gramíneas y leguminosas mejoradas, en 120 fincas

ganaderas de las cercanías de Puerto López y Puerto Gaitán, en los Llanos Orientales de Colombia (Cuadro 4).

El número de ganaderos que se ofrecieron a participar en el proyecto excedió los recursos disponibles. Por ejemplo, durante 1988 se recibieron unas 100 solicitudes, pero sólo se aceptaron 36.

Cuadro 4. Establecimientos comerciales de pasturas en fincas de los Llanos Orientales de Colombia.

Especies sembradas	Pastura establecida (ha)			
	1986	1987	1988	Total
<i>Andropogon gayanus</i> + <i>Stylosanthes capitata</i>	210	2500	480	3190
<i>Andropogon gayanus</i> + <i>Centrosema brasilianum</i>	30	80	150	260
<i>Andropogon gayanus</i> + <i>Pueraria phaseoloides</i>	—	—	20	20
<i>Andropogon gayanus</i> + <i>Centrosema acutifolium</i>	10	10	—	20
<i>Andropogon gayanus</i>	30	120	—	150
<i>Brachiaria decumbens</i> + <i>Stylosanthes capitata</i>	25	570	380	975
<i>Brachiaria decumbens</i> + <i>Centrosema brasilianum</i>	—	—	100	100
<i>Brachiaria decumbens</i>	—	250	100	350
<i>Brachiaria dictyoneura</i> + <i>Stylosanthes capitata</i>	—	200	—	200
<i>Brachiaria dictyoneura</i> + <i>Centrosema brasilianum</i>	—	—	40	40
<i>Brachiaria dictyoneura</i> + <i>Arachis pintoi</i>	—	30	—	30
<i>Brachiaria dictyoneura</i>	50	450	455	935
<i>Brachiaria humidicola</i> + <i>Arachis pintoi</i>	—	—	20	20
<i>Stylosanthes capitata</i>	30	140	55	225
<i>Arachis pintoi</i>	5	5	—	10
Total	390	4255	1800	6525

Problemas de la Siembra Comercial de Pastos

Hay recomendaciones para la siembra comercial de asociaciones de gramíneas y leguminosas. Se basan en experiencias previas obtenidas en las fincas de los productores y en los trabajos de establecimiento de pasturas hechos en el CNIA de Carimagua. De otro lado, a medida que se extendía el proyecto antes mencionado y se sembraban más pasturas, se identificaron zonas afectadas, en mayor o menor grado, por uno o más de los siguientes problemas:

1. Preparación del terreno.
2. Aplicación de fertilizantes.
3. Calidad y disponibilidad de las semillas.
4. Uso de inoculantes.
5. Sistemas de siembra.
6. Topografía del terreno.
7. Plagas.
8. Infraestructura de vías.

Preparación del terreno

La dificultad básica que se presentó fue la escasez de maquinaria agrícola, porque las fincas de la región no tienen tradición en cultivos y las áreas cultivadas son mínimas. Otro problema específico, y muy generalizado, fue la sobrepreparación del terreno, con el consiguiente problema de lavado y enterramiento de la semilla.

Aplicación de fertilizantes

Con el uso de fertilizantes, especialmente de P, en la siembra de las especies forrajeras, se observó que había un absoluto distanciamiento entre los niveles de fertilización recomendados en la estación experimental, y los que aplican los productores (Cuadro 5). A pesar de que éstos aplicaron niveles de P inferiores a los recomendados, las praderas se

Cuadro 5. Tamaño promedio de las fincas y de los potreros, y cantidad recomendada y aplicada de fertilizantes, en el establecimiento de pasturas en los Llanos Orientales de Colombia, de 1986 a 1988.

Fincas:	Número	Area (ha)	Potrero (ha)	Total (ha)	PM^a (ha)
	120	1498	54	179,760	6425 (3.5%)
Fertilizantes:		P₂O₅	K₂O	Mg	S
- Recomendados (kg/ha)		50	22	11	22
- Aplicados (kg/ha)		24	0	0	0

a. PM = área de las fincas cubierta con pastos mejorados; el porcentaje entre paréntesis se refiere al área de todas las fincas del proyecto.

establecieron. Por otra parte, los productores no utilizaron fuentes de K, de Mg, ni de S, elementos que se consideran hoy necesarios para el buen establecimiento de ciertas leguminosas, como *Centrosema acutifolium* cv. Vichada.

Entre las causas que explican el poco uso que hacen los productores de los fertilizantes se citan su alto costo, su escasa disponibilidad, y la ignorancia que tienen ellos de los beneficios que derivarían de la fertilización.

Semilla: calidad y disponibilidad

Disponer de semilla de buena calidad durante los tres años de este trabajo ha sido una de las necesidades básicas del establecimiento de pasturas en los Llanos Orientales. La semilla utilizada ha provenido de diferentes lugares del país, y su calidad—por ejemplo, la recibida en 1986 y 1988, especialmente la de *A. gayanus*—ha sido baja. La semilla de las leguminosas ha tenido problemas de disponibilidad, porque su uso no es tradicional en la zona, y las empresas semillistas no la producen a escala comercial. Para suplir esta deficiencia, se han hecho esfuerzos para que los ganaderos progresistas produzcan semilla en sus predios con la asesoría de los técnicos del proyecto.

De algunas gramíneas recién liberadas, por ejemplo *Brachiaria dictyoneura* o pasto llanero, ha habido poca oferta de semilla; en estos casos, los productores han plantado material vegetativo, operación que minimiza los riesgos pero aumenta los costos.

Inoculantes

Otra limitante del establecimiento de asociaciones de gramíneas y leguminosas en los Llanos Orientales son los inoculantes para las leguminosas. Se han identificado ya tres problemas:

- a. Poca oferta de inóculos comerciales.
- b. Mal manejo del inóculo como producto biológico altamente degradable.
- c. Poco conocimiento de los inóculos entre los productores.

Sistemas de siembra

El sistema que más se ha aplicado en las fincas es la siembra a voleo, en buena parte porque se dispone de poca maquinaria apropiada en la región para sembrar en línea. La siembra a voleo ha sido exitosa en el establecimiento, principalmente cuando se utiliza semilla muy liviana como la de *Andropogon gayanus*. Una de las acciones de difusión de tecnología ha consistido en impulsar la siembra en línea, sistema que ofrece la doble ventaja de que las plantas aprovechan el fertilizante con mayor eficiencia y que las malezas se controlan más fácilmente. Conviene indicar que las malezas no han sido una dificultad seria en el establecimiento de las pasturas ya que la mayor parte de éstas ha sido sembrada en sabanas vírgenes. Sin embargo, se prevé que en la medida en que se siembren pastos para renovar pasturas degradadas o se introduzcan cultivos antes de la siembra de los pastos, las malezas pueden convertirse en un problema de consideración.

Topografía

En terrenos con pendiente, es frecuente la pérdida de semilla porque la lluvia lava el suelo; en este caso se recurre normalmente a la resiembra. La preparación del suelo y la siembra se deben hacer siguiendo las

curvas de nivel del terreno (perpendiculares a la pendiente), para evitar en parte el lavado de la semilla.

Plagas

Los problemas causados por las plagas, principalmente por las hormigas, se han asociado con las siembras de *Andropogon gayanus*, tanto en las etapas iniciales de su establecimiento como en las pasturas ya formadas. Debe indicarse también que las fallas en el establecimiento de las leguminosas podrían estar relacionadas con los ataques de hormigas.

Vías

Aunque no es un riesgo inherente al establecimiento de las pasturas, la infraestructura vial de una región es importante en lo que respecta al transporte de insumos, a la disponibilidad de materiales biológicos, y al manejo eficiente de éstos. En la región de los Llanos Orientales las vías son deficientes y, en ocasiones, intransitables en la estación lluviosa; por consiguiente, el transporte de insumos se dificulta mucho y esto eleva el riesgo de fracasar en el establecimiento de la pastura.

Conclusiones

Gracias a las experiencias ganadas en la siembra de pastos en las fincas de los Llanos Orientales de Colombia, se han identificado dos necesidades fundamentales para el desarrollo y establecimiento de las pasturas, a saber, investigación y difusión.

Necesidades de investigación

Calidad de la semilla. Es necesario investigar, en relación con el manejo de los semilleros, la época adecuada de cosecha de la semilla, los ajustes de fertilización requeridos, y el control adecuado de plagas y enfermedades.

Fertilización. Es importante comprobar si los niveles más bajos de fertilización que aplican los productores en la siembra causarían pérdidas en la productividad y en la persistencia de las pasturas. En caso

afirmativo, crecería la necesidad de aplicar una fertilización de mantenimiento.

Hormigas. Hay que estudiar más ampliamente la biología de diferentes especies, sus hábitos de preferencia de diversas especies de plantas, y su control. Actualmente se emplean los métodos tradicionales de control químico, que son costosos, poco efectivos, e inciden negativamente en el medio ambiente. Por tanto, deben buscarse métodos de control más prácticos, como los cebos o la elección de la época apropiada para preparar el suelo y para sembrar.

Inoculación. La nueva tecnología de las pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas debe estimular la investigación, la producción, y la comercialización de los inoculantes de las leguminosas. Estos productos deben ser compatibles con las limitaciones de la infraestructura del medio.

Necesidades de difusión

Preparación del terreno. Hace falta apoyo técnico para divulgar más los métodos apropiados de preparación del terreno.

Sistemas de siembra. Una actividad prioritaria es el ajuste de la metodología de siembra para las diferentes especies comercialmente disponibles. Esta metodología, incluyendo la demostración y uso de la maquinaria adecuada, debe divulgarse.

Semilla. La calidad de la semilla debe ser un objetivo de alta prioridad para las entidades nacionales encargadas de su control. Cuando se libera un nuevo cultivar de gramínea o de leguminosa, se dispone generalmente de muy poca semilla para su difusión; es pues necesario promover la producción de semillas entre las empresas semillistas y entre los ganaderos progresistas.

Referencias

- Alvarez, A. y Lascano, C. E. 1987. Valor nutritivo de la sabana bien drenada de los Llanos Orientales de Colombia. *Pasturas tropicales* (CIAT) 9(3):9-17.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1983. Programa de Pastos Tropicales: Informe anual 1982. Cali, Colombia. 366 p.

- _____. 1987. Programa de Pastos Tropicales: Informe anual 1986. Cali, Colombia. 344 p.
- Cochrane, T. T. y Sánchez, L. F. 1981. Clima, paisajes y suelos de las sabanas tropicales de Suramérica. *Inverciencias* 6:239-243.
- Guzmán, S. 1986. Productividad de pasturas asociadas en fincas de las sabanas tropicales de Colombia. Seminario del Programa de Pastos Tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 10 p.
- Kleinheisterkamp, I. y Häbich, G. 1985. Colombia: 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. E. y Toledo, J. M. 1987. Desarrollo y potencial de las pasturas mejoradas para América tropical. Trabajo presentado en el Congreso de Zootecnia, Cali, Colombia. 12 p.
- Paladines, O. 1975. El manejo y la utilización de las praderas naturales en el trópico americano. En: *El potencial para la producción de ganado de carne en América tropical*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 23-24.
- _____ y Leal, J. A. 1979. Manejo y productividad de las praderas 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. 331-346.
- Thomas, D.; Lascano, C. E. y Vera, R. R. 1987. A tropical pasture legume for poor soils. *Span* 30(2):59-61.
- Toledo, J. M. 1985. Pasture development for cattle production in the major ecosystems of the tropical American lowlands. En: *International Grassland Congress, Kyoto, Japón, 1985. Memorias*. The Japanese Society of Grassland Science and Science Council of Japan, Nagaya, Japón. p. 74-81.
- _____; 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 tropicales (CIAT)* 9(3):18-24.

Establecimiento de Pasturas en las Fincas del Cerrado Brasileño

Roberto R. Saez

Introducción

La región del Cerrado brasileño es una amplia faja localizada en la zona central del territorio de Brasil, en la dirección NO-SO, que cubre más de 200 millones de hectáreas. Los suelos del Cerrado están altamente lixiviados, tienen un pH bajo, elevada saturación de Al, y bajo contenido de materia orgánica y de fósforo. La textura de estos suelos es variable; fluctúa desde la más liviana (arenosa) hasta la más pesada (arcillosa), pasando por todas las instancias intermedias (Campos da Rocha et al., 1987).

En dos terceras partes del Cerrado, el régimen pluviométrico fluctúa entre 1200 y 1800 mm por año; 16% del área total recibe más de 1800 mm—cae dentro de la zona de influencia amazónica—y 8% recibe menos de 1000 mm anuales—está en la zona de influencia del nordeste. Casi un 80% del Cerrado presenta déficit de lluvias durante 5 a 7 meses del año, un 7.6% del área total durante más de 7 meses, y un 13% durante menos de 5 meses.

En 1980 había en el Cerrado un área con pasturas implantadas y naturalizadas del orden de 31 millones de hectáreas (19.3% del área total), de las cuales un 50% tenía especies de *Brachiaria* (p. ej., *B. decumbens*, *B. ruziziensis*, *B. humidicola*), así como especies naturalizadas como *Hyparrhenia rufa*, *Melinis minutiflora*, *Panicum maximum* y *Brachiaria mutica*. Más de un 90% de estas gramíneas forrajeras se concentraba en los cuatro principales Estados de la región: Goiás (35.0%), Mato Grosso do Sul (22.8%), Minas Gerais (19.7%) y Mato Grosso do Norte (13.4%). Durante la década de los 80 comenzó a

Roberto R. Saez fue investigador del Programa de Pastos Tropicales del CIAT, en EMBRAPA/CPAC, Brasilia, Brasil; actualmente trabaja en Uruguay.

cobrar importancia la introducción de dos gramíneas mejoradas: *Andropogon gayanus* cv. Planaltina y *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. Se estima que el área cubierta por estas dos especies es, aproximadamente, de 500,000 ha para *A. gayanus* y de 5 millones de hectáreas para Marandú.¹ La superficie pecuaria restante está cubierta de pasturas nativas (casi un 40%), de montes naturales e implantados, de tierras productivas no utilizadas, y de tierras agrícolas en descanso.

En lo que respecta a la actividad pecuaria, el Cerrado tenía en 1985 una reserva de vacunos estimada en algo más de 52 millones de unidades (o sea, 41% del inventario nacional), con una alta concentración (88%) en los Estados de Goiás, Minas Gerais y Mato Grosso do Sul (dos Santos y de Aguiar, 1985). Otra característica del Cerrado es que el ganado lechero o de doble propósito se concentra en Minas Gerais (55%) y en Goiás (33%). Este ganado representa alrededor de una quinta parte del total de las cabezas vacunas de la región.

Hay en la región numerosos cultivos de soya, arroz, maíz y, en menor escala, trigo (dos Santos y de Aguiar, 1985); ellos brindan amplias posibilidades para la utilización de rotaciones intensivas en que las pasturas mejoradas de gramíneas—o de gramíneas y leguminosas—entrarían a formar parte del ciclo productivo agrícola. Esta práctica reduciría, con grandes ventajas, los costos de establecimiento. Si bien la interacción cultivo-pastura sería atractiva económicamente, puede crear ciertas dificultades, por ejemplo, mayor competencia entre las malezas y las pasturas que se sembrarán.

En este capítulo se describen y discuten algunas experiencias obtenidas en el establecimiento de pasturas en un proyecto de validación de tecnología en las fincas del Cerrado.

Antecedentes del Proyecto

Como resultado de la investigación hecha por el Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC)—una división de EMBRAPA,

1. de Andrade, R. Comunicación personal.

Ministerio de Agricultura—y por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), en Colombia, para seleccionar germoplasma forrajero y evaluar pasturas, hay ya nuevas opciones de gramíneas y leguminosas que mejorarán la nutrición animal en la región del Cerrado. Estas opciones son: bancos de proteína, asociaciones de gramínea-leguminosa, y renovación de pasturas degradadas mediante la introducción de leguminosas.

Desde fines de 1987 y comienzos de 1988 se hicieron siembras en las fincas de los productores colaboradores en el municipio de Silvânia, Goiás, que posee características de suelos y de clima muy representativos de todo el Cerrado.

El área promedio de una explotación pecuaria en el municipio de Silvânia es de 228 ha, y hay 77 cabezas bovinas por establecimiento. Los cultivos anuales, principalmente el maíz y el arroz, representan un 8.7% de la superficie total, de la cual además 18.7% son pastos cultivados y 56.1% pastos naturales. Un 47% de las cabezas bovinas están destinadas a la producción de carne, 40% a la producción lechera, y 12.5% a ambas actividades. Las vacas de cría representan un relativo alto porcentaje (42%) del rebaño, cifra que indica que la región está orientada hacia la cría. La carga promedio es de sólo 0.411 cabeza por hectárea. El número promedio de vacas ordeñadas por predio es de 19, y se obtiene una productividad de 700 litros de leche por animal al año; de ésta, 79% se comercializa.

Estrategias de Siembra

Banco de proteína

Se planeó que 30% del área sería 'banco de proteína' para complementar las pasturas de *Brachiaria decumbens* y de *B. ruziziensis* ya establecidas, y las de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina y de *B. brizantha* cv. Marandú que se establecerían. Otra variante de esta estrategia fue dedicar 6% del área a un banco de proteína para complementar un campo nativo; ésta es muy apropiada para regiones del Cerrado más caracterizadas por la producción pecuaria extensiva.

Una mitad del área del 'banco' se sembró con *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham, y se subdividió al momento de ser pastoreada en seis parcelas. La otra mitad del banco se sembró con *Stylosanthes guianensis* cv. Bandeirante, y se manejó dividiéndola en tres partes. Ambas leguminosas se sembraron en asociación con maíz o arroz para compensar parcialmente, con la cosecha de estos cereales, la inversión hecha en la instalación del banco.

Pasturas asociadas

La estrategia elegida consistía en sembrar, al comienzo de la época de lluvias, las leguminosas *Stylosanthes macrocephala*, *S. capitata*, y *Centrosema brasilianum* o *Calopogonium mucunoides* en asociación con *Andropogon gayanus*. La aplicación de fósforo y carbonato de calcio (cal agrícola) al suelo dependía de las especies sembradas y de un análisis previo del suelo.

El suelo se preparó como se hizo en el banco de proteína antes descrito. El nivel de carbonato de calcio fluctuaba desde cero hasta el máximo de 2.6 t/ha; se aplicaron de 60 a 80 kg/ha de P_2O_5 . La densidad de la gramínea—se sembró sólo una—fue de 10 kg/ha de semilla; la de las leguminosas *Stylosanthes* y *Calopogonium* fue de 1 kg/ha, y la de *Centrosema* de 3 kg/ha cuando se asociaba con *Panicum maximum*. La siembra se hizo manualmente o con maquinaria.

Recuperación de pasturas degradadas

Son numerosas las pasturas de *Brachiaria* spp. que se hallan en el Cerrado brasileño en diversas condiciones de degradación; es importante por ello estudiar las opciones que hay para su renovación. El proceso de recuperación consistió en la aplicación de superfosfato, que se incorporó con una rastra de disco, dando una o dos pasadas. Adicionalmente, se introdujeron las leguminosas (*Stylosanthes capitata*, *S. macrocephala*, *S. guianensis* y *Calopogonium mucunoides*).

Ejecución del Proyecto

El proyecto comenzó formalmente en julio de 1987. Primero se entrevistaron los productores que podrían estar interesados en colaborar en

él. Entre los criterios iniciales para seleccionar candidatos se consideraron los siguientes: a) que tuvieran ganado de carne, de leche o de doble propósito; b) que tuvieran un mínimo de maquinaria propia para hacer los trabajos de preparación del suelo, de siembra, etc.; c) que su finca tuviera más de 200 ha para que garantizara cierta capacidad económica. Este último criterio, finalmente, no se impuso y más bien se escogieron fincas con dueños que exhibían buena capacidad administrativa y entusiasmo por las ideas que se les proponían.

Siembra

Se trabajó en la región de Silvânia, 200 km al SO de Brasilia, con 12 productores que manejaban 14 siembras; todos estaban dispuestos a participar en el proyecto. La superficie promedio sembrada en cada finca fue de 5 ha, y la división de costos fue la siguiente:

- el productor aportaba la mano de obra requerida, el ganado, la construcción de cercas y bebederos (si fuere necesaria), y su maquinaria;
- CIAT-CPAC contribuía con los insumos (p. ej., semillas, cal agrícola, abono fosfatado, herbicidas, insecticidas, etc.), y lógicamente dará la asistencia técnica.

En la mitad de las áreas sembradas, durante la estación 1987/1988, no hubo necesidad de hacer resiembras porque la densidad de las plantas introducidas fluctuaba desde razonable hasta excelente. En un 20% de las siembras, las pérdidas de plantas fueron casi totales, y se requirió la resiembra durante la estación 1988/1989. En el restante 30% de las siembras, las pérdidas fueron evaluadas como parciales y, por lo tanto, se hizo un poco de resiembra.

Problemas del establecimiento de las plantas

Un resultado interesante del proyecto, de mucho valor para los investigadores, es la identificación de las causas de pérdidas parciales o totales de plantas en las áreas sembradas.

En los bancos de proteína. Hubo problemas en el establecimiento de *Leucaena* en una de las fincas, porque las termitas destruyeron casi

en su totalidad las plántulas. En otro caso, a pesar de que también había termitas, el productor respondió a su ataque muy activamente y tuvo éxito total en el control aplicado.

En las pasturas asociadas. En la siembra de pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas hubo grandes problemas de establecimiento. En una finca hubo una severa invasión de malezas porque el suelo era allí de alta fertilidad, relativamente, y tenía una larga historia de cultivos anuales. En otra finca hubo pérdidas muy significativas causadas por las hormigas cortadoras. La falta de un rodillo compactador que se aplicara inmediatamente después de la siembra se identificó también como factor determinante de una distribución irregular de semilla y, por lo tanto, de fracasos parciales en el establecimiento de *A. gayanus*.

Recuperación de pasturas degradadas. Cuando se recuperaron pasturas degradadas de *B. decumbens* y de *B. ruziziensis*, no hubo problemas en la germinación de la leguminosa durante la fase de establecimiento; sin embargo, en algunos casos la población de las leguminosas no fue la adecuada a causa de algún ataque de hormigas o por la baja densidad de la semilla al momento de la siembra, o por ambas causas. Por otro lado, la acción mecánica con que se intentó destruir el tapiz de *Brachiaria* ya existente no fue eficaz, y esto creó una competencia muy fuerte entre la gramínea y las plántulas de *Stylosanthes* spp. y de *Calopogonium mucunoides*.

Evaluación Económica ex ante de las Pasturas Mejoradas

Este tema se estudia más detalladamente en Saez y Zoby (1989); no obstante, a modo de información adicional a los aspectos técnicos previamente discutidos, se pueden comentar los puntos siguientes. La viabilidad económico-financiera de la inversión hecha en pasturas mejoradas es lo que, en última instancia, hará que éstas sean aceptadas por la mayor parte de los productores de ganado. Se hizo por tanto un ejercicio de simulación que seguía la metodología financiera de Gittinger (1983) y de Hopkin et al. (1973). En él se proyectaron el costo de las inversiones según la estrategia de desarrollo de forrajeras, y la correspondiente necesidad de dar mantenimiento a la inversión a lo largo

del tiempo (p. ej., refertilizar, mantener las cercas, reseminar ciertas especies como *S. guianensis* cv. Bandeirante); también se proyectaron las curvas de la producción esperada de las especies forrajeras con respecto a los años de vida productiva de éstas.

El siguiente caso ilustra algunos de los múltiples supuestos utilizados para la construcción de estos modelos económicos. La vida útil de *Leucaena* se estipula en nueve años, y la de *S. guianensis* cv. Bandeirante en sólo tres; se requerirán, por tanto, dos resiembras (ejecutadas en asociación con maíz), para que su vida productiva se equipare a la de la *Leucaena* adyacente. Además, mientras esta última se refertiliza cada dos años con KCl y cada tres años con P, la leguminosa *Stylosanthes* del banco de proteína se beneficia con P en cada resiembra. En la gramínea *Brachiaria* ya instalada, que se complementa con el banco, no está previsto ningún tipo de trabajo de renovación ni de refertilización; tampoco se prevé la refertilización de *A. gayanus* instalado simultáneamente con el banco. La vida útil de los postes empleados en las divisiones internas y en parte de las externas es relativamente corta, porque la madera con que se hacen es seguramente de poca calidad; por tanto, se agregó el costo de su remplazo total, que se hará a la mitad de la vida útil de la pastura. El valor residual de la inversión total en alambrados al final del período es nulo.

Algunos de los precios unitarios netos (esto es, libres de impuestos y fletes) recibidos por los productores y algunos precios que pagan los productores (incluidos fletes e impuestos) son los siguientes, convertidos al dólar americano² en el mercado libre o paralelo: leche, US\$0.107/l; carne bovina en canal, US\$756/t; maíz, US\$67/t; superfosfato simple, US\$77/t; carbonato cálcico, US\$14.3/t. Estos precios se usaron para construir los modelos económicos mencionados.

Combinando ahora las cantidades físicas de los insumos utilizados con sus correspondientes precios unitarios de mercado, se obtiene un costo total cercano a US\$145.4/ha; este costo no contempla la instalación de un banco de proteína (BP2, 30% del área total) como complemento de *A. gayanus*, ambos sembrados simultáneamente. En otro extremo se halla un banco de proteína (BP1) que supone un desembolso

2. En febrero de 1989.

de sólo US\$94.1/ha, pues la gramínea ya está sembrada. A niveles intermedios de inversión (Cuadro 1) se encuentran la recuperación de pasturas y la pastura asociada (US\$108/ha y US\$103/ha, respectivamente).

Cuadro 1. Composición de los costos de instalación de pasturas mejoradas en el Cerrado de Brasil.^a

Operación o insumo	BP + <i>B. sp.</i>		BP + <i>A. g.</i>		Pastura recuperada (5 ha)	Pastura asociada (5 ha)
	1.5	3.5	1.5	3.5		
	ha	ha	ha	ha		
Recuperación del suelo	28.00		28.00		105.00	112.75
Cal agrícola	36.25		36.25		208.30	
Abono	161.25		161.25		220.50	186.50
Semilla	46.69		46.69		46.00	105.50
Herbicida	9.90		9.90			
Insecticida	1.78		1.78		1.90	1.80
Limpieza del terreno	36.00		36.00			21.00
Cosecha del millo	5.50		5.50			
Cercas externas	380.50		380.50		228.60	342.50
Preparación y siembra de <i>A. gayanus</i>			384.97			
Total	705.87		1.090.84		810.20	770.00

a. NCZ\$ en febrero de 1989. BP = banco de proteína; *B. sp.* = *Braquiaria*; *A. g.* = *Andropogon gayanus*.

La incógnita final de este ejercicio de simulación es conocer la producción animal mínima necesaria para remunerar positivamente, al 15% anual, las inversiones iniciales y los consiguientes costos de mantenimiento de estas estrategias de desarrollo de forrajeras. Esta tasa de retorno exigida implica, en otras palabras, que al final del quinto año de vida productiva de la pastura, la comercialización de la producción adicional derivada de un 'uso eficiente' de la pastura mejorada—esto es, superior a la producción de un animal testigo—compense la totalidad de las erogaciones monetarias efectuadas.

En el Cuadro 2 se resumen las principales metas físicas que se alcanzarán si se desea conseguir las rentabilidades financieras antes

Cuadro 2. Producción física adicional necesaria que debe alcanzarse para obtener una TIR de 15% anual en una finca ganadera del Cerrado.^a

Producción adicional (PA)	BP1 + <i>B. sp.</i>		BP2 + <i>A. g.</i>		Recp. <i>B. sp.</i> (9 años)		Recp. <i>B. sp.</i> (6 años)	
	Leche (lt)	PV (kg)	Leche (lt)	PV (kg)	Leche (lt)	PV (kg)	Leche (lt)	PV (kg)
PA, prom./animal.año	286.7	80.5	55.6	127.3	327.0	91.6	367.0	102.9
PA, prom./animal.día	1.37	0.220	2.17	0.35	1.56	0.251	1.75	0.282
Máxima/animal.día	2.15	0.347	3.41	0.55	1.70	0.274	2.10	0.33

a. *B. sp.* = *Brachiaria*; *A. g.* = *Andropogon gayanus*; Recp. = recuperación; BP = banco de proteína; PV = peso vivo. Todos los costos de la recuperación hubieran sido neutralizados con una cosecha de 2174 kg/ha de millo.

citadas y se satisfacen todos los supuestos metodológicos empleados. Se calcula allí que, en términos de producción láctea, una producción adicional promedio de 1.37 l/ha—además de la leche para los 210 días de lactancia de un animal típico de doble propósito del Cerrado—permite al BP1 satisfacer la meta propuesta. La eficiencia deberá subir, en la estrategia más productiva BP2, a 2.17 l/día con lactancia, en promedio, para conseguir los mismos resultados económicos, ya que los costos de instalación son aquí mayores. Si se miden esos aumentos en términos de producción de carne bovina, el BP1 debería darnos ganancias promedio de 80.5 kg de peso vivo por cabeza al año respecto a los animales testigo. Deben obtenerse, en cambio, 128 kg de peso vivo por cabeza al año si se adopta la estrategia BP2.

En los casos de recuperación de pasturas degradadas y de pasturas asociadas, los niveles de productividad se hallan entre los dos extremos anteriores. Si estas dos últimas estrategias se efectuasen en asociación con un cereal, como el millo, bastarían apenas 2174 kg/ha de grano para neutralizar la totalidad de los costos adicionales involucrados.

Los primeros resultados físicos recogidos de estos experimentos, así como los trabajos publicados en la literatura técnica, confirman que las metas de producción físicas previstas para que estas inversiones sean rentables son perfectamente alcanzables en las condiciones del

productor ensayado. Consecuentemente, deberá despertarse interés por su adopción definitiva en la región (Scolari, 1988; Leite, 1988; Zoby et al., 1986; Tercio Gomes et al., 1984; Moore et al., 1983; Fonseca y Escuder, 1983; Rolon y Costa, 1978; Primo et al., 1977).

Lecciones Aprendidas

Las siembras en fincas muestran claramente que los productores tienden a sembrar temprano sus cultivos anuales durante la estación de lluvias, y solamente después están dispuestos a sembrar las pasturas. Esto significa que las asociaciones de gramíneas y leguminosas que se siembren tendrán tres meses de lluvia durante el primer año. Esta escasez de agua afecta obviamente su desarrollo y hace que las plántulas sean más susceptibles a ataques severos de hormigas y a la invasión de las malezas de crecimiento rápido.

También es importante que, en lo posible, se permita que las plantas semillen en el primer año de establecimiento, para facilitar la resiembra natural en el siguiente ciclo. La distribución poco uniforme de las plántulas iniciales, que ocurrió en un alto porcentaje de las siembras, indica la conveniencia de esta práctica de cultivo.

Este proyecto ha señalado la necesidad de seleccionar germoplasma forrajero que responda a niveles de fertilidad medios o altos, y que pueda competir con plantas invasoras al momento del establecimiento de la pastura. Esta capacidad de las especies forrajeras es particularmente importante en los sistemas de producción intensivos o semi-intensivos que asignen a la agricultura un rol preponderante, y que conviertan en práctica común la aplicación de fertilizantes y correctivos de la acidez del suelo.

Luego de múltiples discusiones entre los colegas del CPAC y del CIAT, se ha visto claramente la conveniencia de que estas pruebas en las fincas se hagan a distancias de la estación experimental de menos de 100 km. El propósito de esta medida es facilitar a un mayor número de investigadores de diversas disciplinas su participación en los trabajos que se adelantan en los predios de los productores cooperadores. Así se comprenderá mejor el desarrollo de las pruebas, y disminuirán además los costos operativos de este tipo de proyecto.

Finalmente, es alentadora la relativamente alta rentabilidad de la inversión privada que se estaría obteniendo ahora en el Cerrado brasileño. Este componente financiero es esencial para que los productores pecuarios, una vez familiarizados con las especies forrajeras, con las estrategias para lograr su establecimiento, con el manejo que debe darse a esas especies, y con la disponibilidad de semilla para establecerlas, las adopten masivamente. El resultado será un aumento significativo de la productividad animal alcanzable, tanto por unidad de superficie como por unidad animal.

Referencias

- Campos da Rocha, C. M.; Drogueff Affin, O. A.; dos Santos, N. A. y Madeiro Netto, J. 1987. Diagnóstico sobre a região dos Cerrados. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), Brasília, Brasil.
- dos Santos, N. A. y de Aguiar, J. L. P. 1985. Evolução agropecuária da region nuclear dos Cerrados, 1970-80. Documento 16. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, DF, Brasil.
- Fonseca, D. M. y Escuder, C. J. 1983. Carga animal e produtividade em pastagens de capim-buffel. Rev. Soc. Bras. Zoot. 12(1):11-24.
- Gittinger, J. P. 1983. Economic analysis of agricultural projects. The John Hopkins University Press.
- Hopkin, J. A.; Barry, P. J. y Baker, C. B. 1973. Financial management in agriculture. The Interstate Printers & Publishers.
- Leite, G. 1988. Uso integrado de pastagens cultivadas na recria e engorda de bovinos. Relatório CPAC.
- Moore, C. P.; Rocha, C. M. C.; Thomas, D. y de Andrade, R. P. 1983. Performance animal em pastagem de *Brachiaria ruziziensis* consorciada com *Calopogonium mucunoides* ou adubada com nitrogênio. En: Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Pelotas, 1983. Sociedade Brasileira de Zootecnia, Pelotas, RS, Brasil. p. 308.
- Primo, A. R.; Rolon, J. D. y Melo, E. S. 1977. Produtividade de pastagens consorciadas no Brasil Central: 'Green Panic', Estilosantes e Centrosema. En: Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Recife, 1977. Sociedade Brasileira de Zootecnia, Recife, Brasil.

- Rolon, J. D. y Costa, N. R. 1978. Pastagem consorciada em solos de Cerrado: Rendimento e produtividade. En: Anais da Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Belém, Pará, Brasil.
- Saez, R. R. y Zoby, J. L. F. 1989. Benefícios técnico-econômicos do emprego de forrageiras melhoradas, estabelecidas em fazendas, nos Cerrados do Brasil. Trabalho apresentado en la 26a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Porto Alegre, Brasil.
- Scolari, D. D. G. 1988. Análise econômica de produção de carne bovina na região dos Cerrados. R. Econ. Social. Rural (Brasília) 26(4):405-428.
- Tercio Gomes, D.; Kornelius, E. y Zoby, J. L. F. 1984. Sistemas de produção para pecuária de corte na região dos Cerrados. Sexto Simposio sobre o Cerrado. p. 665-698.
- Vilela, H. 1982. Pastagens em áreas de Cerrados: Produção de carne e leite. Trabalho apresentado en el Primeiro Encontro sobre Formação e Manejo de Pastagens em Áreas de Cerrados, Uberlândia, MB, Brasil.
- Zoby, J. L. F.; Kornelius, E. y Saueressig, M. G. 1986. Produtividade de pastagens nativas, melhoradas e cultivadas em áreas de Cerrado na recria de fêmeas de reposição. En: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC). Relatório técnico anual dos Cerrados. Planaltina, DF, Brasil.

E

Conclusiones y Recomendaciones

Resultados de los Grupos de Trabajo

C. Lascano, J. M. Spain y A. Ramírez

El objetivo principal de la sexta reunión del Comité Asesor de la RIEPT fue analizar, de una parte, la problemática del establecimiento y de la renovación de pasturas degradadas en América tropical, y definir, de la otra, las prioridades de investigación. En la reunión se constituyeron grupos de trabajo cuyas conclusiones y recomendaciones, ordenadas por ecosistemas y regiones, son las siguientes:

Grupo 1

Para el Ecosistema de Sabana

Cerrados de Brasil

En esta región, la siembra de pasturas emplea mayor cantidad de insumos que en los Llanos Orientales de Colombia. Se hace a principios de la época de lluvias asociando las pasturas con cultivos como el arroz o sembrándolas en monocultivo después de la quema de la vegetación nativa.

Los problemas más comunes durante el establecimiento de una pastura en el Cerrado son los siguientes: a) altos costos causados por la gran cantidad de insumos que se aplican; b) baja calidad de la semilla; c) alta competencia de las malezas, especialmente cuando la siembra se hace después de un cultivo; d) ataques de plagas, de las cuales la más común es la hormiga.

Sabanas de Colombia y Venezuela

En los Llanos Orientales de Colombia, el establecimiento de las pasturas se hace al final de la época de lluvias, luego de la quema de la vegetación nativa y de un pase de rastrillo. La práctica corriente de cultivo es la siguiente: un pase de rastrillo al final de la época lluviosa para eliminar la quema; al comienzo de la siguiente estación lluviosa, un segundo pase de rastrillo y, finalmente, la siembra.

Normalmente, se siembra la semilla y se aplica P (Calfos o roca fosfórica) a razón de 10 a 30 kg/ha, tanto a las gramíneas solas como a las asociaciones de éstas con leguminosas. Las gramíneas cuya semilla es escasa en el mercado, como la de *B. humidicola*, se establecen plantando material vegetativo.

En esta zona hay buena experiencia en el establecimiento de algunas especies. Por ejemplo, *B. decumbens* y *Andropogon gayanus* se establecen mezclando la semilla con el fertilizante y distribuyéndola a voleo. De igual manera se siembran las asociaciones de *B. decumbens* o *A. gayanus* con leguminosas como *Centrosema acutifolium* y *Stylosanthes capitata*.

En los Llanos de Venezuela, las prácticas de establecimiento de pasturas se realizan, en algunos casos, después de un cultivo. La fertilización de establecimiento consiste en 200 a 300 kg/ha de un fertilizante de fórmula completa. En los últimos años han aumentado los costos de establecimiento y se ha deteriorado la calidad de la semilla de las especies forrajeras; por ello, el material vegetativo ha adquirido importancia en la siembra de pasturas.

Las limitaciones más serias en el establecimiento de pasturas en los Llanos de Colombia y Venezuela son: a) excesiva preparación de los suelos, que favorece la erosión del suelo, el arrastre de las semillas por las aguas de escorrentía ('lavado' de la semilla) y su enterramiento en el suelo; b) baja calidad de la semilla; c) altos costos de los insumos, especialmente de los fertilizantes; y d) ataques de plagas, como las hormigas y el salivazo (homópteros de los géneros *Deois* o *Zulia*).

Recomendaciones para establecer y renovar pasturas

Este grupo de trabajo recomendó, para lograr un mejor establecimiento de las pasturas en el ecosistema de sabana, las siguientes prácticas: a) preparar temprano el suelo, es decir, al final de la época de lluvias, para favorecer la nitrificación y el control de insectos y malezas; b) reducir la labranza para disminuir las pérdidas de suelo y de semilla; c) sembrar o plantar en surcos para hacer un uso más eficiente de los fertilizantes, y para facilitar el control de las malezas; y c) iniciar programas de producción de semilla de forrajeras de buena calidad, y de inoculantes para las leguminosas.

Prioridades en la investigación

El grupo de trabajo señaló tareas prioritarias en la investigación de pasturas en dos frentes principales: estaciones experimentales y fincas de productores.

En las estaciones experimentales. a) Competencia entre plantas de gramíneas y de leguminosas. b) Biología y control de las hormigas. c) Selección de gramíneas cuyas plántulas sean más vigorosas, y de leguminosas tolerantes a los factores bióticos adversos. d) Selección de gramíneas resistentes al salivazo. e) Técnicas para el establecimiento y recuperación de pasturas por medio de cultivos. f) Adaptación y uso racional de la maquinaria para reducir los costos de establecimiento. g) Métodos de aplicación de los fertilizantes para mejorar su eficiencia. h) Metodologías para el análisis rápido de la calidad de las semillas.

En las fincas de los productores. a) Ajuste de las prácticas de preparación de suelos y de los métodos de siembra, ya sea con semilla o plantando material vegetativo. b) Ajuste de los niveles de fertilización empleados. c) Evaluación de los métodos de introducción de las leguminosas en pasturas degradadas. d) Estimación de los costos de establecimiento de una pastura y de la producción de semilla de especies forrajeras.

Grupo 2

Para el Bosque Húmedo Tropical

En este ecosistema, la siembra y renovación de pasturas se realiza en áreas mecanizables y no mecanizables. Considerando esa condición, el grupo de trabajo hizo las observaciones siguientes:

Establecimiento en áreas mecanizables

En la Amazonia brasileña, principalmente, se establecen pasturas en esas áreas. La práctica consiste en la tumba del bosque con maquinaria pesada, y en la extracción de la madera; a ésta siguen la quema de los residuos, y luego la siembra de los pastos a voleo y sin fertilización. En la mayoría de los casos, el área de siembra es superior a 100 ha; se

siembran *Brachiaria* sp., *A. gayanus* y *Panicum maximum*. En algunas regiones, estas especies se siembran asociadas con un cultivo. Las malezas son el mayor problema del establecimiento de pastos, y su control se hace en forma mecánica, es decir, con quema o con machete; la aplicación de herbicidas está muy restringida.

Establecimiento en áreas no mecanizables

Estas áreas ocurren en el bosque tropical de los países andinos (Bolivia, Perú, Ecuador y Colombia). En ellas se siembra una pastura después de la tumba del bosque y de la quema que sigue a ésta. Es frecuente también sembrar los pastos después de un cultivo como el maíz, el arroz, la yuca o el caupí, sin la aplicación de fertilizantes. Las especies que más se siembran son *B. decumbens* y *A. gayanus*; la leguminosa *Pueraria phaseoloides* crece espontáneamente en muchos sitios. Las malezas son un problema serio; se controlan con la quema y, algunas veces, con machete o con herbicidas.

Renovación en áreas mecanizables

Para renovar una pastura, se hacen tres operaciones: control mecánico de las malezas, labranza mediante un pase de rastrillo al inicio de la época lluviosa, y finalmente siembra de un pasto. Otra práctica común es la tumba y quema de las malezas, seguida por la siembra en surcos de una gramínea junto con una aplicación de fertilizantes fosfatados; en algunos casos, la gramínea se asocia con un cultivo o con una leguminosa forrajera.

Renovación en áreas no mecanizables

La renovación de pasturas en estas áreas consiste en una quema parcial o total de la vegetación existente. La siembra se hace sin laboreo del suelo ni aplicación de fertilizantes. Es frecuente también la propagación vegetativa de *B. decumbens* y *B. humidicola*.

El Cuadro 1 resume los principales problemas que se presentan en el establecimiento y renovación de una pastura en el trópico húmedo del continente americano.

Cuadro 1. Calificación, según su importancia, de los problemas que afectan el establecimiento y la renovación de pasturas en el trópico húmedo de América.

Problema en:	Establecimiento		Renovación	
	S. mec.	S. no mec.	S. mec.	S. no mec.
Germoplasma	MI	MI	MI	MI
Control de malezas	I	I	MI	MI
Calidad de la semilla	MI	MI	MI	MI
Asociaciones	MI	MI	MI	MI
Características físicas del suelo	DI	I	MI	MI
Cultivos anuales	MI	MI	I	DI
Uso de fertilizantes	DI	I	I	PI
Uso de herbicidas	I	DI	MI	MI
Maquinaria agrícola	MI	PI	MI	PI
Pastoreo inicial	I	I	I	I

S. mec. = suelo mecanizable; S. no mec. = suelo no mecanizable.

MI = muy importante; I = importante; DI = medianamente importante; PI = poco importante.

Recomendaciones para establecer y renovar pasturas

Este grupo de trabajo hace las siguientes recomendaciones para este ecosistema: a) Continuar la selección de germoplasma agresivo, de rápida germinación, con gran capacidad de cobertura, tolerante a plagas y enfermedades (especialmente al salivazo), compatible en asociaciones de gramíneas y leguminosas, y de buena calidad nutritiva. b) Como prácticas de preparación de suelos deben emplearse la labranza mínima o ninguna labranza; debe evitarse el uso excesivo de maquinaria en suelos que permanezcan húmedos; se debe sembrar o plantar siguiendo las curvas de nivel cuando el terreno es pendiente. c) Intensificar la siembra de mezclas de gramíneas y leguminosas, y diversificar las pasturas en las fincas. d) Establecer la producción de semilla de buena calidad en las instituciones nacionales de investigación y fomento. e) Evitar las cargas animales fuertes y el pastoreo continuo en las zonas de alta precipitación para prevenir de esta manera la compactación del suelo.

Prioridades en la investigación

Este grupo de trabajo propuso como temas prioritarios en la investigación del establecimiento de pasturas en el trópico húmedo, los siguientes:

En las estaciones experimentales. Deben investigarse los siguientes aspectos en este ecosistema: a) Mecanismos de resistencia al salivazo. b) Selección de leguminosas tolerantes a plagas y enfermedades, y de especies de *Brachiaria* tolerantes al salivazo. c) Control biológico de malezas. d) Compactación del suelo, estudios básicos. e) Evaluación de diferentes métodos y épocas de siembra. f) Compatibilidad, en el pastoreo, de las asociaciones de gramíneas y leguminosas. g) Compatibilidad de gramíneas y leguminosas con cultivos y especies arbóreas. h) Reacción del germoplasma seleccionado y de las malezas a la aplicación de los herbicidas. i) Desarrollo de métodos para el diagnóstico de la fertilidad de los suelos. j) Métodos rápidos para determinar la calidad de la semilla. k) Desarrollo de implementos para labores agrícolas en áreas con pendiente.

En las fincas de los productores. a) Caracterizar los métodos de establecimiento de pasturas tradicionalmente utilizados por los productores en sus fincas. b) Reconocer las especies de malezas predominantes en cada región, y los métodos alternativos para controlarlas. c) Ajustar la fertilización y evaluar los métodos de establecimiento de los cultivos elegidos para asociarlos con los pastos. d) Investigar si el uso del barbecho de leguminosas reduce el tiempo necesario para la siembra de cultivos y pastos, y si disminuye la compactación del suelo en terrenos no mecanizables. e) Determinar los costos del establecimiento de pasturas, tanto tradicional como mejorado, y los de la producción de semilla, unos y otros a nivel de la finca. f) Evaluar el pastoreo de varias especies de animales (equinos, ovinos, bovinos) como control de las malezas durante el establecimiento de una pastura.

Grupo 3

Para América Central y el Caribe

Sistemas de establecimiento de pasturas

Para este grupo de trabajo, los sistemas predominantes en la región considerada son los siguientes: 1) Tumba y quema de la vegetación original, seguidas por la siembra de un cultivo anual, al que sigue la pastura. 2) Tumba y quema de la vegetación original, y luego siembra de la pastura sin el establecimiento previo de un cultivo. 3) Preparación del suelo y siembra de la pastura, aplicando los insumos (semillas, fertilizantes, herbicidas) con intensidad variable.

Problemas del establecimiento

Este grupo de trabajo señaló los siguientes: a) Invasión de malezas. b) Pérdida de fertilidad del suelo por el 'lavado' de los nutrientes, una consecuencia del exceso de preparación del suelo. c) Baja fertilidad de los suelos, principalmente por deficiencia de fósforo. d) Alto costo de los fertilizantes. e) Baja calidad, y poca oferta, de la semilla de las especies forrajeras. f) Ausencia de programas de asistencia técnica para el establecimiento y manejo de las pasturas. g) Falta de germoplasma adaptado a la región y que sea productivo.

Recomendaciones para esta región

El grupo de trabajo propuso las siguientes alternativas para mejorar el establecimiento y renovación de las pasturas: a) Para aminorar el efecto de las malezas, es necesario introducir germoplasma agresivo, e integrar los métodos de establecimiento con prácticas de cultivo que favorezcan el desarrollo de las pasturas. b) Utilizar germoplasma evaluado y seleccionado en la RIEPT para los suelos de baja fertilidad; para suelos más fértiles elegir otra clase de germoplasma, por ejemplo, *Clitorea* sp. y *Leucaena* sp. c) Identificar más regiones aptas para multiplicar, con la participación de las instituciones nacionales, la semilla de las especies forrajeras. Se sugirió, además, la capacitación de técnicos en producción de semilla, y la adopción—en cada país—de normas

sobre calidad de la semilla. d) Debido a la falta de asistentes que sean especialistas en pasturas, se deben promover los resultados de la investigación empleando, en cada país, los medios de difusión adecuados.

Prioridades en la investigación

Se consideró que los temas prioritarios de investigación eran los siguientes:

En las estaciones experimentales. a) Hacer estudios sobre el control biológico de las malezas. b) Relacionar el análisis del suelo con el rendimiento esperado de los pastos y de los cultivos. c) Generar mayor información sobre rizobiología y sobre la reacción del germoplasma a las plagas y enfermedades. d) Hacer estudios sobre la competencia entre gramíneas y leguminosas, y entre éstas y los cultivos tradicionales que se les asocian.

En las fincas de los productores. a) Realizar estudios socioeconómicos para comprender mejor las decisiones que tomen los productores. b) Investigar los problemas relacionados con la producción y la baja calidad de la semilla de las especies forrajeras. c) Evaluar en las fincas el germoplasma que se halle en una etapa avanzada de selección. d) Evaluar métodos de producción de semilla de las leguminosas forrajeras que se hayan sembrado asociadas con un cultivo. e) Identificar las malezas predominantes en la finca, y evaluar métodos para controlarlas.

Participantes

Antigua

Robert Thomas Paterson
Pasture Agronomist
CARDI
P.O. Box 766
St. John's, Antigua, West Indies
Teléfono: (809) 4-62-06-61
4-62-16-66
Télex: 2145 CWTXAGY AK

Argentina

Luis S. Verde
Coordinador Internacional Bovinos,
Programa IICA/BID/PROCISUR
INTA
Casilla de Correo 276
Est. Exp. Agrop. Balcarce (INTA)
(7620) Balcarce
Teléfono: 54-266-2-03-13
54-266-2-20-40/41
Télex: 17518 INTA AR

Bolivia

Armando Ferrufino Coqueugnot
Encargado, Programa Forrajes
IBTA/Chapare
IBTA
Casilla 2395
Cochabamba
Teléfono: 4-03-78

Brasil

Reinaldo Bertola Cantarutti
Gerente do Programa Pecuária,
Pesquisador adjunto
CEPLAC/CEPEC
Caixa Postal 07
45.600 Itabuna, Bahia
Teléfono: (073) 211-3261

Jonás Bastos da Veiga
Investigador
EMBRAPA/CPATU
TV Eneas Pinheiro s/n
Caixa Postal 48
60.000 Belém, Pará
Teléfono: (091) 2-26-66-22

Ronaldo Pereira de Andrade
Investigador
EMBRAPA/CPAC
Caixa Postal 700023
73.301 Planaltina, D.F.
Teléfono: 5961171/137

Moacyr Bernardino Dias Filho
Investigador
EMBRAPA/CPATU
Caixa Postal 48
60.000 Belém, Pará
Teléfono: (091) 2-26-66-22

José Marques Pereira
Pesquisador Principal
CEPLAC/CEPEC
Km 22 Rodovia Ilheus-Itabuna
Caixa Postal 07
45.600 Itabuna, Bahia
Teléfono: (073) 21-43261

Colombia

Héctor Hugo Li Pun
Representante, Programa de Producción
Animal para América Latina y el
Caribe
CIID
Apartado Aéreo 53016
Bogotá
Teléfono: 255-86-00
Télex: 45366

Jaime Lotero C.
Director Nacional, Programa Pastos y
Forrajes
ICA
Estación Exp. Tulio Ospina
Apartado Aéreo 51764
Medellín
Teléfono: 272-0311

Costa Rica

Stefano Diulgheroff
Associate Professional Officer, FAO
IICA-CIAT
Apdo. Postal 55
2200 Coronado
San José
Teléfono: 290222 ext. 453

Danilo A. Pezo
Agrónomo de Pasturas
CATIE/Area de Ganadería Tropical
Turrialba
Teléfono: 56-64-18
Télex: 8005 CR

Víctor Prado Alvarez
Jefe, División Pecuaria
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Edificio La Salle, 1000
San José
Teléfono: 38-23-71

Cuba

Juan José Paretas Fernández
Director, Ciencia y Técnica
Instituto de Pastos y Forrajes
Av. Independencia y Comill,
Edificio Minag, Plaza
C. Habana
Teléfono: 79-29-96
8121 (Bauta)
Télex: 511-966 (68) (69)

Ecuador

Hernán Caballero D.
Especialista en generación y trasferencia
de tecnología agropecuaria
IICA-Ecuador
Mariana de Jesús 147 y La Pradera
Apartado 201-A
Quito
Teléfono: 234-395
543-146
Télex: 2837 IICA-ED

Lorenzo Raúl González Morcillo
Investigador Agropecurio
INIAP
Estación Experimental Hapo-Payamino
Casilla 2600
Hapo, Fco. de Orellana
Teléfono: 528650

Guadalupe

Pablo Alberto Cruz
Investigador
Institut National de la Recherche
Agronomique (INRA)
Station Agropedoclimatique des
Zones Caribes (Francia)
BP1232
97184 Point-à-Pitre
Guadeloupe (Francia-FOCI)
Teléfono: 255999
255969
Télex: INRAG 919866GL

Guatemala

Carlos Alfonso Rodríguez Enríquez
Encargado, Programa de Bovinos Cuyuta
ICTA
Av. Reforma No. 8-60, Zona 9
Guatemala
Teléfono: 318809
318819
317464

Participantes

Honduras

Conrado Burgos Guerrero
Jefe Nacional, Departamento de
Investigación Pecuaria
Secretaría de Recursos Naturales
Dirección General de Ganadería
Boulevard Miraflores
Tegucigalpa, F.M.
Teléfono: 32-77-47
32-78-67
Télex: SERENA No. 1404

Italia

David G. Crespo
Oficial Agrónomo, Grupo de Pastos y
Forrajes
FAO
Via delle Terme di Caracalla
00100 Roma
Teléfono: 57976129
Télex: 610181 FAOI

México

Andrés Aluja
Universidad Nacional Autónoma de
México
Centro de Investigación, Enseñanza y
Extensión en Ganadería Tropical
Apartado Postal 136
Martínez de la Torre, Veracruz 93.600
Teléfono: 91-232-43941
Fax: 91-232-43942

Sergio Echavarría Morales
Experto Nacional, Red de Forrajes
INIFAP-SARH
Victoria 310-112
Apartado Postal 1204
Chihuahua
Teléfono: 17-72-06
17-72-45

Armando Peralta M.
Experto de Forrajes
INIFAP
Apartado Postal 29
Iguala, Gro.
Teléfono: 2-10-56

Angel Ramos Sánchez
Director, Centro de Investigaciones
Agropecuarias y Forestales del
Estado de Oaxaca
INIFAP-SARH
Apartado Postal 33, Suc. B
Oaxaca, Oax.

Carlos Sánchez Brito
Experto Regional de Forrajes
INIFAP, Zona Centro
Acueducto 1750
Morelia, Mich.
Teléfono: 4-23-32

María Valdés
Profesora Investigadora
Instituto Politécnico Nacional
Apdo. Postal 63-246
02800 México, D.F.
Teléfono: (5) 5-41-68-65

Panamá

David Urriola
Investigador Pecuario
Coord. RIEPT Panamá
IDIAP
Centro Exp. de Gualaca, David Chiriquí
Apartado 958
David
Teléfono: 76-5044

Paraguay

Ricardo Samudio Britos
Director PRONIEGA
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Pte. Franca y 14 de Mayo
Asunción
Teléfono: 5-05203

Perú

José A. Ordóñez Flores
Coordinador, Convenio IVITA-CIID
IVITA
Apartado 245
Pucallpa
Teléfono: 353059 Lima

Jorge Washington Vela Alvarado
Investigador en Pastos
Estación Exp. Pucallpa
INIAP
Carretera Fed. Basodee km 4
Pucallpa
Teléfono: 5009

Puerto Rico

Luis E. Tergas
Profesor Asociado
Universidad de Puerto Rico
Dpto. de Agronomía y Suelos
Mayagüez
Teléfono: (809) 832 4040 ext. 2442

República Dominicana

Manuel E. Isidor S.
Director de Coordinación, Seguimiento y
Evaluación de Investigación Pecuaria
CENIP
Dirección General de Ganadería
Calle 1a. No. 41, Urb. EDDA, km 7 1/2
Santo Domingo
Teléfono: 532-30-75

Venezuela

Zdravko Baruch
Profesor Asociado
Universidad Simón Bolívar
Dpto. de Estudios Ambientales
Caracas
Teléfono: 962 1101 ext. 7172
Télex: 21910 USB VC

Adalberto José Flores A.
Coordinador Nacional de Forrajes
FONAIAP
Km 4, Vía El Tigre-C. Bolívar
Apartado Aéreo 212
El Tigre

CIAT

Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia
Teléfono: 675050
Télex: 05769 CIAT CO

José M. Toledo
Líder, Programa de Pastos
Tropicales

Miguel Angel Ayarza
Investigador posdoctoral

John Ferguson
Agrónomo (Semilla de pastos)

Myles J. Fisher
Ecofisiólogo

Ramón Gualdrón A.
Asociado en investigación

Silvio Guzmán
Asociado en investigación

Stephen Lapointe
Entomólogo

Participantes

Carlos E. Lascano
Especialista en Nutrición
Animal

Jillian M. Lenné
Fitopatóloga

William M. Loker
Investigador posdoctoral

Alberto Ramírez P.
Asociado en comunicaciones

José Oscar Sierra P.
Asociado en capacitación

Rosemary Sylvester-Bradley
Microbióloga

Derrick Thomas
Agrónomo (Llanos Orientales)

Pedro J. Argel
Agrónomo de Pasturas
IICA-CIAT, Apdo. Postal 55
2200 Coronado
San José, Costa Rica

Gerhard Keller-Grein
Agrónomo
Apartado 381
Pucallpa, Perú
Télex: 95441

Esteban A. Pizarro
Agrónomo (RIEPT-CAC)
IICA-CIAT
Apdo. Postal 55
2200 Coronado
San José, Costa Rica
Teléfono: 29-02-22 ext. 453

José G. Salinas
Jefe, Sección Recuperación Pasturas
CIAT-Pucallpa
Apartado Postal 558
Pucallpa, Perú
Teléfono: 5196

James M. Spain
Científico de Suelos
EMBRAPA/CPAC
Planaltina, D.F., Brasil
Teléfono: 61-596-11-71

Publicación CIAT No. 178
Programa de Pastos Tropicales y
Unidad de Publicación

Edición de producción: Francisco Motta (editor)
Gladys Rodríguez (asistente editorial)

Producción: Artes Gráficas, CIAT
Julio César Martínez (diseño de carátula)

Impresión: Impresora Feriva S.A., Cali, Colombia
