

La misión del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) es reducir el hambre y la pobreza en los trópicos mediante una investigación colaborativa que mejore la productividad agrícola y el manejo de los recursos naturales.

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

El presupuesto básico del CIAT es financiado por 30 donantes, entre los que figuran gobiernos de países, organizaciones para el desarrollo regional e internacional y fundaciones privadas. En el 2000, los siguientes países son donantes del CIAT: Alemania, Australia, Bélgica, Brasil, Canadá, Colombia, Dinamarca, España, Estados Unidos de América, Francia, Holanda, Italia, Japón, México, Noruega, Nueva Zelanda, Perú, Reino Unido, Sudáfrica, Suecia y Suiza. Las entidades donantes incluyen 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 Kellogg, la Fundación Nippon, la Fundación Rockefeller, y la Unión Europea (UE). Estos y otros donantes financian también los proyectos competitivos del Centro.

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

La Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa, vinculada al Ministerio de Agricultura y Abastecimiento de Brasil, tiene como objetivo generar y transferir conocimientos y tecnologías para los sectores agropecuario y agroindustrial y, de esta manera, contribuir para el bienestar social y económico de la población brasileña.

La misión de Embrapa es producir soluciones para el desarrollo sostenible del agronegocio brasileño mediante la generación, adaptación y transferencia de conocimientos y tecnologías en beneficio de la sociedad.

Desde su fundación en abril de 1973, Embrapa ha desarrollado y recomendado más de 8000 tecnologías para la producción agrícola y pecuaria de Brasil, contribuyendo a mejorar la eficiencia del sector, a reducir los costos de producción y aumentar la oferta de alimentos; conservando, al mismo tiempo, los recursos naturales y el medio ambiente, y disminuyendo la dependencia de tecnologías externas, de insumos y de materiales genéticos.

Embrapa coordina el Sistema Nacional de Investigación Agropecuaria y está presente en casi todos los Estados de la Federación con 37 Unidades de Investigación, dos Servicios Técnicos y 15 Unidades Centralizadas. En el entorno externo mantiene 280 proyectos de cooperación internacional con 160 instituciones distribuidas en 56 países para el desarrollo de investigaciones conjuntas con el fin de mejorar sus conocimientos en actividades técnicas y científicas o participar sus logros y tecnologías con otros países.

#### Sistemas agropastoriles



Maíz con pasturas.  
(Foto de Dennis Friesen).

Cultivos de arroz.  
(Foto de Mauricio Antorveza).

ISBN 958-694-010-1

# **Sistemas Agropastoriles en Sabanas Tropicales de América Latina**

Editores:

Elcio Perpétuo Guimarães

José Ignacio Sanz

Idupulapati M. Rao

Maria Cristina Amézquita

Edgar Amézquita



Centro Internacional de Agricultura Tropical  
Apartado Aéreo 6713  
Cali, Colombia

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa  
Parque Rural, Final Av. W3 Norte, Brasília, DF, Brasil  
CEP 70770-901

Publicación CIAT No. 313  
ISBN 958-694-010-1  
Tiraje: 500 ejemplares  
Impreso en Colombia  
Mayo de 1999

Sistemas agropastoriles en sabanas tropicales de América Latina /  
editado por E.P. Guimarães, J.I. Sanz, I.M. Rao, M.C. Amézquita y  
E. Amézquita. -- Cali, Colombia : Centro Internacional de Agricultura  
Tropical ; Brasília, DF, Brasil : Empresa Brasileira de Pesquisa  
Agropecuária, 1999.

313 p. Ilus. -- (Publicación CIAT ; no. 313)  
ISBN 958-694-010-1

1. Investigación en sistemas agropastoriles. -- 2. Sabanas de América Latina tropical. -- 3. Suelos ácidos de baja fertilidad. -- 4. Diseño de ensayos agropastoriles. -- 5. Sistema Barreirão. -- 6. Cultivos y forrajes en sistemas agropastoriles. -- 7. Germoplasma promisorio. -- Arroz de secano, maíz, *Brachiaria* spp. -- 8. Orinoquia colombiana. -- 9. Cerrados de Brasil.

Derechos de Autor CIAT 2001. Todos los derechos reservados

El CIAT propicia la amplia disseminación de sus publicaciones impresas y electrónicas para que el público obtenga de ellas el máximo beneficio. Por tanto, en la mayoría de los casos, los colegas que trabajan en investigación y desarrollo no deben sentirse limitados en el uso de los materiales del CIAT para fines no comerciales. Sin embargo, el Centro prohíbe la modificación de estos materiales sin su consentimiento otorgado por escrito, y espera recibir los créditos merecidos por ellos cuando son reproducidos en otras publicaciones. Aunque el CIAT elabora sus publicaciones con sumo cuidado, no garantiza que sean exactas ni que contengan toda la información.

Queremos agradecer el financiamiento adicional proporcionado por las siguientes entidades:

Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Consortio para el Manejo de Suelos Acidos (MAS) del  
Programa sobre Manejo de Suelos, Agua y Nutrimientos del  
GCIAl

# Contenido

	Página
Prólogo	ix
Prefacio	xi

## **PARTE 1** **Investigación Agropastoril en las Sabanas Tropicales** **de América Latina**

### Capítulo

1	Investigación en Sistemas Agropastoriles: Antecedentes y Estrategias <i>R. R. Vera</i>	1
2	Sistemas Agropastoriles en las Sabanas de América Latina Tropical: Lecciones del Desarrollo Agrícola de los Cerrados de Brasil <i>A. Lopes, M. Ayarza y R. Thomas</i>	9
3	Conceptos y Estrategia de Investigación Participativa en el Proyecto Sabanas-Procitropicos <i>O. Muzilli</i>	31
4	Indicadores de Sostenibilidad: Parámetros Edafoclimáticos y Diagnóstico del Perfil Cultural <i>E. Amézquita, D. Friesen y J. I. Sanz</i>	49

## **PARTE 2** **Aspectos Metodológicos de la Investigación Agropastoril**

5	Planeación y Diseño de Ensayos Agropastoriles <i>M. C. Amézquita</i>	65
---	---	----

Capítulo	Página
6 <b>Análisis Estadístico de un Ensayo Exploratorio para la Toma de Decisiones Metodológicas</b> <i>M. C. Amézquita, M. Chatel, E. P. Guimarães, Y. Ospina y J. Silva</i>	78
7 <b>Parcelas de Validación: Características, Diseño, Monitoreo y Evaluación</b> <i>O. Muzilli</i>	91
8 <b>Transferencia de Tecnología: El Caso del Sistema Barreirão en Goiás, Brasil</b> <i>J. de C. Gomide</i>	107

**PARTE 3**  
**Cultivos y Forrajes como Componentes de**  
**Sistemas Agropastoriles**

9 <b>Alternativas Genéticas para Sistemas de Producción en Sabanas de Suelos Acidos de la Orinoquia Colombiana</b> <i>R. A. Valencia R. y D. Leal M.</i>	115
10 <b>Investigación en Variedades de Maíz para Suelos Acidos</b> <i>L. Narro, S. Pandey, A. León, J. C. Pérez y F. Salazar</i>	129
11 <b>Germoplasma Promisorio para Sistemas Agropastoriles en los Llanos Orientales de Venezuela</b> <i>T. Rodríguez, L. Navarro y D. Sanabria</i>	146
12 <b>Potencial de los Sistemas Agropastoriles en el Manejo de Suelos Degradados en Santa Cruz, Bolivia</b> <i>L. Martínez</i>	154
13 <b>Características Morfológicas y Fisiológicas Relacionadas con el Desempeño de Arroz de Secano Asociado con <i>Brachiaria brizantha</i></b> <i>Beatriz da Silveira Pinheiro, Maria Luiza Konrad y Maria Pereira do Carmo</i>	163
14 <b>Sistemas Agropastoriles Basados en Leguminosas de Usos Múltiples</b> <i>M. A. Ayarza, L. Vilela, E. A. Pizarro y P. H. da Costa</i>	175

**PARTE 4**  
**Potencial de los Sistemas Agropastoriles para  
 el Manejo Sostenible de las Sabanas Tropicales de  
 América del Sur**

## Capítulo

- |    |  |     |
|----|--|-----|
| 15 | <b>Sistema Barreirão: Recuperación/Renovación de Pasturas Degradadas Utilizando Cultivos Anuales</b><br><i>J. Kluthcouski, I. P. de Oliveira, L. P. Yokoyama, L. G. Dutra, T. de A. Portes, A. E. da Silva, B. da S. Pinheiro, E. Ferreira, E. da M. de Castro, C. M. Guimarães, J. de C. Gomide y L. C. Balbino</i> | 195 |
| 16 | <b>Sistemas Mejorados Arroz-Pasturas para Sabana Nativa y Pasturas Degradadas en Suelos Acidos de América del Sur</b><br><i>J. I. Sanz, R. S. Zeigler, S. Sarkarung, D. L. Molina y M. Rivera</i>  | 232 |
| 17 | <b>Sistemas Integrados de Producción Agropastoril</b><br><i>A. H. Zimmer, M. C. M. Macedo, A. N. Kichel y V. P. B. Euclides</i>  | 245 |
| 18 | <b>Evaluación de Sistemas Agropastoriles en la Altillanura de la Orinoquia Colombiana</b><br><i>R. A. Valencia R., C. R. Salamanca, G. E. Navas R., J. E. Baquero P., A. Rincón y H. Delgado</i>   | 284 |

**PARTE 5**  
**Experiencias Adquiridas y el Camino Hacia el Futuro**

- |          |   |     |
|----------|---|-----|
| 19       | <b>Investigaciones en Sistemas Agropastoriles: Qué Hemos Aprendido y Qué Debemos Hacer en el Futuro</b><br><i>E. P. Guimarães, J. I. Sanz, I. M. Rao y E. Amézquita</i> | 301 |
| Apéndice | <b>Lista de Acrónimos Usados en el Texto</b>  | 313 |

# Prólogo

Describir la importancia del ecosistema Sabanas Tropicales de América Latina en este prólogo sería repetir el excelente trabajo realizado por los autores de esta publicación. No se puede dejar de mencionar la enorme expectativa que la comunidad internacional tiene con respecto a la utilización de esta región, una de las pocas áreas disponibles en el mundo para un crecimiento inmediato en busca de una mayor producción de alimentos, lo que significa un gran desafío en la preservación de los recursos naturales y la sostenibilidad de las producciones agrícola y ganadera.

En los 19 capítulos de este libro, los autores transmiten de manera clara las experiencias adquiridas, el potencial de los sistemas agropastoriles y las oportunidades futuras para explorar en forma eficiente y sostenible este ecosistema, preservando los recursos naturales. Las contribuciones científica de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) y del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), sumadas a los esfuerzos de los programas nacionales de investigación en

Bolivia, Colombia y Venezuela han despertado un gran interés en la comunidad científica internacional.

Los análisis de los autores indican que existen sistemas integrados agricultura-ganadería con buenas perspectivas económicas para los agricultores y ganaderos, a la vez que garantizan la sostenibilidad de los recursos naturales para las generaciones futuras. Por lo anterior, creemos que se justifica la inversión en las investigaciones en este ecosistema, y hacemos un llamado a la comunidad internacional para que analice las informaciones presentadas en este libro y continúen apoyando los esfuerzos institucionales dirigidos al ecosistema.

Para terminar, aprovechamos la oportunidad para agradecer a los investigadores que mediante su dedicación y esfuerzo produjeron una publicación que, sin duda alguna, servirá como marco para la región, mostrando que la suma de los esfuerzos y el interés en el trabajo colaborativo producen resultados que mejoran la vida de nuestros hermanos campesinos.

Alberto Duque Portugal  
Presidente, EMBRAPA

Grant M. Scobie  
Director General, CIAT



# Prefacio

Las sabanas de América Latina tropical representan una de las grandes extensiones de tierra con potencial para la producción agrícola. Este ecosistema ocupa más de 250 millones de hectáreas, equivalentes a la superficie cultivada en el mundo bajo el sistema de riego. En la medida en que la población mundial continúe creciendo, la demanda por alimentos también aumentará y, como resultado del nivel estable de producción que han alcanzado varios cultivos, existe actualmente una presión creciente para incorporar la tierra restante a la producción agrícola. Parece inevitable, por tanto, que una mayor área de las sabanas aún no explotadas se incorpore a la explotación agrícola. Las lecciones aprendidas de las experiencias alcanzadas en los Cerrados de Brasil indican que el monocultivo agrícola y las pasturas no son sostenibles con las actuales prácticas de manejo, como lo muestra la tasa de degradación de la tierra en esta región, que se estima entre 2% y 4% por año. Las principales causas de la degradación en las áreas cultivadas son la compactación del suelo y su pérdida por erosión como consecuencia de prácticas de manejo equivocadas; la pérdida acelerada de la materia orgánica; y la infestación por malezas, plagas y enfermedades. Las pasturas se degradan por la falta de

fertilización, de mantenimiento y el manejo deficiente del pastoreo que favorecen la invasión por malezas y el ataque de plagas y enfermedades.

Los productores, las agroempresas y las instituciones de investigación han reaccionado frente a estos problemas. Para el efecto, están buscando nuevos y mejores sistemas de producción agrícola y ganadera de fácil adopción. Estos sistemas incluyen las labranzas cero y mínima, y la integración de cultivos y pasturas en sistemas de producción agropastoriles.

En este libro se hace una revisión de las investigaciones, los avances y las perspectivas de los sistemas agropastoriles en las sabanas tropicales de América Latina. La parte principal de la obra es el resultado del establecimiento en 1992 de la Red Agropastoril para Sabanas y de las conclusiones de los talleres de trabajo y de análisis de resultados celebrados en Colombia (1992 y 1996), Brasil (1993), Venezuela (1994) y Bolivia (1995).

Se espera que las experiencias, logros y avances aquí presentados sean de utilidad para productores, investigadores, extensionistas, estudiantes y personas encargadas de dirigir las políticas sobre el uso sostenible de los recursos en las sabanas de suelos ácidos de América

Latina y de otras regiones en el mundo.

Esta publicación fue posible gracias al apoyo de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), el Centro Internacional

de Agricultura Tropical (CIAT) y el Consorcio para el Manejo de Suelos Acidos (MAS), que forman parte del Programa sobre Manejo de Suelos, Agua y Nutrientes del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI).

R. J. Thomas  
Coordinador, Proyecto MAS

**PARTE 1**

**Investigación Agropastoril  
en las Sabanas Tropicales  
de América Latina**

## CAPITULO 1

# Investigación en Sistemas Agropastoriles: Antecedentes y Estrategias

R. R. Vera\*

## Contenido

Resumen	1
Abstract	2
Introducción	2
El CIAT en el Manejo de los Recursos Naturales	4
Investigación sobre Sistemas Agropastoriles	5
El concepto de sistemas agropastoriles para sabanas	5
Enfoque de la investigación en sistemas agropastoriles para sabana	6
Componentes de la investigación: Problemas de escala	7
Referencias	8

## Resumen

Se analiza brevemente el contexto en que se desarrolla la investigación agropastoril en las sabanas neotropicales. Inicialmente se resumen las tendencias recientes en el uso de los recursos de tierras y el papel que cumplen en el suministro de una proporción creciente de productos agrícolas y pecuarios básicos tales como granos, oleaginosas, carne y leche. Este fenómeno está estrechamente asociado con una 'antropización' creciente de las sabanas, por lo que se debate la necesidad de compatibilizar su uso agropecuario con la conservación de los recursos. La definición de sistemas agropastoriles en el contexto de las sabanas es objeto de análisis y se discute el papel que el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, desempeña en la investigación sobre sistemas agropastoriles y su relación con instituciones nacionales y otras internacionales en estas

---

\* Investigador, Líder del Programa de Trópico Bajo del CIAT hasta octubre de 1996.  
E-mail = r.vera@usa.net., Viña del Mar, Chile.

funciones. En este contexto se hace referencia al acuerdo dentro del marco del Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología para los Trópicos Suramericanos (Proctropicos) en relación con la división de responsabilidades y labores entre todas las instituciones interesadas en este tipo de investigación.

## **Abstract**

This chapter briefly describes the context in which agropastoral research in the neotropical savannas is developed. First, it summarizes the latest trends in land use, and the role these have in increasing the proportion of basic agricultural products such as grains, oils, meat, and milk. The increase of staples is closely associated with increased human intervention in the savannas, which has led to a debate on the need to make compatible agricultural land use with the conservation of natural resources. The definition of agropastoral systems in the savannas is analyzed. The role that the Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Colombia, plays in research on agropastoral systems and its relationships with national and other international institutions are discussed. Reference is made to the agreement made with the Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología para los Trópicos Suramericanos (Proctropicos) on the distribution of responsibilities and work among all institutions participating in this type of research.

## **Introducción**

La Red de Investigación Agropastoril para las Sabanas está tratando de promover trabajos en sistemas agropastoriles para las áreas de sabanas y regiones sabanizadas. Estos trabajos están enmarcados dentro de la concepción de agricultura sostenible y reconocen la realidad de la intervención del hombre en forma masiva en esas ecozonas.

Las sabanas neotropicales de América del Sur cubren aproximadamente 250 millones de hectáreas en Bolivia, Brasil, Colombia, Guyana y Venezuela, y están conectadas con otros importantes biomas, tales como la cuenca Amazónica y las regiones de Chaco en Bolivia y Paraguay (Figura 1). Debido a esta proximidad y, en parte, porque algunos de los recursos de suelos son semejantes, la tecnología desarrollada para el uso de dichas sabanas ha influenciado algunas de las prácticas

agronómicas y de uso de tierras que se aplican en estos otros ecosistemas. Un ejemplo del grado de intervención antropogénica en el agroecosistema de sabanas es el hecho de que en él se incluyen más de 12 millones de hectáreas dedicadas a cultivos anuales, muchos de ellos como el maíz y la soya que requieren altos insumos externos como agroquímicos, energía y administración.

Esta región, como se mencionó antes, está conectada físicamente con otras del subcontinente, de tal modo que, por ejemplo, la superficie dedicada al cultivo de soya en 1994-95 se extendió a un total de 20 millones de hectáreas que se inician en el límite norte del ecosistema Cerrado, en el Estado de Mato Grosso (Brasil) y llega, en forma casi ininterrumpida, hasta las pasturas de clima templado y subtropical en Argentina y Uruguay, atravesando grandes áreas de Chaco en Bolivia y Paraguay. Con variaciones en el uso de insumos y variedades, la

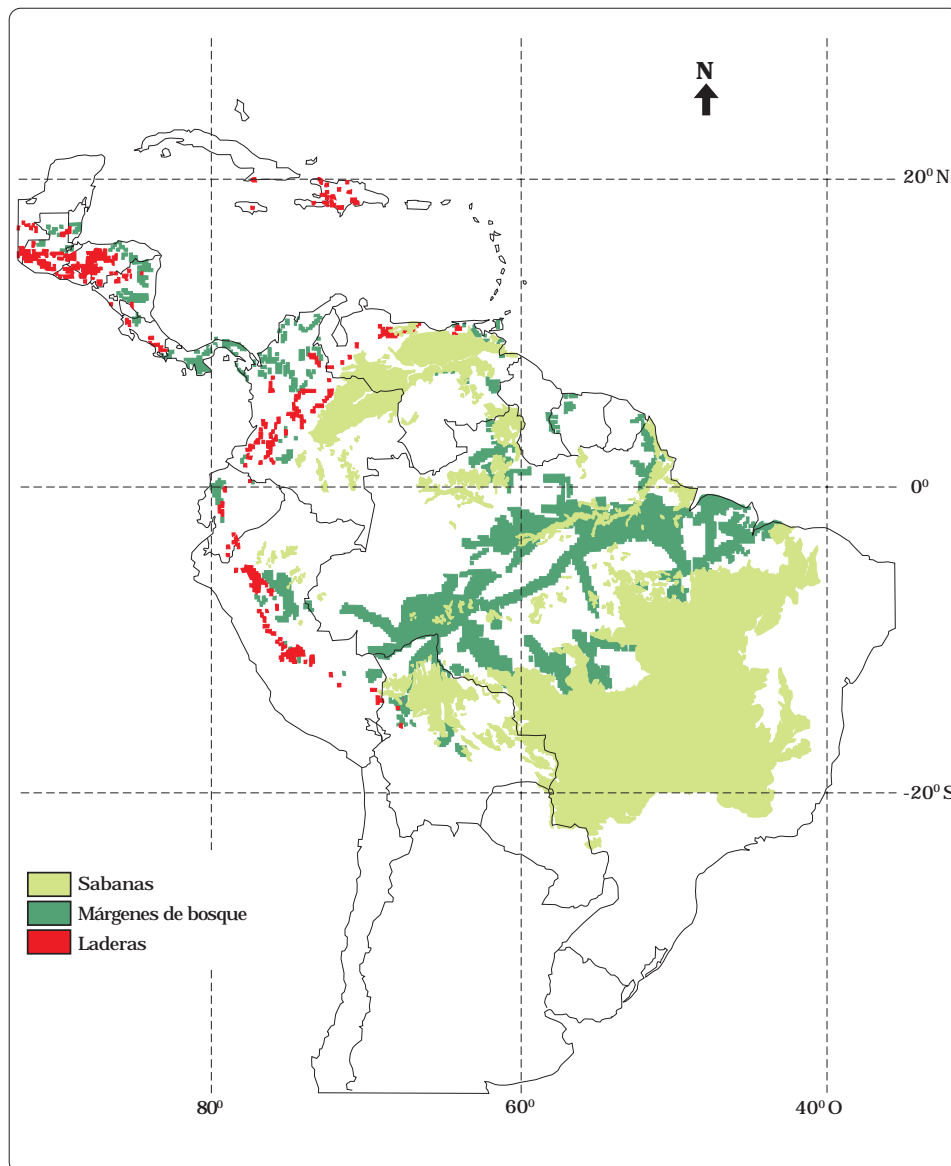


Figura 1. Áreas de sabanas neotropicales y algunas regiones aledañas de Chaco (Bolivia y Paraguay).  
FUENTE: Unidad de Manejo de Tierras, CIAT.

tecnología agronómica es bastante semejante a lo largo de todo ese gradiente. Asimismo, un mínimo de 30, y probablemente, 50 millones de hectáreas han sido convertidas en pasturas sembradas en forma de monocultivo. Otras áreas menores,

pero aún importantes, han sido convertidas a plantaciones de árboles maderables y frutales, caña de azúcar y palma africana, entre otros.

Esta masificación de la industria agropecuaria en las sabanas ha

conducido a que, en menos de 30 años, la contribución del ecosistema a la producción agrícola haya pasado de prácticamente cero hasta valores que oscilan entre 20% y 90%, según el país que se considere. Porcentajes semejantes se encuentran para el sector ganadero; así, por ejemplo, el Cerrado mantuvo en 1994-95 aproximadamente el 40% del hato nacional de Brasil. Más aún, algunos países consideran, entre ellos Bolivia, que las áreas de sabanas naturales y las derivadas constituyen no sólo una válvula de escape para problemas de tenencia de la tierra y degradación de los recursos naturales en ecosistemas muy frágiles como el bosque amazónico o muy intervenidos como la región alta andina; en consecuencia, se debe prever un continuo crecimiento en el grado de intervención humana, aunque, tal vez, a un ritmo algo menor que en los últimos años.

El desafío es, entonces, enfrentar estas realidades y contribuir por medio de la generación de tecnología al desarrollo de un sector agropecuario que sea capaz de mantener altos niveles de productividad, minimizando los riesgos ambientales. Desde el punto de vista de la investigación, se debe estar en capacidad de cuantificar los procesos de ganancias y pérdidas involucrados inevitablemente en cualquier modificación de los sistemas naturales, para contribuir con hechos científicos al debate que sobre desarrollo y ecología se da cada vez con mayor intensidad en medio de la sociedad en que vivimos. Esta contribución de la investigación agropecuaria tanto al desarrollo de las sabanas como al debate científico, requiere ajustes y modificaciones en los modelos institucionales de investigación, así como en la propia preparación y actitud mental de cada uno de los individuos involucrados en este proceso. Es en este contexto que se recapitula muy brevemente el

proceso vivido en el CIAT y se examinan algunas de sus implicaciones y conexiones con la red agropastoril que funciona de manera informal en América Latina.

## **El CIAT en el Manejo de los Recursos Naturales**

El origen del CIAT, como es conocido, es el de un centro de investigaciones por productos, siendo el número de éstos muy limitado (arroz, yuca, frijol y pastos tropicales). Este es un modelo bastante común en instituciones nacionales y regionales. A partir de ese origen, se ha evolucionado con éxito razonable hasta adoptar una estrategia de investigación que, por un lado continúa apoyándose en el desarrollo de germoplasma de productos tradicionales y, por otro, inició en 1991 investigaciones en el manejo de recursos naturales en tres agroecosistemas mayores: laderas en zonas de alturas intermedias, márgenes de bosque y sabanas. Estos dos últimos constituyen el centro de investigación del Programa de Trópico Bajo del CIAT.

La investigación en manejo de recursos naturales implica reconocer desde el principio que, si bien en algunas regiones o subregiones de los agroecosistemas de interés, los productos cuyo germoplasma se pretende desarrollar pueden ser muy importantes, existen igualmente otros que los superan en importancia, tanto desde el punto de vista económico como de su impacto ambiental. La vegetación nativa y los cultivos de soya y maíz son ejemplos de estos últimos, particularmente relevantes en el caso de las sabanas.

Estas investigaciones sobre uso y preservación de los recursos naturales son complejas y requieren del apoyo de numerosas instituciones. Por lo

mismo, el CIAT no pretende ser autosuficiente en ningún agroecosistema y, al igual que los demás centros internacionales del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAI), el CIAT está tratando de implementar investigaciones colaborativas con otras instituciones, sean éstas gubernamentales, regionales, nacionales o privadas. De la misma manera, se pretende suministrar una base de operaciones o plataforma para la actividad de otros centros internacionales en la región. Por ejemplo, en 1995 se tenían operaciones regionales del CIMMYT, el IPGRI, el IIMI, el IFPRI, el ICRISAT, el IFDC, el CIRAD y JIRCAS.

El GCIAI está en proceso de evolución y, al contrario de la situación en el pasado reciente, cuando cada Centro era más o menos autosuficiente, se están implementado rápidamente programas y proyectos globales que involucran a varios centros, así como a varias instituciones. Ejemplos muy recientes de estas iniciativas lo constituyen el Programa Global sobre Recursos Genéticos, el Programa sobre Ganadería —incluyendo el Proyecto Tropileche propuesto por instituciones de Costa Rica, Perú, el ILRI y el CIAT— y el Programa Ecorregional para América Tropical y Subtropical, recientemente aprobado.

Esta serie de desarrollos de los últimos años implica que el CIAT debe continuar evolucionando en su mandato y adquiriendo una visión más amplia, que trascienda los cultivos y productos tradicionales, para poder hacer honor al término 'Agricultura Tropical', que figura en su nombre.

Es dentro de este contexto general que se enmarca la investigación sobre el manejo sostenible de los recursos en el ecosistema sabanas.

## **Investigación sobre Sistemas Agropastoriles**

### ***El concepto de sistemas agropastoriles para sabanas***

Como se indicó anteriormente, las sabanas contribuyen en forma creciente a la producción de cultivos anuales y perennes, y a la producción ganadera. Hasta el presente, e históricamente, los sectores agrícola y ganadero han evolucionado en forma independiente, existiendo muy poca integración espacial o temporal entre ellos en trabajos en finca, lo cual sugiere una de las hipótesis de trabajo más importantes para el sostenimiento, al menos, del recurso suelo en las sabanas, como es el desarrollo de sistemas que integren dichos sectores: los sistemas agropastoriles.

La concepción de sistemas agropastoriles no puede limitarse a la más ortodoxa de las rotaciones de sistemas de cultivos anuales con sistemas de producción de forraje para rumiantes. Una interpretación mucho más amplia y comprensiva incluye situaciones como la antes mencionada, pero debe incluir también otras estrategias que permitan capturar el sinergismo potencial entre cultivos, pastos y otros componentes (Spain, 1993), ya que la rotación de cultivos y pastos no es siempre la solución óptima. En efecto, en la mayoría de las fincas existe una variedad de suelos y topografías con diferentes aptitudes de uso. Es posible que algunas partes sean muy adecuadas para la agricultura continua o por lo menos una larga secuencia temporal de cultivos, mientras que otras partes, generalmente más pobres, deberán ser reservadas para pastos perennes o plantaciones forestales. En consecuencia, la integración de estos componentes en sistemas reales de producción tiene tanto dimensiones



temporales como espaciales. Como lo indica Spain (1993), sin duda las rotaciones planeadas de cultivos y pastos maximizan el sinergismo entre ellos, pero esas mismas formas de uso de los recursos de tierra y otras más pueden ser altamente complementarias, sin ocupar necesariamente el mismo espacio físico. Por ejemplo, el uso de residuos y subproductos de las actividades agrícolas para la suplementación animal en época seca constituye otra forma de integración, en tanto que el uso de los fertilizantes orgánicos (heces y orina) provenientes de animales en confinamiento tienen el potencial de aumentar o recuperar numerosas propiedades de los suelos agrícolas. Los ejemplos anteriores son una integración espacial de los diversos componentes.

### ***Enfoque de la investigación en sistemas agropastoriles para sabana***

En la investigación de estos sistemas se pueden identificar los enfoques siguientes, que son mutuamente complementarios:

1. La investigación en sistemas agropastoriles destinada a superar limitantes o problemas ya identificados. Como ejemplos se pueden citar los que se relacionan con la degradación física y biológica de suelos sujetos al monocultivo, aún con la aplicación de altos niveles de fertilización y el bien conocido, pero poco documentado, proceso de degradación de pasturas; y
2. La búsqueda de oportunidades y la generación de sistemas innovativos, para aquellos casos en que surgen nichos específicos. Ejemplos de estos casos podrían ser la selección e identificación de nuevo genoplasma para

cobertura, como leguminosas en sistemas de labranza cero y en plantaciones de árboles; o el desarrollo de nuevos cultivos adaptados a suelos ácidos y su incorporación en sistemas.

Dentro de este panorama se requieren investigaciones desde básicas hasta aplicadas o adaptativas. Precisamente en esta Red están representadas instituciones que cubren ese amplio rango de actividades complementarias, y la división del trabajo ha sido bien identificada en proyectos como el de sabanas de Procitropicos. En este proyecto, y en general dentro de todo el trabajo de investigación en manejo de recursos naturales de las sabanas, el CIAT prefiere concentrarse en la investigación estratégica, o sea, aquella dirigida a desarrollar una comprensión mecanicista de los procesos, sean biofísicos o socioeconómicos, sujetos de estudio. En el Cuadro 1 se muestra el acuerdo suscrito en 1994 sobre división de responsabilidades, el que se podría implementar en la medida en que cada una de las actividades previstas cuente con financiación.

Frecuentemente se cree que la investigación estratégica es sinónimo de investigación de procesos biofísicos, pero existe igualmente y es de igual importancia, la investigación económica y social. Estas últimas son de importancia en la medida en que el ser humano es quien toma decisiones sobre el uso y manejo de los recursos naturales, siendo el proceso de toma de decisiones por parte del productor el que requiere ser comprendido, inclusive para el diseño de nuevas tecnologías.

En consecuencia, la investigación en sistemas agropastoriles, como la relacionada con otros sistemas complejos, tiene una serie de requerimientos (Taylor, 1990), tales como: (1) Equipos multidisciplinares.

Cuadro 1. Distribución de responsabilidades entre las instituciones involucradas en la investigación de sistemas agropastoriles, acordada por Procitropicos en 1994.<sup>a</sup>

Institución	Transfe- rencia de tecnología	Informa- ción y documen- tación	Capacita- ción	Valida- ción en fincas	Investiga- ción aplicada	Germo- plasma	Investiga- ción estraté- gica
Nacionales	**	**	**	**	**	**	**
Sector privado	**	**	**	**	**	—	—
CIAT	—	*	*	—	*	**	**
Procitropicos	—	—	**	**	*	—	—
FAO/instituciones nacionales	**	*	**	—	—	—	—
CIRAD	—	—	**	**	—	—	*

a. \* = involucrado; \*\* = altamente involucrado.

(2) Análisis holísticos (Seré y Vera, 1990) y experimentación en sistema de producción o finca, lo que involucra documentar las experiencias que puedan existir sobre sistemas, mediante estudios de caso, encuestas, y monitoreo en fincas, así como experimentar en forma participativa con nuevas alternativas y prototipos. (3) Investigación a largo plazo más mecanicista, fuera y dentro de la estación experimental. (4) Enfoques de investigación tanto analíticos como sintéticos.

La investigación de síntesis puede operar en la práctica de más de una forma, dependiendo del objetivo perseguido. Así, la síntesis puede darse en la forma de uno o más prototipos de sistemas agropastoriles, que idealmente deben ser evaluados en forma participativa y a nivel de finca. También se pueden sintetizar los conocimientos sobre sistemas agropastoriles y, aún, los supuestos que sobre ellos se hagan, mediante el uso de modelos matemáticos de simulación, bien sea para investigar a priori hipótesis alternativas como para evaluar su factibilidad económica y de otros tipos. Idealmente, los prototipos y los modelos simulados se deben desarrollar en forma más o menos paralela e interactuar el uno con el otro.

### **Componentes de la investigación: Problemas de escala**

Por último, es necesario hacer referencia muy brevemente a los problemas de escala de las investigaciones en sabanas. El diseño de prototipos de sistemas agropastoriles sostenibles que combinan cultivos, sabanas nativas, pastos sembrados y otros usos en el espacio y/o en la escala temporal, se debe apoyar y beneficiar de las investigaciones en marcha sobre sus diferentes componentes que, frecuentemente, son conducidas a una escala más reducida. Así, por ejemplo, aspectos del reciclado de nitrógeno deben ser evaluados con isótopos en parcelas pequeñas o aún en condiciones de invernadero. Los problemas de escala de extrapolación del uno hacia el otro son evidentes. En forma similar, las oportunidades para la generalización y extrapolación de los resultados de investigación en prototipos o la generalización sobre demandas de investigación, dependen de los análisis a otras escalas de los recursos de tierras. Esto requiere el análisis de miles y, a veces, millones de hectáreas, como ha ocurrido para el Cerrado de Brasil (Jones et al., 1992) y que están en proceso para otras regiones.

Es a estos niveles más agregados donde se deben examinar las consecuencias de la intensificación del uso de las sabanas sobre aspectos tales como la sedimentación y la contaminación de los principales ríos, la pérdida de biodiversidad u oportunidades para conservarla en áreas seleccionadas, el impacto económico sobre el desarrollo de la propia región y otras aledañas. Smith et al. (1997; 1998) presentan algunos ejemplos de este tipo de análisis agregado. Nuevamente, al igual que en los casos anteriores citados, es notoria la necesidad del trabajo multidisciplinario e interinstitucional.

## Referencias

- Jones, P. G.; Rincón; M.; y Clavijo, L. A. 1992. Area classification and mapping for the Cerrados region of Brazil. Second draft. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Seré, C. y Vera, R. 1990. Marco conceptual de la investigación en fincas. En: Investigación con pasturas en fincas. Memorias de una reunión de trabajo realizada en Palmira, Colombia, agosto 27-29 de 1990. Documento de trabajo no. 124. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Centro Internacionales de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 5-18.
- Smith, J.; Cadavid, J. V.; Rincón, A.; y Vera, R. R. 1997. Land speculation and intensification at the frontier: A seeming paradox in the Colombian savanna. *Agric. Syst.* 54:501.
- \_\_\_\_\_; Winograd, M.; Gallopin, G.; y Pachico, D. 1998. Dynamics of the agricultural frontier in the Amazon and Savannas of Brazil: Simulating the impact of policy and technology. *Environ. Model. Assess.* 3:31-46.
- Spain, J. M. 1993. General comments related to rapid rural surveys, Cerrados. Crop-pasture integration. CIAT internal document. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Taylor, D. C. 1990. On farm sustainable agricultural research: Lessons from the past, directions for the future. *J. Sustain. Agric.* 1:43-87.

## CAPITULO 2

# Sistemas Agropastoriles en las Sabanas de América Latina Tropical: Lecciones del Desarrollo Agrícola de los Cerrados de Brasil

*A. Lopes\**, *M. Ayarza\*\** y *R. Thomas\*\**

## Contenido

Resumen	10
Abstract	10
Introducción	11
Limitaciones Edáficas en los Cerrados	11
Acidez del suelo y baja fertilidad	12
Mineralización de la materia orgánica	12
Disponibilidad de nitrógeno y azufre	13
Disponibilidad de micronutrientes	13
Déficit de agua	14
Compactación del suelo	14
Erosión	15
Tecnologías para Corregir la Acidez y la Baja Fertilidad en el Suelo	16
Encalamiento	16
Modificación de la acidez en el subsuelo	17
Incremento de las reservas de fósforo en el suelo	17
Incremento de las reservas de potasio en el suelo	19
Incremento de las reservas de micronutrientes en el suelo	19
El Uso de la Tierra y los Sistemas de Manejo	19
Sistemas de pasturas	19
Sistemas de cultivos anuales con labranza convencional	20

\* Profesor, Departamento de Suelos, Univ. Federal de Lavras, Lavras, Brasil.

\*\* Investigadores del CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

Sistemas de labranza mínima y cero-labranza	21
Sistemas integrados agricultura-ganadería	23
Desafíos para Alcanzar una Agricultura más Sostenible	24
Aspectos socioeconómicos y culturales	25
Política ambiental favorable	25
Desarrollo de parámetros para medir la sostenibilidad	25
Desarrollo de nuevas opciones tecnológicas	26
Referencias	26

## **Resumen**

Los suelos ácidos de las sabanas tropicales constituyen gran parte del área disponible para la expansión de la frontera agrícola en el mundo. Estos suelos han sido generalmente considerados marginales debido a su baja fertilidad natural y a su susceptibilidad a una rápida degradación. Las vastas áreas de los Cerrados brasileños, abiertos hace 30 años, hoy responden por una considerable proporción de la producción agrícola del país. Sin embargo, los sistemas de monocultivo, tanto de especies anuales como de especies forrajeras perennes, han mostrado poca sostenibilidad bajo las actuales condiciones de manejo. Los nuevos sistemas desarrollados e implementados incorporan tecnologías de producción y de conservación de los recursos naturales; entre ellos, los de cero-labranza, labranza mínima y los sistemas integrados de agricultura-ganadería están siendo exitosos en términos de su rápida adopción por los productores. No obstante, es necesario conocer mejor los principios y el funcionamiento de estos sistemas con el fin de determinar su conveniencia en términos de sostenibilidad en el largo plazo. Los desafíos que aún persisten para asegurar el desarrollo sostenible de las sabanas incluyen aspectos económicos, sociales y culturales. Además, es necesario implementar una política ambiental adecuada y un mejor entendimiento de la sostenibilidad y de la forma de medirla. En este artículo se revisan las lecciones aprendidas de la experiencia del desarrollo de la agricultura en los Cerrados brasileños. La futura investigación debe incluir el desarrollo de otras opciones de cultivos con tolerancia a la acidez en el suelo, un mejor entendimiento de los ciclos del agua y de los nutrientes, el desarrollo de los principios de manejo de la materia orgánica y de los residuos de los cultivos y del manejo biológico de la fertilidad del suelo.

## **Abstract**

Most of the world's new land for agricultural expansion is found in the acid-soil savannas of the tropics. These lands are marginal, having an inherently low fertility and being susceptible to rapid degradation. The vast Brazilian "Cerrados" were opened up about 30 years ago and, today, they supply a considerable proportion of the country's agricultural commodities. However, monocropping of either annuals (grains) or perennials (pastures) is unsustainable under prevalent management systems. Alternative production systems, incorporating improved technologies for agricultural production and conservation of natural resources, are now being developed

and implemented. Among the improved technologies being successfully adopted by farmers are no tillage, minimum tillage, and integrated crop-and-livestock systems. Nevertheless, the principles and functioning of alternative systems need to be assessed for long-term sustainability. The challenges in ensuring that acid-soil savannas are developed sustainably include better understanding the social, cultural, and economic aspects involved, creating a favorable policy environment, and understanding more clearly "sustainability" and its measurement. We review the lessons learned from the "Cerrados" experience. Future research should include developing more crops with acid-soil tolerance, better understanding water and nutrient cycles and the principles of managing soil organic matter and crop residues, and developing a system of biologically managing soil fertility.

## Introducción

El crecimiento anual de la población mundial se estima en más de 80 millones de personas, lo que aumentará la demanda de alimentos en el corto plazo. Esto se traducirá en la necesidad de intensificar aún más la producción agrícola en las áreas ya disponibles y de expansión hacia áreas marginales. Al mismo tiempo, está surgiendo la necesidad de manejar adecuadamente aquellas áreas que están sufriendo problemas de degradación.

Las vastas sabanas —en millones de hectáreas entre paréntesis— en Brasil (207), Venezuela (28), Colombia (17), Bolivia (14) y Guyana (4) se consideran como la frontera agrícola mundial más importante (Borlaug y Dowsell, 1994). El área total de este ecosistema (250) excede el área total bajo irrigación en el mundo.

Hasta la década de los 60's, los Cerrados de Brasil han sido utilizados exclusivamente para la cría y levante de ganado bovino en pasturas nativas de baja calidad y capacidad de carga. A partir de los 70's se inició el cambio en el uso de esta región con la siembra de extensas áreas de pasturas mejoradas y la incorporación de áreas con potencial de mecanización para la producción de granos, café, frutas y sistemas de reforestación (Lopes, 1996).

Posteriormente, estos sistemas comenzaron a mostrar con el tiempo pérdidas de productividad y problemas de degradación de suelo debido a prácticas inadecuadas de labranza, aumento de plagas y enfermedades, y disminución de la fertilidad en el suelo. A partir de los 90's comenzó el desarrollo de sistemas agropastoriles, sistemas de labranza mínima y cero-labranza como alternativas agrícolas más sostenibles.

En este artículo se revisan las lecciones aprendidas del desarrollo de la agricultura en los Cerrados brasileños, con énfasis en las limitaciones naturales de estos suelos y en las tecnologías de fertilización y de manejo desarrolladas para superarlas. Estas experiencias pueden ser valiosas para la explotación de áreas similares en América Latina y de ciertas zonas en África. Gran parte de la información usada en este trabajo fue tomada de la literatura e incluye aspectos relacionados con los cambios químicos, físicos y biológicos que ocurren en estos suelos después de los cultivos.

## Limitaciones Edáficas en los Cerrados

La mayoría de los suelos en el Cerrado son Oxisoles (46%), Ultisoles (15%) y Entisoles (15%) altamente

meteorizados. Estos suelos presentan limitaciones para la producción de cultivos debido principalmente a su baja fertilidad natural.

Lopes y Cox (1977) publicaron un inventario de la fertilidad de 518 muestras de suelos tomadas bajo vegetación nativa en una área que cubre aproximadamente el 33% del área total de los Cerrados. Los resultados de ese inventario se utilizan en este artículo para cuantificar las limitaciones edáficas de esta región y comparar esos valores con los niveles críticos definidos por otros investigadores.

### **Acidez del suelo y baja fertilidad**

Aproximadamente, la mitad de las 518 muestras analizadas mostraron un pH en agua inferior a 5, y el resto varió entre 5 y 5.9. Esto indica que los suelos son predominantemente ácidos y que el encalamiento es una práctica esencial para sembrar las especies no tolerantes a la acidez. La aplicación de cal también es importante para corregir las deficiencias de Ca y Mg, comúnmente encontradas en estos suelos. La mayoría de las muestras analizadas tenían menos de 0.4 cmol/dm<sup>3</sup> de Ca y 0.2 cmol/dm<sup>3</sup> de Mg, lo que se considera muy bajo para el crecimiento de las plantas.

El nutriente más deficiente en estos suelos es el fósforo (P). Según los resultados de Lopes y Cox (1977), el 95% de las muestras presentó niveles menores que 2 mg/dm<sup>3</sup> de P, por el método Melich 1. La corrección de este problema es aún más complicada debido a la alta capacidad de fijación de estos suelos (Leal y Velloso, 1973).

Aunque la respuesta a la fertilización potásica no es tan común o tan pronunciada como aquellas obtenidas con la aplicación de cal y P,

es importante suministrar niveles adecuados de fertilizantes potásicos para obtener altos rendimientos de grano.

La gran mayoría de las muestras presentó niveles de Al intercambiable entre 0.25 y 1.0 cmol/dm<sup>3</sup> de Al, lo que se considera como nivel medio. Solamente el 25% de las muestras presentó niveles altos de Al. En todos los casos, la saturación de este elemento fue alta debido a que los niveles de Ca y de Mg eran demasiado bajos. Kamprath (1967) encontró que la mayoría de las plantas cultivadas son sensibles a Al<sup>+3</sup> cuando la saturación de Al es mayor que 20%. En el presente estudio, más del 90% de las muestras analizadas estuvo por encima de ese nivel y el 79% presentó más de 40% de saturación, nivel en el cual la mayoría de las plantas cultivadas presentan una severa toxicidad.

### **Mineralización de la materia orgánica**

El nivel de materia orgánica (M.O.) en estos suelos varía entre 70-600 g/kg. Sin embargo, predominan los suelos con niveles medios a altos. A pesar de esto, la capacidad de intercambio catiónica efectiva es muy baja. Una posible explicación para este fenómeno es que la alta acidez del suelo y las deficiencias de los nutrientes pueden limitar la descomposición microbológica de la M.O. (Lopes y Cox, 1977). A valores de pH mayores que 5.4 ocurre un aumento significativo en la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) con el incremento en los niveles de M.O. Esto resalta aún más la importancia de un adecuado encalamiento para aumentar el número de sitios de intercambio de cationes.

Bajo el sistema de manejo convencional con labranza continua y uso de cal y fertilizantes, la

mineralización de la M.O. puede ser muy rápida y alcanzar niveles muy bajos después de 5 a 6 años de cultivo. Silva et al. (1994) encontraron que la pérdida de M.O. en los primeros 15 cm en algunos suelos cultivados con soya en el oeste de Bahia, Brasil, fue de 80% en suelos con menos de 150 g/kg de arcilla, de 76% en suelos entre 150 y 300 g/kg de arcilla y de 41% en suelos con más de 300 g/kg de arcilla. En función de estos resultados, los autores calcularon que el promedio de vida de la M.O. en estos suelos era de 2.2, 2.3 y 2.9 años, respectivamente.

### **Disponibilidad de nitrógeno y azufre**

Malavolta y Klieman (1985) estiman que apenas el 32% de los suelos del Cerrado es deficiente en N. Estos autores basan sus conclusiones en un cálculo de disponibilidad anual de este nutrimento en 135 kg/ha por año, asumiendo un nivel promedio del total de N de 90 g/kg de suelo y una tasa de mineralización de 5% por año. No obstante, esta tasa es en realidad menor, debido al déficit hídrico, la acidez en el suelo y las deficiencias generalizadas de nutrimentos en estos suelos. Por lo anterior, es común observar altas respuestas a la aplicación de N en un amplio rango de cultivos (Britto et al., 1971; Cunha et al., 1980; Freitas et al., 1971; Grove et al., 1980; Magalhães et al., 1978; Reis et al., 1974).

Las deficiencias de azufre (S) tienden a aumentar a través del tiempo, como resultado de las pérdidas ocasionadas por la quema de la vegetación durante la época seca y por el uso de fertilizantes que no contienen S. En varios experimentos se ha encontrado respuesta positiva a la aplicación de S en estos suelos (Couto y Sanzonowicz, 1983; Freitas et al., 1964; McClung et al., 1958; 1959; 1961; Mascarenhas et al., 1967; Miyasaka et

al., 1964). Tomando en cuenta estos resultados, Couto y Ritchey (1986) sugieren la aplicación de 15 a 30 kg/ha por año de S para suplir las necesidades de la mayoría de las plantas cultivadas. Como valor crítico proponen 10 mg/dm, extraído mediante  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

### **Disponibilidad de micronutrimentos**

Muchos de los suelos del Cerrado, incluidos en el inventario de Lopes y Cox (1977), son deficientes en zinc (Zn) con valores menores que el valor de nivel crítico de 1 mg/dm<sup>3</sup>.

Las respuestas a la aplicación de cobre (Cu) son poco frecuentes. Algunos autores sugieren un nivel crítico de 0.8 mg/dm<sup>3</sup> de Cu (EMBRAPA, 1982; Galrão y Mesquita Filho, 1981; Perim et al., 1980). Una situación similar ocurre con molibdeno (Mo) (Britto et al., 1971; França et al., 1973; Freitas et al., 1972; McClung et al., 1958; Mikkelsen et al., 1963). No obstante, Couto et al. (1988) observaron aumento en la producción de materia seca de pasturas basadas en leguminosas con la aplicación de Mo.

La mayoría de los suelos en el Cerrado tienen suficientes cantidades de manganeso (Mn) extractable. Al comparar los valores de Mn obtenidos en el estudio de Lopes y Cox (1977) con el nivel crítico de 5 mg/dm<sup>3</sup> de Mn, se encontró que solamente el 37% de las muestras analizadas se encontraban por debajo de ese valor. Las deficiencias comúnmente observadas en sistemas de cultivos anuales se deben al encalamiento excesivo y a la inadecuada profundidad de incorporación de la cal.

Las deficiencias de boro (B) son limitativas en suelos arenosos y pobres en M.O. McClung et al. (1961) observaron un incremento entre 80% y



90% en los rendimientos de algodón, y Silva y Andrade (1982) en los de trigo, como resultado de adiciones de B. Las respuestas en estos casos estuvieron más relacionadas con la mayor demanda de B en estos cultivos que con una baja disponibilidad natural. Sousa (1989) y Lopes y Guilherme (1990) sugieren un nivel crítico de  $0.5 \text{ mg/dm}^3$  de B extraído en agua caliente.

La toxicidad de Mn y Fe están restringidas a pequeñas áreas, y generalmente están asociadas con lluvias continuas e intensas o con problemas de drenaje pobre.

### **Déficit de agua**

Una de las mayores limitaciones para la producción agrícola en sistemas sin riego es la alta probabilidad de periodos secos durante la época de lluvias. La duración, período y número de 'veranillos' o períodos cortos sin lluvia que se presentan durante un año son variables. Utilizando datos climáticos de 42 años, Wolf (1975) estimó que cada año pueden ocurrir tres veranillos de 8 días de duración. Este investigador también concluyó que sólo 1 de cada 13 años tiene una adecuada distribución de la precipitación (Cuadro 1).

El problema del déficit de agua es aún más severo debido a la baja

capacidad de retención de estos suelos. Reichardt (1985) estimó que la capacidad promedio de almacenamiento de agua entre 0 y 10 cm de profundidad en suelos arenosos es de 6.9 mm de agua y de 11.1 mm en suelos arcillosos (Cuadro 2). Asumiendo una pérdida por evapotranspiración de 6 mm por día, el mismo autor estimó que el agua disponible para un cultivo con raíces hasta 30 cm de profundidad en el suelo sería suficiente para los primeros 4 días después de la aparición de un veranillo.

Otro factor importante relacionado con el déficit de agua en suelos de los Cerrados es la presencia de barreras químicas que restringen la penetración radicular de la mayoría de las plantas cultivadas. Estas barreras naturales son el resultado de la toxicidad de Al y del bajo contenido de Ca. Ritchey et al. (1984) indican que el crecimiento radicular es restringido cuando el Ca intercambiable es menor que  $0.15 \text{ cmol/dm}^3$  en el subsuelo y la saturación de Al cerca de 80%.

### **Compactación del suelo**

Las operaciones de labranza anual con rastras pesadas de discos favorecen la formación de capas compactas en el perfil del suelo. Esto reduce la

Cuadro 1. Probabilidad de ocurrencia de periodos de sequía durante la época seca en Brasilia, DF, Brasil, y sus efectos sobre la disponibilidad de agua en un Oxisol arcilloso.

Días secos consecutivos (no.)	Frecuencia de ocurrencia (no./año)	Profundidad en el suelo (cm) a la que ocurre el punto de marchitamiento (15 bar)
8	3	40
10	2	50
13	1	65
18	2 en 7 años	90
22	1 en 7 años	110

FUENTE: Adaptado de Wolf (1975).

Cuadro 2. Variación del agua disponible en muestras de suelo tomadas en el ecosistema Cerrado nativo, en función de la textura del suelo.

Arcilla (g/kg)	Textura	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Agua disponible		
			En peso (%)	En volumen (%)	Mm/10 cm
< 180	Arenoso a	1.4	4.9	6.9	6.9
	Franco arenoso				
180-350	Arenoso a	1.3	8.5	11.0	11.0
	Arcillo-arenoso				
350-600	Arcilloso	1.2	9.8	11.8	11.8
> 600	Muy arcilloso	1.2	9.1	10.9	10.9

FUENTE: Reichardt (1985), adaptado de Lopes (1983).

penetración radicular y limita la absorción de agua y nutrimentos desde el subsuelo, ocasionando la susceptibilidad de los cultivos a los problemas causados por los veranillos.

Stoner et al. (1991) midieron un alto nivel de compactación (1.4 Mpa) en un Oxisol con 430 g/kg de arcilla, cultivado con rastra de discos durante 10 años consecutivos, en comparación con un valor de 0.4 Mpa encontrado en el Cerrado nativo. La labranza efectuada en el décimo primer año en el sistema convencional aumentó la compactación hasta 1.8 Mpa. El mejor sistema para destruir esta capa compacta fue el uso de cinceles rígidos. Sin embargo, esta práctica es muy lenta y consume energía. El problema de compactación se mantuvo constante en el sistema de labranza mínima.

El contenido de arcilla es un factor importante en la definición de la susceptibilidad del suelo a la compactación y la restricción del desarrollo radicular. Muestras de suelo con 160, 530 y 700 g/kg de arcilla fueron compactadas artificialmente por Stoner et al. (1991) para alcanzar densidades aparentes de 1, 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 t/m<sup>3</sup> y evaluar el desarrollo radicular de semillas de maíz, soya, trigo y frijol. Las raíces de estos

cultivos mostraron un desarrollo normal en los suelos más arenosos (160 g/kg arcilla), aún con la densidad más alta. En los suelos con 530 g/kg de arcilla, las raíces crecieron también normalmente hasta densidades aparentes entre 1 y 1.4 t/m<sup>3</sup>. Sin embargo, en el Oxisol más arcilloso (700 g/kg de arcilla), la limitación radicular fue seria en todos los cultivos en la densidad aparente de 1.1 t/m<sup>3</sup>. La mayor restricción ocurrió con las raíces de frijol común seguido por maíz, trigo y soya. De este trabajo se concluyó que, a mayor contenido de arcilla, mayor es la susceptibilidad del suelo a la compactación y a la reducción en el desarrollo radicular de cultivos. Igualmente es importante considerar la humedad en el suelo cuando se evalúa el efecto de la compactación sobre el desarrollo radicular.

### **Erosión**

La labranza excesiva aún en áreas con poca pendiente conduce a pérdidas de la estructura del suelo y a la formación de láminas compactas a una profundidad entre 10 y 15 cm. Esto reduce la infiltración de agua y produce pérdidas considerables de suelo por escorrentía y erosión.

El poder erosivo de la lluvia en los Cerrados es alto y conduce a la destrucción de la agregación del suelo y al sellamiento de la superficie. De acuerdo con la evaluación de erodabilidad efectuada por Dedecek et al. (1986) en un Latosol Rojo-Oscuro se encontró que las pérdidas de suelo y agua en suelo desnudo y en sistemas con maíz fueron mayores que en los sistemas con soya y cero-labranza, y con pasturas. Este resultado enfatiza la necesidad de mantener el suelo cubierto y evitar los largos períodos sin cobertura (Cuadro 3).

## Tecnologías para Corregir la Acidez y la Baja Fertilidad en el Suelo

### Encalamiento

Varios trabajos han resumido los efectos positivos de la cal para corregir la acidez en el suelo, reducir la toxicidad por Al, aumentar la disponibilidad de macro y micronutrientes y la actividad biológica (Lathwell, 1979; Lopes, 1983). La práctica de encalado tiene además otros efectos benéficos, entre ellos, aumento de las cargas dependientes

del pH y, por tanto, de la C.I.C. efectiva; reducción de la capacidad de fijación de P, mediante la precipitación de Al intercambiable; y estímulo del desarrollo radicular (Goedert, 1987; Lopes, 1983).

El nivel promedio de aplicación de cal en el Cerrado es de 3 con un rango entre 1 y 5 t/ha a una profundidad de incorporación 0 y 20 cm, utilizando arado de disco o rastra pesada. Esta práctica es común antes de sembrar cultivos anuales de granos, plantas perennes y en algunas especies de pasturas.

Cuando las deficiencias de micronutrientes son debidamente corregidas, se pueden obtener beneficios adicionales usando niveles de cal que aumenten el pH a 6.0. Estos niveles se pueden calcular utilizando el método de saturación de las bases. Independientemente del método usado, es necesario corregir las cantidades calculadas de acuerdo al poder de neutralización total (PRNT) de la cal y de su poder de reactividad. Usualmente, el efecto residual de la cal varía entre 3 a 5 años en estos suelos.

El concepto de encalado en sistemas de labranza mínima y cero-labranza difiere del utilizado en la

Cuadro 3. Pérdidas de agua y suelo bajo diferentes coberturas en un Latosol Rojo Oscuro con 5% de pendiente. Cerrados del Brasil.

Índice de erodabilidad	Suelo desnudo	Sistema convencional			Soya cero-labranza	Pasturas
		Maíz	Arroz	Soya		
Pérdida de suelo (t/ha)						
t/ha por mm por hora (805)	53	29	8	9	5	0.1
Pérdida de agua (mm)						
Precipitación (1243 mm)	293	264	257	180	168	15
Infiltración (%)						
	76	79	79	86	87	99

FUENTE: Dedecek et al. (1986).

labranza convencional. Antes de iniciar estos sistemas, es necesario incorporar un nivel adecuado de cal con el fin de aumentar la saturación de bases a 70%. La cal debe ser incorporada a la mayor profundidad posible y usar un tipo de cal granulada para aumentar el efecto residual (Lopes y Guilherme, 1994). Después de este período de corrección se puede aplicar a voleo una tercera parte o la mitad de la cantidad de cal recomendada en suelos arcillosos y arenosos (Lopes, 1996a).

### **Modificación de la acidez en el subsuelo**

Una alternativa para corregir el problema de acidez en el subsuelo consiste en la incorporación profunda de la cal y de la fertilización fosfatada, y promover el movimiento vertical de Ca y Mg a través del perfil. Sin embargo, esta práctica tiene un uso limitado por el costo de la incorporación de la cal y por el lento movimiento vertical del Ca y el Mg en el suelo.

Una de las mejores opciones para corregir este problema es el uso del yeso agrícola. Este es un subproducto de la elaboración del ácido fosfórico y ha sido identificado como un mejorador de la acidez en el subsuelo (Rajj, 1988). El efecto directo del yeso consiste en el aumento de Ca en el perfil y en la reducción del Al intercambiable, lo cual aumenta la profundidad radicular y mejora la absorción de agua y nutrimentos del subsuelo.

Se han realizado varios estudios para recomendar el uso de yeso en condiciones específicas. Lopes (1983) recomienda aplicar yeso cuando el Ca intercambiable sea  $\leq 0.3 \text{ cmol/dm}^3$  y el Al intercambiable  $\leq 0.5 \text{ cmol/dm}^3$  y la saturación de Al sea  $\geq 30\%$ . Estos parámetros deben ser evaluados a profundidades entre 20 y 40 cm, entre

40 y 60 cm para cultivos anuales y entre 60 y 80 cm para cultivos perennes (Lopes, 1983; 1986). Estas recomendaciones han sido mejoradas incluyendo otros parámetros como la textura, el nivel de M.O. y la proporción de Ca en relación con otros cationes (Sousa et al., 1992).

### **Incremento de las reservas de fósforo en el suelo**

Una estrategia para alcanzar producciones adecuadas y económicas en el corto plazo en suelos con niveles extremadamente bajos de P extractable y con alta capacidad de fijación de este elemento, consiste en incrementar las reservas disponibles mediante una fertilización de corrección. Los rendimientos de trigo, soya y maíz se duplicaron usando niveles adecuados de fertilización fosfórica básica, en comparación con la aplicación de dosis bajas de mantenimiento (Wagner, 1986).

En el Cerrado se han evaluado varios métodos de aplicación, fuentes y niveles de fertilización fosfórica (Goedert, 1983; Lathwell, 1979; Lopes, 1983; Sánchez y Salinas, 1981). En general, se recomienda aplicar a voleo una fertilización de corrección con fósforo, seguida por aplicaciones de mantenimiento en bandas para producir granos en áreas recién abiertas para la producción agrícola (Lopes, 1983). El método más común para estimar el nivel de corrección consiste en aplicar entre 1.5 y 2 kg/ha de P por cada 10 g de arcilla por kg de suelo, seguido por dosis normales de mantenimiento anual. Este método es adecuado para alcanzar buenos rendimientos después de 3 ó 4 años del desmonte del Cerrado nativo (Lopes, 1983). Sousa (1989) desarrolló un método para recomendar la fertilización de corrección en el cultivo de soya, en función del contenido de arcilla en el suelo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Recomendaciones de dosis correctivas de fósforo (kg/ha de  $P_2O_5$ ) para sembrar soja en los Cerrados de Brasil. Según el contenido de este elemento en el suelo.

Arcilla (mg/kg)	Fertilización correctiva total		Fertilización correctiva gradual	
	P muy bajo	P bajo	P muy bajo	P bajo
610-800	240	120	100	90
410-600	180	90	90	80
210-400	120	60	80	70
≥200	100	50	70	60

FUENTE: Sousa (1989).

También se ha evaluado la eficiencia agronómica de las rocas fosfóricas brasileñas en comparación con el superfosfato y rocas fosfóricas importadas tales como Gafsa. En un estudio conducido por Goedert y Lobato (1984) sobre un Oxisol arcilloso localizado en el Centro de Investigación en Planaltina, Brasilia, se encontró que las rocas brasileñas tenían un índice de eficiencia agronómica (IEA) muy bajo (Cuadro 5). Sin embargo, su eficiencia tiende a aumentar con el tiempo. Esta tendencia se demostró con la siembra de *Andropogon gayanus* después de 3 años de cultivos anuales. El alto IEA

del superfosfato y de la roca Gafsa las hace fuentes adecuadas para aumentar el P disponible en el suelo.

En los últimos años se ha comparado la eficiencia agronómica de las aplicaciones en polvo o en gránulos de algunas rocas altamente reactivas como Carolina del Norte, Arad, Daouy y Gafsa. Los resultados preliminares indican que ambas formas son igualmente efectivas para aumentar las reservas de fósforo en estos suelos, cuando son aplicadas a voleo e incorporadas con las operaciones de labranza del suelo.

Cuadro 5. Índice de eficiencia agronómica (%) de fertilizantes fosfóricos en un Oxisol arcilloso del Cerrado nativo, en relación con los rendimientos de tres entre cuatro cultivos consecutivos.

Fertilizante fosfórico	200 kg/ha de $P_2O_5$			800 kg/ha de $P_2O_5$		
	Cultivo 1 (trigo)	Cultivo 2 (soya)	Cultivo 3 (arroz)	Cultivo 1 (trigo)	Cultivo 2 (soya)	Cultivo 4 (arroz)
Superfosfato triple	100	100	100	100	100	100
Hyperfosfato (Gafsa)	132	94	75	95	101	104
Termofosfato-Mg	96	89	82	95	129	112
Termofosfato-IPT	50	35	41	51	90	103
Pirocaua	51	67	84	38	91	100
Araxá <sup>a</sup>	20	22	38	23	48	43
Patos <sup>a</sup>	17	22	45	11	46	79
Abaeté <sup>a</sup>	7	9	34	8	46	57

a. Rocas fosfóricas de Brasil.

### **Incremento de las reservas de potasio en el suelo**

Una buena estrategia para aumentar las reservas de K en suelos con más de 200 mg de arcilla/kg de suelo y contenido bajo de K intercambiable, consiste en la aplicación a voleo de una fertilización potásica correctiva. Para suelos con menos de 200 mg/kg de arcilla, la corrección completa no es recomendada, ya que la baja capacidad de retención de cationes de estos suelos puede conducir a una pérdida acentuada de K por lixiviación (Sousa, 1989).

La fertilización con K para corregir deficiencias también se puede hacer gradualmente mediante aplicaciones anuales de niveles mayores que los recomendados para fertilización de mantenimiento en el surco de siembra. El K residual se incorpora en el suelo con las labores de preparación posteriores. Esto resulta en un nivel adecuado después de 4 a 5 años (Sousa, 1989). En el Cuadro 6 se presentan las recomendaciones de fertilización para elevar la reserva de este nutriente en forma total o gradual, según el contenido de arcilla y la disponibilidad de K en el suelo para la siembra de soya. La fuente más disponible en Brasil es cloruro de potasio (KCl).

Otro método para alcanzar la dosis de corrección adecuada consiste en aplicar la cantidad necesaria para

saturar entre 3% y 5% de la C.I.C. a pH 7. Para facilitar este cálculo se debe recordar que se deben aplicar a voleo 9.4 kg/ha de K<sub>2</sub>O para incrementar en 0.01 cmol el nivel de K en el análisis de suelo entre 0 y 20 cm (Lopes y Guilherme, 1994).

### **Incremento de las reservas de micronutrientos en el suelo**

Debido a que existen pocos estudios en este sentido se recomienda adoptar un nivel de seguridad. Este nivel consiste en aplicar (kg/ha) a voleo cada 4 ó 5 años: Zn (6), B (1), Cu (1) y Mo (0.25). Una cuarta parte de este nivel puede ser aplicado en banda cada año. En el Cuadro 7 se incluye la interpretación del nivel de disponibilidad de los micronutrientos en el suelo.

## **El Uso de la Tierra y los Sistemas de Manejo**

### **Sistemas de pasturas**

Hasta hace 30 años, el sistema predominante en el Cerrado estaba basado en el uso de extensas áreas de vegetación nativa para la cría y levante de ganado bovino. La única práctica de manejo consistía en la quema de la vegetación al final de la época seca para eliminar las especies poco

Cuadro 6. Dosis de K<sub>2</sub>O en kg/ha recomendadas para la corrección total o gradual de la deficiencia de este nutriente en el suelo antes de sembrar soya en el Cerrado de Brasil.

Interpretación	Nivel de K intercambiable (mg/dm <sup>3</sup> )		Fertilización de corrección (K <sub>2</sub> O, kg/ha)	
	arcilla < 200 g/kg	arcilla ≥ 200 g/kg	Total: si arcilla ≥ 200 g/kg	Gradual
Baja	< 15	< 25	100	70
Media	16-30	26-50	50	60
Buena <sup>a</sup>	> 30	> 50	0	0

a. Después de alcanzar este nivel se deben aplicar 20 kg de K<sub>2</sub>O por cada tonelada de soya producida por hectárea.

FUENTE: Sousa (1989).

Cuadro 7. Interpretación de la disponibilidad de micronutrientos para cultivos anuales en el Cerrado de Brasil.

Micronutriente <sup>a</sup>	Interpretación		
	Baja	Media	Alta
	Mg/dm <sup>3</sup> .		
Zn*	< 1.0	1.0-3.0	> 3.0
Cu*	< 0.8	0.8-2.4	> 2.4
Mn (a pH 6.0)*	< 5.0	5.0-15.0	> 15.0
(a pH 5.0)*	< 2.0	2.0-6.0	> 6.0
Fe**	< 2.5	2.5-7.5	> 7.5
B***	< 0.5	0.5-1.0	> 1.0
Mo***	< 0.1	0.1-0.3	> 0.3

a. Solución extractora: \* = Mehlich 1; \*\* = DTPA; \*\*\* = agua caliente.

FUENTE: Lopes y Guilherme (1994).

palatables y estimular un rebrote de mejor calidad. La baja calidad de la pastura y escasa fertilidad del suelo eran los factores responsables de la baja productividad de este sistema.

Las pasturas nativas fueron rápidamente desplazadas por pasturas basadas en gramíneas introducidas de África. Se estima que actualmente existen aproximadamente 48 millones de hectáreas de pasturas sembradas con especies de los géneros *Brachiaria* y *Andropogon* (Macedo, 1995). Estas especies fueron, en su mayoría, establecidas a voleo después de un cultivo de arroz de secano sembrado sobre suelos de Cerrado recién desmontado y quemado, y aplicando un poco de fertilizantes. A pesar de la baja fertilidad del suelo, las pasturas permanecían vigorosas y productivas durante los primeros años de uso (Spain et al., 1996). Sin embargo, después de 4 a 10 años de uso, las pasturas de sólo gramíneas, disminuyen drásticamente la productividad. Este efecto es más rápido en suelos arenosos (Boddey et al., 1996; Macedo, 1995). Actualmente se estima que

más del 50% de las pasturas cultivadas en el Cerrado presentan algún tipo de degradación (Macedo, 1995). Este fenómeno se caracteriza por la pérdida de producción y cobertura de la pastura, seguida por la invasión de malezas. A menudo se observa un aumento concomitante de la población de termitas (Boddey et al., 1996).

Las causas de la degradación son numerosas y complejas (Spain et al., 1996). No obstante, la deficiencia de N ha sido indicada como la principal. Bajo presiones de pastoreo intensivo, las gramíneas forrajeras se tornan deficientes en este nutriente, después de 2 ó 3 años (Spain et al., 1996). Esto se ha asociado con las pérdidas de N del sistema por volatilización y lixiviación a través de la orina y por inmovilización en los residuos de la planta (Ferreira et al., 1995). La falta de una fertilización de mantenimiento y la presión de plagas y enfermedades también han sido mencionadas como causas importantes de la degradación de las pasturas.

La inclusión de leguminosas forrajeras es una buena alternativa para evitar la pérdida de productividad de las pasturas y para mejorar la calidad de la dieta animal durante la época seca (Boddey et al., 1996). Actualmente existen especies de leguminosas forrajeras disponibles en el mercado que pueden mejorar la persistencia de la pastura, siempre que sean manejadas adecuadamente.

### **Sistemas de cultivos anuales con labranza convencional**

Este sistema se caracteriza por el uso intensivo de insumos para la producción de cultivos anuales. Su rápida expansión en el Cerrado obedeció a los incentivos del gobierno y de varios proyectos de colonización para producir soya en esta región. Se estima que en la actualidad hay

10 millones de hectáreas dedicados a la producción de cultivos.

Como resultado de los buenos precios de la soya en el mercado internacional, este sistema se convirtió en un monocultivo. La preparación del suelo se hacía hasta dejar el suelo completamente nivelado y libre de malezas mediante el uso de rastras de discos y pulidoras. Esto resultó en un excesivo paso de maquinaria, provocando la pérdida de la estructura y generando problemas de erosión y compactación del suelo. Con el transcurso del tiempo, los costos de control aumentaron por la creciente presión biótica y las pérdidas de productividad. Esto obligó a los productores a buscar alternativas de preparación del suelo menos agresivos y sistemas de rotación de la soya para romper los ciclos de plagas y enfermedades en forma más económica. Los sistemas de monocultivo han, prácticamente, desaparecido dando paso a sistemas de rotación soya-maíz con preparación mínima del suelo y alto uso de herbicidas.

### **Sistemas de labranza mínima y cero-labranza**

Probablemente, el avance más importante hacia una agricultura más sostenible en el Cerrado ha sido la aparición de los sistemas de

cero-labranza y labranza mínima. Estos sistemas se iniciaron en el Brasil en los años 80, pero su uso se popularizó en los 90's. De 150,000 ha sembradas en 1980 se pasó a 1 millón de hectáreas en 1990, y hoy se calcula que hay aproximadamente 10 millones sembradas bajo estos sistemas (Landers, 1995). Por lo menos, 2 millones de hectáreas están siendo sembradas en el Cerrado usando estos sistemas.

Las tentativas iniciales de introducir este sistema en el Cerrado fracasaron debido a la imposibilidad de producir el típico cultivo de invierno. Este problema fue solucionado con la aparición del cultivo de 'safrinha' —un segundo cultivo sembrado sobre los residuos del cultivo principal en el mismo año. Los rendimientos de este tipo de cultivo dependen de la disponibilidad de agua (Cuadro 8). Esta estrategia mejora el retorno financiero del sistema, incentiva la producción de residuos vegetales y reduce los niveles de herbicidas. En sistemas mixtos de agricultura y ganadería, el cultivo de safrinha mejora la disponibilidad del forraje durante la época seca y la eficiencia del reciclado de nutrimentos (Landers, 1995).

El hecho más importante para mejorar la producción de cobertura para los sistemas de cero-labranza en

Cuadro 8. Probabilidad de alcanzar una productividad aceptable de maíz, sorgo y mijo (*Pennisetum typhoides*) como 'safrinha', de acuerdo con la precipitación mínima durante los meses más críticos en el Cerrado de Brasil.

Cultivo	Productividad (t/ha)		Precipitación mínima durante el mes crítico (mm)	Probabilidad de alcanzar productividad aceptable (%)		
	Potencial de 'safrinha'	Aceptable		Fecha de siembra		
				Ene. 01	Feb. 01	Mar. 01
Maíz	8	3	110	82	59	6
Sorgo	6	3	66	94	94	30
Mijo	1.5	0.6	38	100	100	53

FUENTE: Landers (1995).



el Cerrado fue la introducción del Mileto Africano (*Pennisetum typhoides*). Esta planta es altamente resistente a la sequía, ya que tiene un sistema radicular profuso que penetra en subsuelos con alto nivel de Al y deficientes en Ca. Además, tiene alta capacidad para producir materia verde (Cuadro 9), es fácil de establecer y manejar, produce semillas con alto vigor y se puede establecer en surcos, a voleo y por vía aérea. Este cultivo es poco susceptible a las enfermedades y plagas, es un excelente alimento para animales y tiene poco riesgo de convertirse en maleza (Scaléa, 1995).

A pesar de que las prácticas de labranza mínima y cero-labranza son recientes en el Cerrado, se han desarrollado muchas variaciones de estos sistemas. A continuación se describen algunos de los principales sistemas.

#### **Cero labranza sobre residuos.**

Este sistema se inicia con la generación de una gran cantidad de residuos de cobertura. En algunos casos se siembra mileto con las primeras lluvias, seguido por la siembra del cultivo principal sin labranza y la generación de residuos con un cultivo de safrinha [maíz, millo (*Pennisetum* sp.) o sorgo]. Usando este sistema durante 4 años consecutivos se han obtenido rendimientos de soya de 4 t/ha, aproximadamente (Seguy et. al., 1992), siendo estos rendimientos

Cuadro 9. Producción de materia verde de mileto (*Pennisetum typhoides*) en función de la época de siembra.

Epoca se siembra	Producción de materia verde (t/ha)
Septiembre a febrero	50 a 70
Febrero	35 a 55
Marzo	30 a 40
Abril	20 a 25

FUENTE: Scaléa (1995).

similares a aquellos obtenidos en los mejores suelos del mundo.

**Cero-labranza sin cultivo de cobertura.** En este sistema se utilizan malezas como cobertura, principalmente gramíneas forrajeras provenientes del banco de semillas en el suelo. Después de su germinación y establecimiento durante la época seca se controlan con herbicidas al inicio de las lluvias. Este sistema ha sido utilizado con éxito en la finca Santa Helena de Goiás, Goiás, para sembrar soya y maíz sobre suelos arcillosos de alta fertilidad.

**Cero-labranza sobre cobertura viva.** En este sistema se siembran los cultivos sobre una cobertura viva de leguminosas. Cultivos como soya perenne (*Glycine javanica*), Kudzú (*Pueraria phaseoloides*), Centrosema (*Centrosema* spp.) y Siratro (*Macroptilium atropurpureum*) han sido usadas con relativo éxito. Más recientemente se ha utilizado mani forrajero (*Arachis pintoi*) como cobertura permanente en sistemas con maíz en un Oxisol de Uberlândia, MG. En sistemas con maíz se requiere del control del rebrote de las leguminosas usando herbicidas del tipo 2,4-D durante los primeros 40 días, y Paraquat en las fases posteriores. El ciclo de cultivos termina cuando se establece una asociación gramínea-leguminosa. También se ha sembrado Calopogonio (*Calopogonium mucunoides*) en forma simultánea con arroz, el cual posteriormente se utiliza como forraje para producción de carne.

**Cero-labranza y labranza convencional en la misma finca.** Esta combinación se emplea cuando ocurre una demora sustancial en la siembra del cultivo y se presenta una alta infestación de malezas en áreas ya preparadas con métodos convencionales. En este caso, el agricultor selecciona las áreas más infestadas que puedan producir más

rastrajo y en las que pueda introducir la cero-labranza. Las operaciones mecánicas se sustituyen por el uso de herbicidas. Las principales ventajas de este sistema consisten en la reducción de los costos de producción y la eliminación de operaciones de preparación sobre suelo húmedo, lo cual es una de las causas principales del sellamiento superficial y la compactación.

**Cero-labranza intermitente.** La compactación superficial causada por el paso de la maquinaria sobre suelo húmedo y la infestación de malezas de difícil control pueden, con el tiempo, obligar al productor a regresar a las prácticas de labranza convencional. La compactación superficial puede ser fácilmente eliminada usando un arado de cincel. Sin embargo, existen circunstancias en las cuales es necesario usar labranza más profunda. Landers (1995) sugiere que esta combinación se debe considerar en las circunstancias siguientes: (1) cuando el cultivo sea muy sensible a pequeños cambios en la compactación del suelo, como en el caso de arroz (Seguy y Bouzinac, 1992); (2) cuando sea necesario y más económico para controlar malezas persistentes y plagas; (3) como una medida de precaución contra la propagación de enfermedades ya sea a través de los rastrojos o por causas aún no identificadas; (4) para eliminar la compactación del suelo debido al exceso de tráfico de maquinaria en suelos húmedos, especialmente para la producción de ensilaje en sistemas irrigados; y (5) para diluir el efecto de niveles altos de cal aplicada en la superficie del suelo.

**Labranza mínima.** Este sistema produce la mínima remoción de la cobertura del suelo, dejando la mayor cantidad de residuos sobre él. Cuando es utilizado en combinación con tratamientos químicos preemergentes

para el control de malezas, la labranza mínima representa una opción intermedia entre la labranza convencional y la cero-labranza. Este sistema es adecuado para controlar la erosión en sitios donde no existan capas de suelo compactadas. Es, además, un paso preliminar a la adopción de la no-labranza. Landers (1995) presenta algunas variaciones de este sistema.

**Cero-labranza y labranza mínima en cultivos anuales bajo irrigación.** Algunos agricultores utilizan las prácticas de no-labranza y labranza mínima en cultivos anuales en sistemas irrigados. Bajo estas condiciones es posible producir dos o más cultivos por año y generar una cantidad considerable de rastrojos. Sin embargo, el uso de cero-labranza requiere un continuo monitoreo de la humedad en el suelo al momento de introducir maquinaria y de conocimiento técnico para seleccionar la secuencia de cultivos más apropiada, los herbicidas más efectivos y el manejo de la fertilidad del suelo.

### **Sistemas integrados agricultura-ganadería**

La necesidad de recuperar la productividad de pasturas degradadas en áreas mecanizables y de restablecer las condiciones del suelo en sistemas de cultivos anuales, ha motivado la integración de sistemas de cultivos y de pasturas en el tiempo y el espacio. Esta es una de las opciones más factibles para mejorar la eficiencia biológica y económica de los sistemas agrícolas en los trópicos húmedos y subhúmedos. Esta estrategia se ha hecho aún más atractiva con la inclusión de prácticas de cero-labranza y labranza mínima en cultivos anuales.

Las ventajas de la integración de cultivos y pasturas en sistemas de

rotación ('ley farming') se derivan principalmente del potencial sinérgico entre sus componentes (Lal, 1991; Spain et al., 1996). Las ventajas más importantes de este sistema son: (1) el mejoramiento de la fertilidad del suelo; (2) el aumento de la actividad biológica; (3) el reciclado de nutrimentos más eficiente; (4) la mayor disponibilidad de alimento para el ganado durante la época seca; (5) la mayor utilización de agua y nutrimentos; (6) el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo; (7) la menor invasión de malezas; y (8) es un sistema económicamente más sólido.

Actualmente, los productores del Cerrado están utilizando varias tecnologías de integración. Una de ellas es el Sistema Barreirão, el cual se describe en el Capítulo 15 de este libro. Otro tipo de integración ha sido desarrollado por la Fundação para Pesquisa e Difusão de Tecnologia para o Estado de Mato Grosso do Sul. Esta consiste en la rotación de *B. decumbens*, *B. brizantha*, *Panicum maximum* cvs. Tanzania y Mombaça con cultivos anuales, principalmente soya. Otras combinaciones de cultivos comerciales con barbechos mejorados y pasturas han sido desarrolladas en la misma región (Broch et al., 1997). Estos sistemas incluyen el uso de herbicidas para desecar las pasturas (Borges y Bordin, 1996; 1997a; 1997b; Paiva y Borges, 1995). Debido a la cercanía de esta región al sur del país es posible usar cultivos de invierno seleccionados para zonas templadas. Se encuentra disponible una serie de publicaciones prácticas de extensión sobre estos sistemas (Hermani et al., 1995; Pitol y Salton, 1989; Pitol et al., 1997; Salton y Cichelero, 1988; Salton et. al., 1995).

Uno de los ejemplos de integración de cultivos y pastos más exitosos ha sido desarrollado en la finca Santa Terezinha, cerca a Uberlândia, MG. La

descripción detallada de este sistema se encuentra en el Capítulo 14 de este libro.

La rotación de ciclos de cultivos y pasturas ha permitido al productor aumentar la capacidad de soporte de estas últimas, aumentar el rendimiento de los cultivos y mejorar las propiedades físicas y la M.O. en el suelo. Ultimamente, los productores están practicando la cero-labranza sobre pasturas de *P. maximum*. A pesar de los impresionantes logros en la producción y en el mejoramiento de las propiedades del suelo, el sistema presenta aún algunos problemas. Los ciclos de las pasturas se están acortando a 2 ó 3 años, debido a la rápida disminución de la productividad de las especies de *Panicum*. El problema está asociado con la deficiencia de N. Una de las estrategias para resolver este problema es la aplicación de fertilizantes nitrogenados, lo cual aumentaría los costos de producción. Otra sería la introducción de una leguminosa forrajera adaptada a este sistema. Los trabajos preliminares realizados en finca muestran que *A. pintoi* podría tener potencial para adaptarse a este sistema.

## **Desafíos para Alcanzar una Agricultura más Sostenible**

El impacto positivo de la apertura del Cerrado para producir granos y carne ha demostrado claramente que aún suelos de baja fertilidad pueden ser incorporados al proceso productivo, siempre y cuando se manejen adecuadamente. Sin embargo, la falta de sostenibilidad de los sistemas convencionales en el largo plazo ha dado origen a una serie de alternativas más adaptadas a las necesidades actuales y futuras.

Al igual que con todas las nuevas tecnologías y opciones de manejo, hay dificultades y obstáculos para su difusión y adopción en otras áreas. Estas dificultades se discuten a continuación.

### **Aspectos socioeconómicos y culturales**

Es necesario tener una mejor comprensión de los factores socioeconómicos y culturales que influyen en la decisión de manejo de los productores para asegurar que las nuevas opciones tecnológicas y de manejo sean apropiadas y adoptables. Por ejemplo, la creencia convencional de que los productores no adoptan tecnologías de conservación de los recursos naturales que requieren inversiones de largo plazo necesita ser examinada nuevamente. Los productores de granos en el Cerrado están adoptando tecnologías de mínima labranza para evitar problemas de erosión y aumentar la producción. En este caso, el papel del sector privado ha sido fundamental en la difusión de este sistema.

Otro ejemplo es el caso de la integración de cultivos y pasturas. Aunque el concepto es económica y ecológicamente atractivo, su adopción ha sido baja. En un estudio conducido en tres cuencas cerca de Uberlândia se encontró que más del 60% de los productores de granos entrevistados siembra pasturas solamente en áreas que ellos consideran no aptas para cultivos. Estos ejemplos enfatizan la necesidad de una mejor comunicación y colaboración entre agricultores, investigadores y gobernantes en la definición de los nuevos sistemas de manejo. El reciente interés en los métodos de investigación participativa es una buena señal del interés de la comunidad científica en la participación de los productores en el

desarrollo de tecnologías. Un indicador de esta nueva dirección ha sido la publicación de la Sociedad Americana de Agronomía sobre las experiencias de un agricultor chileno que utiliza cero-labranza.

### **Política ambiental favorable**

Así como la apertura del Cerrado brasileño fue estimulada por programas gubernamentales y subsidios, es necesario que las nuevas tecnologías y opciones de manejo sean apoyadas por políticas ambientales adecuadas que aseguren su adopción y uso. Las recetas mágicas son raras, especialmente cuando se trata de manejar la complejidad de sistemas sostenibles. Es necesario un mayor esfuerzo de la comunidad científica para dialogar con los agricultores, extensionistas y gobernantes.

### **Desarrollo de parámetros para medir la sostenibilidad**

La agricultura sostenible debe incluir el manejo exitoso de los recursos disponibles para satisfacer las necesidades de la humanidad y mantener o mejorar la calidad ambiental y los recursos naturales (FAO, 1989). La clave de esta definición está en la calidad ambiental, lo que en términos de este documento se denomina calidad del suelo.

Es necesario establecer parámetros para detectar en forma temprana la degradación del suelo y, consecuentemente, evaluar los efectos de manejo. Desde el punto de vista de agricultura sostenible, los parámetros de calidad son herramientas importantes para evaluar los cambios de las condiciones del suelo, monitorear procesos de degradación y desarrollar políticas y criterios de evaluación de sostenibilidad (Eswaran et al., 1993).

Para el caso específico del Cerrado, muchos de los posibles parámetros de calidad del suelo (químicos, físicos, biológicos y otros) aún no han sido cuantificados sobre bases científicas para permitir una discusión sobre las futuras direcciones del manejo sostenible de los sistemas. Además de ser desarrollados sobre bases científicas, deben estar altamente relacionados con indicadores que los productores puedan entender y usar.

### **Desarrollo de nuevas opciones tecnológicas**

La adopción de tecnologías de manejo más sostenibles requiere del uso de componentes que se adapten a las condiciones específicas de una región o de las condiciones del productor. Por ello es necesario identificar más opciones de cultivos, de coberturas y de especies forrajeras que sean más eficientes en el uso de agua y nutrimentos, y de sistemas que reduzcan el uso de herbicidas y controlen malezas y plagas. Al mismo tiempo, es necesario cuantificar mejor el impacto ambiental de los sistemas cero-labranza en términos de uso de herbicidas. La investigación debe prestar mayor atención a la búsqueda de soluciones para los sistemas agropecuarios de pequeños productores. Es necesaria desarrollar más investigación estratégica para definir el impacto de los nuevos sistemas sobre la cantidad y calidad de la M.O.

Los cultivos perennes ocupan un espacio menor en comparación con los cultivos de granos y pasturas mejoradas. Sin embargo, algunos cultivos como café, caucho, arboles frutales y reforestación con pinos y eucaliptos, constituyen experiencias exitosas. Sistemas integrados que involucren cultivos perennes, cultivos anuales y pasturas mejoradas, están comenzando a recibir atención de los

investigadores como otra estrategia para mejorar la sostenibilidad de los sistemas de producción de los Cerrados.

## **Referencias**

Para reducir espacio, las siglas y acrónimos siguientes se utilizan en el espacio respectivo:

CPAC = Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados

EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Boddey, R. M.; Alves, B. J. R.; y Urquiaga, S. 1996. Nitrogen cycling and sustainability of improved pastures in the Brazilian Cerrados. En: Pereira, R. C. y Nasser, L. C. (eds). 8o. Simpósio sobre o Cerrado. 1st International Symposium on Tropical Savannas. EMBRAPA-CPAC, Brasília, DF. p. 33-38.

Borges, E. P. y Bordin, A. C. M. 1996. Controle de plântulas originárias de semente e rebrota da pastagem na cultura da soja. Resultados de pesquisa e experimentação no. 13. Fundação para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, Maracajú, Mato Grosso do Sul. 4 p.

\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_. 1997a. Manejo químico da área de pousio visando o plantio direto. Resultados de pesquisa e experimentação no. 9. Fundação para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, Maracajú, Mato Grosso do Sul. 2 p.

\_\_\_\_ y \_\_\_\_\_. 1997b. Manejo químico do *Panicum maximum* cv. Tanzânia visando o plantio direto da soja. Resultados de pesquisa e experimentação no. 10. Fundação para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, Maracajú, Mato Grosso do Sul. 1 p.

Borlaug, N. E. y Doswell, C. R. 1994. Feeding a human population that increasingly crowds a fragile plant. Keynote address at the 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico. Suppl. 1-15.

- Britto, D. P.; Castro, A. F.; Costa, F. A.; y Nery, C. 1971. Ensaio de adubação de milho em Latossolo Vermelho-Amarelo sob vegetação de Cerrado do Distrito Federal. *Pesqui. Agropecu. Bras. Ser. Agron.* 6:203-207.
- Broch, D. L.; Pitol, C.; y Borges, E. P. 1997. Integração agricultura-pecuária: Plantio de soja sobre pastagem na integração agropecuária. Informativo Técnico no. 1. Fundação para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, Maracajú, Mato Grosso do Sul. 24 p.
- Coqueiro, E. P.; Freire, A de B.; y Pereira, J. 1972. Efeito da aplicação de calcário e enxofre em cultura de arroz de sequeiro. En: 2a Reunião Brasileira de Cerrado. Sete Lagoas, 1967. *Anais. IPEACO, Sete Lagoas.* p. 71-77.
- Couto, W. y Ritchey, K. D. 1986. Enxofre. En: Goedert, W. J. (ed.). *Solos dos Cerrados: Tecnologia e estratégia de manejo.* Editora Nobel, São Paulo. p. 223-235.
- \_\_\_\_\_ y Sanzonowicz, C. 1983. Soil nutrient constraints for legume-based pastures in the cerrados savanna of Brazil. En: 15th International Grassland Congress. Lexington, Kentucky, College of Agriculture. p. 71-77.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; y Leite, G. G. 1988. Adubação para o estabelecimento de pastagens consorciadas nos solos de Cerrado. En: 6o. Simpósio sobre o Cerrado: Savanas, alimento e energia. Brasília, 1982. EMBRAPA-CPAC, Brasil. p. 61-78.
- Cunha, J. M.; Guazeli, R. J.; Dall'Acqua, F. M.; y Fernandes, D. C. 1980. Níveis de nitrogênio na cultura do feijão. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 15(1):47-52.
- Dedecek, R. A; Resck, D. V. S.; y Freitas Jr., E. de. 1986. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos Cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. *Rev. Bras. Cien. Solo* 10:265-272.
- EMBRAPA-CPAC. 1982. Relatório técnico anual. Brasil. vol. 6, 163 p.
- Eswaran, H.; Virmani, S. M.; y Spivey Jr., L. D. 1993. Sustainable agriculture in developing countries: Constraints, challenges and choices. En: Lal, R. y Ragland, J. (eds.). *Technologies for sustainable agriculture in the tropics.* ASA special publication no. 56. Proceedings. Madison, San Antonio, Texas y Denver, CO. p. 7-23.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1989. Sustainable agriculture production: For international agricultural research. Rep. of the Technical Advisory Committee Consultive Group on International Agriculture Research (CGIAR), Washington, DC.
- Ferreira, E.; Alves, B. J. R.; Urquiaga, S.; y Boddey, R. M. 1995. Perdas de N derivado das fezes bovinas depositadas na superfície do solo. En: 32a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Brasília, DF. *Anais. Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ).* p. 125-126.
- França, G. E. de; Bahia Filho, A. F. C.; y Carvalho, M. M. de. 1973. Influência do magnésio, micronutrientes e calagem no desenvolvimento e fixação simbiótica de nitrogênio na soja perene var. Tinaroo (*Glycine wightii*) em solo de Cerrado. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 8:197-202.
- Freitas, L. M. M. de; Lobato, E.; y Soares, W. V. 1971. Experimentos de calagem e adubação em solos sob vegetação de Cerrado. En: 2a. Reunião Brasileira de Cerrado, Sete Lagoas, 1967. *Anais. IPEACO, Sete Lagoas.* p. 153-163.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; Tanaka, E.; Soares, W.V.; y França, G. E. de. 1972. Experimentos de adubação de milho doce e soja em solos de campo cerrado. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 7:57-63.

- \_\_\_\_\_; Mikkelsen, D. S.; y McClung, A. C. 1964. Ensaio de calagem e adubação em solos de campo cerrado. En: 1a. Reunião Brasileira do Cerrado. Recuperação do Cerrado. 1961. Serviço de Informação Agrícola, Rio de Janeiro.
- Galvão, E. Z. y Mesquita Filho, M. V. de. 1981. Efeito de micronutrientes na produção e composição química do arroz (*Oryza sativa*, L.) e do milho (*Zea mays*, L.) em solo de Cerrado. Rev. Bras. Cien. Solo 5:72-75.
- Goedert, W. J. 1983. Management of cerrado soils of Brazil: A review. J. Soil Sci. 34:405-423.
- \_\_\_\_\_. 1987. Management of acid tropical soil in the savannas of South America. En: IBSRAM (International Board for Soil Research and Management). Management of acid tropical soil for sustainable agriculture. Proceedings of an IBSRAM inaugural workshop. Bangkok, Thailand. p. 109-127.
- \_\_\_\_\_. y Lobato, E. 1984. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de Cerrado. Rev. Bras. Cien. Solo 8:97-102.
- Grove, J. M.; Ritchey, K. D.; y Naderman Jr., G. 1980. Nitrogen fertilization of maize on Oxisol of the Cerrado of Brazil. Agron. J. 2:261-265.
- Hermani, L. C.; Endres, V. C.; Pitol, C.; y Salton, J. C. 1995. Adubos verdes de outono/inverno no Mato Grosso do Sul. Documentos no. 4. EMBRAPA-CPAC, Dourados. 93 p.
- Kamprath, E. J. 1967. Soil acidity and response to liming. Intern. Soil Test. Series. Tech. Bull. no. 4. North Caroline Agric. Exp. Stat., Raleigh, E.U.
- Lal, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. Soil & Tillage Res. 20:133-146.
- Landers, J. N. 1995. Fascículo de experiências de plantio direto no Cerrado. Associação de Plantio Direto no "errado, Goiânia, GO. 261 p.
- Lathwell, D. J. 1979. Crop response to liming on Ultisols and Oxisols. Cornell Int. Agric. Bull. Cornell University, Ithaca. 35 p.
- Leal, J. R. y Velloso, A. C. 1973. Adsorção de fosfato em latossolos de cerrado. Pesqui. Agropecu. Bras. 8:81-88.
- Lopes, A. S. 1983. Solos sob Cerrado: Características, propriedades e manejo. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, Piracicaba. 163 p.
- \_\_\_\_\_. 1986. Calagem e gesso agrícola. Encontro Técnico Sobre Gesso Agrícola. Fosfêtil/Petrofêtil. Belo Horizonte, MG. 58p. (Mimeografiado.)
- \_\_\_\_\_. 1996. Soils under Cerrado: A success story in soil management. Keynote address. IFA-PPI Regional Conference for Latin America and the Caribbean. June 25 -28, Mexico City, México. 11 p.
- \_\_\_\_\_. y Cox, F. R. 1977. A survey of the fertility status of surface soils under Cerrado vegetation in Brazil. Soil Sci. Soc. Am. J. 41(4):742-747.
- \_\_\_\_\_. y Guilherme, L. R. 1990. Uso eficiente de fertilizantes: Aspectos agronômicos. Boletim técnico no. 4. ANDA, São Paulo. 60 p.
- \_\_\_\_\_. y \_\_\_\_\_. 1994. Solos sob Cerrados: Manejo da fertilidade para a produção agropecuária. 2a. edição, Boletim técnico no. 5. ANDA, São Paulo. 62 p.
- McClung, A. C.; Freitas, L. M. de; Gallo, J. R.; Quinn, L. R.; y Mott, G. O. 1958. Alguns trabalhos preliminares sobre possíveis problemas de fertilidade em solos de diferentes campos cerrados de São Paulo e Goiás. Bragantia 17(3):29-44.
- \_\_\_\_\_. y Quinn, L. R. 1959. Sulphur and phosphorus responses of Batatais grass (*Paspalum notatum*). IBEC Research Institute Bulletin no. 18. p. 5-13.

- \_\_\_\_\_; Freitas, L. M. M. de; Mikkelsen, D. S.; y Lott, W. L. 1961. A adubação do algodoeiro em solos de campo cerrado no Estado de São Paulo. IBEC Research Institute Bulletin no. 27. p. 5-30.
- Macedo, J. 1995. Prospectives for the rational use of the Brazilian Cerrados for food production. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, D.F. 19 p.
- Magalhães, J. C.; Suhett, A. R.; Silva, J. E.; Peres, J. R.; Sousa, D. M. de; y Azevedo, J. A. 1978. Efeito da aplicação do nitrogênio no rendimento de duas variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.) em solo de Cerrado. En: Trabalhos com trigo no CPAC em 1977. EMBRAPA-CPAC, Planaltina. D.F. p. 119-139.
- Malavolta, E. y Kliemann, H. J. 1985. Desordens nutricionais nos cerrados. POTAFOS, Piracicaba. 136 p.
- Mascarenhas, H. A.; Miyasaka, S.; Freire, E. S.; e Igue, T. 1967. Adubação da soja. 6. Efeitos do enxofre e de vários micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn, Fe e Mo) em Latossolo Roxo com vegetação de Cerrado. *Bragantia* 26(29):373-379.
- Mikkelsen, D. S.; Freitas, L. M. de; y McClung, A. C. 1963. Efeitos da calagem e adubação de algodão, milho e soja em três solos de campo cerrado. *Boletim. Instituto de Pesquisas IRI, Brasil.* p. 29.
- Miyasaka, S.; Freire, E. S.; y Mascarenhas, H. A. A 1964. Adubação da soja. 3. Efeito do NPK, do enxofre e de micronutrientes em solo do arenito de Botucatu com vegetação de cerrado. *Bragantia* 23(27):65-71.
- Paiva, C. R. de y Borges, E. P. 1995. Aplicação de herbicidas para o manejo de braquiária (*Brachiaria decumbens*) visando plantio direto na palha. Resultados de pesquisa e experimentação no. 19. Fundação para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, Maracajú, Mato Grosso do Sul. 3 p.
- Perim, S.; Lobato, E.; y Galvão, E. Z. 1980. Efeito da calagem e de nutrientes no rendimento de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) em solo sob vegetação de cerrado. *Rev. Bras. Cien. Solo* 4:107-110.
- Pitol, C. y Salton, J. C. 1989. Evolução e desempenho tecnológico do trigo nos municípios de Dourado e Maracaju, nas safras 1984 e 1987. *Boletim técnico no. 1. Cooperativa Regional Triticola Serrana Ltda., Maracaju, Mato Grosso do Sul.* 19 p.
- \_\_\_\_\_; Siede, P. K.; y Heckler, J. C. 1997. Produção de girassol: Um negócio em parceria. Recomendação técnica no. 1. Fundação para Pesquisa e Difusão de Tecnologias Agropecuárias, Maracajú, Mato Grosso do Sul. p. 7.
- Raij, B. van. 1988. Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no sub-solo. ANDA, São Paulo. 88 p.
- Reichardt, K. 1985. Como superar o veranico no Cerrado. *Informações agrônomicas. POTAFOS* 32:1-2.
- Reis, M. S.; Ribas, P. M.; y Andrade, A M. de S. 1974. Efeitos da densidade de plantio e níveis de N na cultura do sorgo granífero, em dois tipos de solos do Triângulo Mineiro. En: 10a. Reunião Brasileira de Milho e Sorgo. Sete Lagoas. 1974. *Anais. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo-Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EMBRAPA-CNPMS-EPAMIG), Sete Lagoas.* p. 91-96.
- Salton, J. C. y Cichelero, M. L. 1988. A cultura da aveia no Mato Grosso do Sul. *Boletim técnico no. 2. Cooperativa Regional Triticola Serrana Ltda., Maracaju, Mato Grosso do Sul.* 33 p.
- \_\_\_\_\_; Pitól, C.; Siede, P. K.; Hernani, L. C.; y Endres, V. C. 1995. Nabo forrageiro: Sistemas de manejo. *Documentos no. 7. EMBRAPA-CPAC, Dourados.* 23 p.



- Sánchez, P. A y Salinas, J. G. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in Tropical America. *Adv. Agron.* 34:280-398.
- Scaléa, M. J. 1995. Curso rápido de plantio direto. Resumo de apontamentos das aulas. Monsanto, Goiânia, GO. 65 p. (Mimeografiado.)
- Seguy, L.; Bouzinac, W.; Giaretta, W.; y Trentini, F. de S. 1992. Gestão dos solos e das culturas nas áreas de fronteiras agrícolas dos cerrados úmidos do Centro-Oeste Brasileiro, ano agrícola. Convênio RPA/CIRAD-CA. Projeto Cooperlucas, Lucas do Rio Verde, MT.
- Silva, A. R. da y Andrade, J. M. V. de. 1982. A esterilidade masculina do trigo (chochamento) e o seu controle pela aplicação de micronutrientes no solo. En: *Trabalhos com trigo, cevada e triticale no CPAC em 1981*. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, D.F. p. 1-19.
- Silva, J. E. de; Lemainski, J.; y Resck, D. V. S. 1994. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. *Rev. Bras. Cien. Solo* 18:541-547.
- Sousa, D. M. G. de 1989. Calagem e adubação da soja no cerrado. Deagro/Adubos Trevo S.A, Porto Alegre. 17 p.
- \_\_\_\_\_; Rein, T. A; Lobato, E.; y Ritchey, D. 1992. Sugestões para diagnose e recomendações de gesso em solos de cerrado. En: 2o. Seminário sobre o Uso do Gesso na Agricultura. Uberaba, MG, Anais. IBRAFOS, São Paulo. p. 138-158.
- Spain, J. M.; Ayarza, M. A.; y Vilela, L. 1996. Crop pasture rotations in the Brazilian cerrados. En: Pereira, R. C. y Nasser, L. C. (eds.). 8o. Simpósio sobre o Cerrado. 1st International Symposium on Tropical Savannas. EMBRAPA-CPAC, Brasília, DF. p. 39-45.
- Stoner, E. R.; Freitas Junior, E. de F.; Macedo, J.; Mendes, R. C. A; Cardoso, I. M.; Amabile, R. F.; Bryant, R. B.; y Lathwell, D. J. 1991. Physical constraints to root growth in savanna Oxisols. *Trop. Soils Bulletin* no. 91. North Carolina State University, Raleigh, NC. 28 p.
- Wagner, E. 1986. Desenvolvimento da região dos cerrados. En: Goedert, W. J. (ed.). *Solos dos cerrados: Tecnologia e estratégia de manejo*. Editora Nobel, São Paulo. p. 19-31.
- Wolf, J. M. 1975. Water constraints to corn production in Central Brazil. Unpublished Ph.D. Thesis. Dept. of Agronomy, Cornell University, Ithaca, Nueva York.

## CAPITULO 3

# Conceptos y Estrategia de Investigación Participativa en el Proyecto Sabanas-Procitropicos

*O. Muzilli\**

## Contenido

Resumen	32
Abstract	32
Introducción	32
Marco Teórico	33
Manejo conservacionista de suelos tropicales	33
Enfoque sistémico y holístico aplicado en el manejo del suelo	35
Estrategia de Investigación Participativa	36
Diagnóstico	36
Síntesis, validación y transferencia de tecnologías	41
Avances de Validación en el Proyecto Sabanas	43
Validación de labranza reducida en cultivos anuales mecanizados en rotación con plantas de cobertura	43
Validación de métodos para rehabilitación y manejo de pasturas en sistemas para producir leche	44
Validación de alternativas para rehabilitación de pasturas en sistemas de ganadería semi-extensiva	44
Resultados Esperados	47
Referencias	47

---

\* Ing. Agrónomo, M.Sc., Investigador en suelos del Instituto Agronómico do Paraná (IAPAR), Caixa Postal 1331, 86001-970, Londrina-PR, Brasil. Consultor del Proyecto Sabanas IICA/Procitropicos.

## Resumen

Las características agroecológicas y socioeconómicas prevalentes en la región de las sabanas latinoamericanas demandan del Proyecto Sabanas-Procitropicos la promoción de tecnologías de uso y manejo del suelo socialmente aceptables y ecológicamente sostenibles y rentables, con el fin de mejorar los sistemas de producción agrícola y pecuaria. Dichas acciones se realizan a través del enfoque sistémico y holístico aplicado al manejo sostenible de los suelos de sabanas. La estrategia planteada es la investigación participativa, cuya aplicación exige el avance de conocimientos basados en acciones interdisciplinarias y en la integración sectorial involucrando investigadores, extensionistas y productores. El trabajo se inicia con el diagnóstico de la realidad de los sistemas de producción en fincas de referencia, seguido de investigación participativa destinada al ajuste y validación de innovaciones tecnológicas en los agroecosistemas tradicionales. Además de promover la mejor articulación en las actividades de generación-síntesis, validación y transferencia de tecnología hacia los usuarios, la estrategia planteada proporcionará información de retorno para la investigación temática tendiente al desarrollo tecnológico. A través de la investigación participativa se espera disminuir el 'vacío' existente entre la generación y la adopción de innovaciones tecnológicas planteadas para el manejo sostenible de los suelos de sabanas, además de ampliar la participación de los agentes locales, nacionales y regionales en las políticas de desarrollo rural.

## Abstract

The agricultural and livestock production systems in the Latin American savannas need improving. Taking into account the prevailing agroecological and socioeconomic characteristics, the Procitropicos-Savannas Project is promoting soil use and management technologies. To ensure that these technologies are socially acceptable, environmentally sustainable, and profitable, a systemic and holistic approach, based on participatory research, is adopted. This approach requires interdisciplinary activity and the integration of researchers, extension workers, and farmers. Research first begins with a diagnosis of current production systems on targeted farms, followed by participatory research to adjust and validate new technologies in traditional agroecosystems. Not only will linkages between technology generation-synthesis, validation, and transfer to users be improved, but also feedback will be provided for thematic research aimed at technological development. Through participatory research, the "gap" between the generation of technological innovations and their adoption is expected to narrow. At the same time, the participation of local, national, and regional entities in rural development policies is expected to increase.

## Introducción

Considerando las características agroecológicas y socioeconómicas prevalentes en la región de sabanas latinoamericanas, el reto consiste en generar, ajustar, validar y difundir tecnologías de uso y manejo del suelo que sean ecológicamente sostenibles,

económicamente rentables y socialmente aceptables con el fin de mejorar y estabilizar la producción agropecuaria y disminuir los riesgos de los cambios de clima y mercadeo en los sistemas de producción fundamentados en cultivos anuales mecanizados y en pasturas (IICA-Procitropicos, 1994).

## Marco Teórico

### **Manejo conservacionista de suelos tropicales**

El manejo conservacionista de los suelos tropicales involucra un conjunto de prácticas y procesos en el uso de suelos y cultivos, los cuales, adecuadamente combinados, podrían sostener la capacidad productiva e incrementar la eficiencia económica de los sistemas de producción en el largo plazo (Nademan, 1991). Este concepto involucra la integración del laboreo y la diversificación del uso de la tierra a través de rotaciones y secuencias de cultivos, incluyendo pasturas y el uso de plantas destinadas a la cobertura del suelo (Figura 1).

En los suelos tropicales y subtropicales de América Latina, la labranza convencional con implementos de discos, en especial las rastras pesadas tipo 'rome', a pesar de que produce mayor rendimiento operativo y menor consumo de combustible, también es la que causa más efectos nocivos en el suelo. La siembra directa (cero-labranza) sobre rastrojos vegetales es un proceso más efectivo para proteger el suelo contra la erosión y la degradación. No obstante,

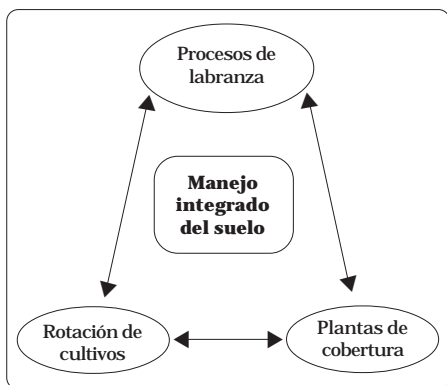


Figura 1. Componentes del manejo integrado del suelo. Proyecto Sabanas-Procitropicos.

esta práctica casi siempre tiene un costo inicial elevado, representado por las inversiones en maquinaria y control de malezas y demanda un alto grado de conocimiento técnico y organización gerencial en las fincas; además, favorece la mayor incidencia de plagas y malezas, si la secuencia de cultivos no es la más adecuada. Por las razones antes mencionadas, la siembra directa sigue todavía restringida a los productores más calificados y progresistas en términos técnicos, administrativos y financieros, aún en aquellas zonas con mayor nivel de experiencia en la adopción.

La labranza vertical del suelo es una opción intermedia a los procesos anteriores, que no tiene muchos de los inconvenientes antes citados. Como desventajas, existen riesgos por mayor incidencia de malezas y dificultades iniciales para establecer los cultivos en áreas recién desmontadas o en suelos muy pesados. Actualmente se está considerando la posibilidad de utilizar en forma combinada los procesos de labranza, como alternativa más eficaz para el manejo adecuado de los suelos tropicales (Benítez, 1991; Plá Sentis, 1991).

En relación con la rotación de cultivos, además de la preservación del suelo, esta práctica tiene beneficios como el control biológico-cultural de malezas y plagas, la mejor organización del trabajo en la finca, el mejor uso del capital invertido y la reducción de riesgos por cambios climáticos o fluctuaciones en los precios. Sin embargo, las rotaciones deberán ser flexibles, considerando las variaciones de clima y suelo, las oportunidades de mercadeo, los intereses y los recursos de los productores. Es decir, no se deben buscar 'recetas' de rotación, sino proporcionar conocimientos y opciones que posibiliten ajustes para cada situación (Gutiérrez, 1991a; Viegas y Machado, 1990).

Las pasturas constituyen una alternativa eficiente para disminuir la degradación de los suelos tropicales después del desmonte. No obstante, aún prevalece el concepto que ellas solamente se deben establecer en tierras de baja calidad. En tales condiciones, si los recursos naturales son suficientes y favorables, el agroecosistema pecuario podrá mantenerse a través del tiempo o en la mayor parte de él con una demanda reducida de capital. Si ocurre una escasez de pastos por sequía, degradación del suelo u otras razones, el manejo consiste en disminuir la carga animal por unidad de superficie, resultando así un sistema de producción de baja sostenibilidad, ya que al disminuir la disponibilidad de los pastos, es necesario reducir la población animal hasta un límite en el cual la rentabilidad y estabilidad económica del sistema quedan comprometidas.

De otro lado, el uso prolongado o inadecuado de pasturas en condiciones de sobrepastoreo, casi siempre resulta en problemas de compactación del suelo y degradación de su fertilidad, además, en presencia de malezas que compiten con los pastos o son tóxicas para el ganado. De lo anterior surgen las ventajas del establecimiento de programas adecuados de manejo de las pasturas, buscando su rehabilitación a través de prácticas de descanso y rotación periódica con cultivos anuales. En esta situación será posible realizar operaciones de labranza profunda para descompactar el suelo, controlar malezas y aplicar enmiendas y fertilizantes, además de reemplazar los pastos existentes por otros de mejor calidad.

La creciente valorización de las tierras y de los productos de origen animal justifica el mejor uso de los suelos para compensar las inversiones de capital en la actividad pecuaria. Bajo tales circunstancias, el éxito de los

sistemas de producción agropecuario demandará:

1. Reconocer que los pastos, como componentes de un agroecosistema, son plantas cultivadas y, por tanto, necesitan de manejo adecuado para su establecimiento y mantenimiento en niveles satisfactorios de rentabilidad y sostenibilidad.
2. Considerar el rol de las pasturas y sus interacciones con los demás componentes de la producción agropecuaria a nivel de la finca como un todo (Muzilli, 1993a).

En relación con la inclusión de cultivos de cobertura en los sistemas de rotación, los avances en la investigación latinoamericana evidencian su importancia como medida coadyuvante para conservar el suelo y controlar malezas y plagas. Como desventaja de este sistema se puede mencionar que aún existen incertidumbres en la selección, establecimiento y manejo de las especies de cobertura y los costos adicionales por la ocupación periódica de la tierra, exigiendo que los márgenes netos de ingreso de los rubros sean compensados por incrementos en su rentabilidad. Siendo así, la interacción de cultivos de cobertura con los rubros deberá proporcionar la protección del suelo sin comprometer la rentabilidad económica de los sistemas de producción (Gutiérrez, 1991b).

Los tres componentes mencionados no actúan de manera aislada, sino a través de una compleja interacción de efectos en el espacio y en el tiempo, según lo comprueban experiencias realizadas bajo distintas condiciones de clima tropical y subtropical de América del Sur.

Aunque existen muchas experiencias, todavía persisten inquietudes acerca de la factibilidad de

las tecnologías ofrecidas, sobre todo en zonas donde el desarrollo agrícola se encuentra en fase de expansión. Tales inquietudes se refieren a la adecuación de los procesos de labranza y de los arreglos espaciales y cronológicos de los cultivos y pasturas en distintas condiciones agroecológicas y socioeconómicas. Sobre el uso de plantas de cobertura existe aún escasez de experiencias en relación con las ventajas de su incorporación en los procesos de manejo del suelo en rotaciones con cultivos y pasturas.

En tales circunstancias, es evidente la necesidad de adaptar y difundir procesos de manejo conservacionista que sean apropiados a las distintas condiciones agroecológicas y socioeconómicas de las zonas tropicales y subtropicales latinoamericanas, con la finalidad de revertir la degradación del suelo sin comprometer la rentabilidad de los sistemas de producción fundamentados en el uso intensivo de la tierra, sea bajo cultivos anuales mecanizados o pasturas.

### ***Enfoque sistémico y holístico aplicado en el manejo del suelo***

Como premisas básicas para el manejo sostenible de los suelos de sabanas, se enfatiza en:

1. El uso de la tierra según los criterios de aptitud agrícola más apropiados.
2. El incremento en la eficiencia del uso de las aguas de lluvias.
3. La restricción de las prácticas de laboreo capaces de promover la exposición continua del suelo a la acción erosiva del clima.
4. La explotación de cultivos de ciclo corto, que utilizan más eficientemente el agua y los nutrimentos disponibles en el

suelo, combinados con especies de ciclo medio o largo que preservan los recursos naturales y del medio ambiente.

5. La formulación de sistemas diversificados de producción, que garantizan una actividad productiva continua a través de la explotación racional de los recursos naturales, tecnológicos y socioeconómicos.

El manejo integrado del suelo exige considerar todas las variables agroecológicas y socioeconómicas que incluyen desde la selección de parcelas sobre la base de su vocación para uso agropecuario, hasta prácticas y procesos tecnológicos que maximicen la conservación del suelo y el agua, y la relación beneficio:costo y minimicen el deterioro del medio ambiente.

La estrategia que aparece como más adecuada es el enfoque de sistemas de producción aplicados a la generación, validación y transferencia de tecnologías a los usuarios intermediarios (extensionistas) y finales (productores). La aplicación de la investigación agropecuaria bajo dicho enfoque demanda el avance de conocimientos basados en acciones interdisciplinarias; además exige la integración sectorial a través de un esfuerzo participativo que involucra directamente a investigadores, productores y extensionistas.

Siendo así, la adopción del enfoque sistémico —integración de actividades en las unidades productivas— y holístico —el proceso visto como un todo— en la investigación y transferencia de tecnologías, permitirá una percepción más global de los problemas y soluciones relativos al uso y manejo sostenible del suelo, además de estrechar la integración de esfuerzos entre las entidades públicas y privadas que se dedican al desarrollo agrícola en el ámbito de cada región o país.

La planeación de las acciones deber ser iniciada con el conocimiento de la realidad de los sistemas de producción practicados por los productores (investigación de la finca), seguido de la investigación en la finca (ajuste y validación de innovaciones tecnológicas) donde, basándose en la sumatoria del conocimiento científico y la experiencia y lógica de los usuarios, surjan los agroecosistemas modificados (investigación para la finca). Bajo tal estrategia, la investigación en sistemas de producción será responsable del diagnóstico de las demandas y, posteriormente, de comprobar y transferir los avances producidos por la investigación temática, bien sea por componentes o por rubros. Los programas de investigación temática, a su vez, serán generadores y donantes de innovaciones tecnológicas que se ajustarán, validarán e incorporarán a los agroecosistemas y sistemas de producción tradicionales. Por tanto, la investigación en sistemas de producción no confronta o reemplaza la investigación temática; al contrario, la enriquece y complementa (Muzilli, 1988; 1993b).

## **Estrategia de Investigación Participativa**

A través de las experiencias adquiridas en la región fue posible proponer el Proyecto Sabanas IICA/Procitropicos-1994, para ser desarrollado en Bolivia, Brasil, Colombia y Venezuela. Ha sido evidente el vacío existente entre la generación y la adopción de las innovaciones ofrecidas, lo que indica la necesidad de cambios en la estrategia de transferencia hacia los usuarios. Además de la falta de recursos humanos y financieros para implementar acciones de validación y transferencia de tecnología a los diferentes dominios de recomendación,

hace falta una mayor agresividad y complementariedad de esfuerzos por parte de las instituciones públicas de investigación y extensión rural para ampliar el grado de adopción de las opciones tecnológicas disponibles.

En los sectores de investigación y extensión rural prevalece la sobrevaloración aislada de los principios filosóficos y del marco teórico de sus actividades, perdiéndose el objetivo principal de hacer llegar los avances tecnológicos a los productores. En estas circunstancias, la posibilidad de lograr progresos en el desarrollo rural de las áreas de sabanas dependerá de que las acciones de investigación, extensión rural y asistencia técnica estén articuladas entre ellas y sean conducidas con participación activa de los usuarios, sobre todo, los productores.

Tales inquietudes justifican la implementación de esfuerzos de carácter participativo para promover una mejor articulación en las actividades de generación y síntesis, validación y transferencia de tecnología hacia los usuarios finales. Además de proveer mecanismos eficaces para realimentar la investigación en busca del desarrollo tecnológico, basándose en nuevos problemas y demandas que podrán surgir de las propias acciones realizadas en conjunto con los agentes de asistencia técnica y los productores. Estas premisas han llevado al Proyecto Sabanas a proponer una estrategia de investigación participativa, involucrando la secuencia de acciones, cuyas etapas se describen a continuación (Figura 2).

### **Diagnóstico**

Los objetivos del diagnóstico dentro del Proyecto son los siguientes:

1. Identificar distintas zonas agroecológicas homogéneas (ZAE's) y los respectivos dominios de

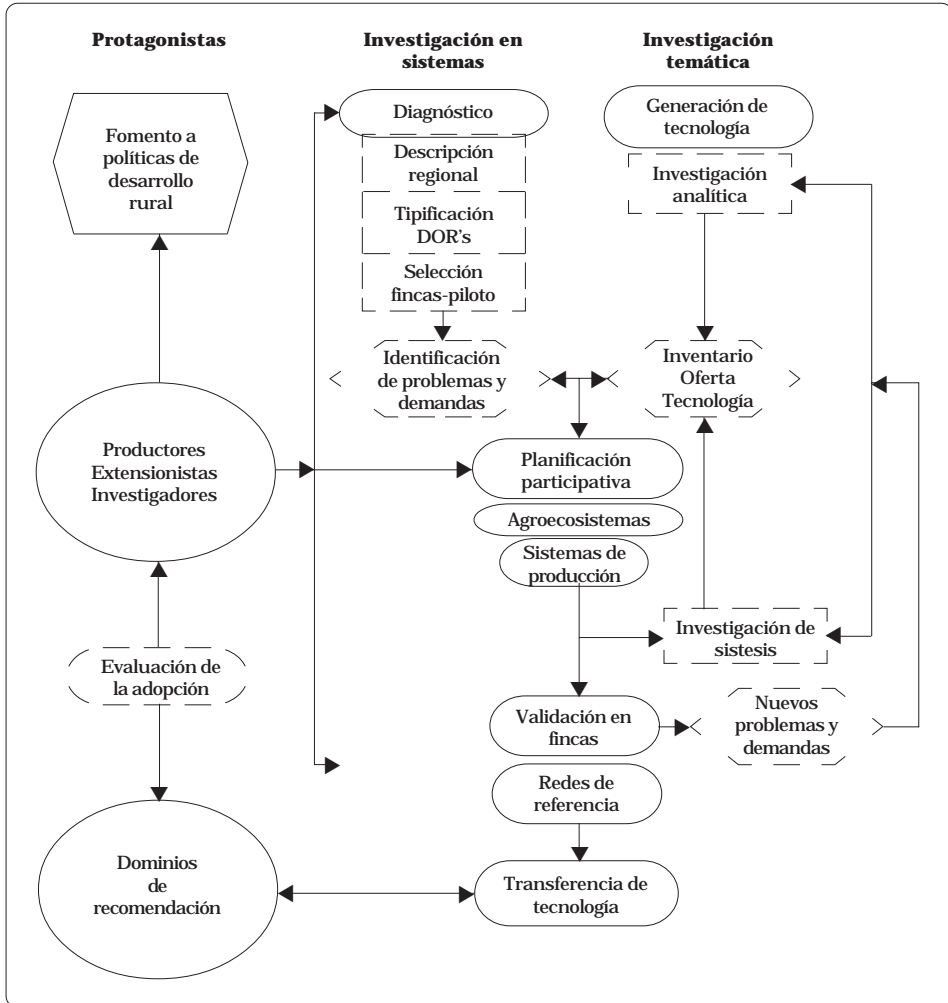


Figura 2. Estrategias para la investigación y transferencia de tecnología en sistemas de producción. Proyecto Sabanas-Proctropicos.

1. recomendación (DOR's) existentes en cada región.
2. Conocer los sistemas de producción predominantes (SPP) y las tecnologías en uso por los productores de los distintos DOR's.
3. Identificar los problemas y analizar las causas y efectos que restringen la productividad, la rentabilidad y la sostenibilidad de los SPP.

4. Pronosticar posibles cambios tecnológicos capaces de contribuir a superar los problemas diagnosticados, con base en las ofertas tecnológicas disponibles.

**Caracterización de las zonas agroecológicas.** Las ZAE's son áreas relativamente homogéneas en la condición de los recursos naturales y socioeconómicos, en los cuales las actividades productivas muestran o



podrán mostrar un mismo comportamiento.

Su caracterización se hará a través de la recopilación, el procesamiento, la sistematización y el análisis del conjunto de datos secundarios descriptivos de los recursos naturales —clima, suelo, toposecuencias, vegetación— y de aspectos socioeconómicos —uso y tenencia de la tierra, evolución y formas de organización de las comunidades, y perfil de la producción agrícola— con el objetivo de orientar las etapas posteriores de la investigación en sistemas de producción. Otro aspecto fundamental será la caracterización de la infraestructura regional, es decir, el conjunto de factores externos a las unidades productivas que estén relacionados con las actividades de producción, entre ellas: mercado interno y externo (oferta y demanda), líneas de crédito específico, ventajas comparativas (costos), estructura de mercado, canales de comercialización, oferta de mano de obra, estructura agraria y normalización del uso del suelo.

Las informaciones proporcionadas por los datos secundarios deberán ser complementadas y ampliadas a través de excursiones al campo para identificar, delimitar y seleccionar las ZAE's de interés.

**Tipificación de los dominios de recomendación.** Los DOR's constituyen estratos homogéneos de sistemas de producción (unidades productivas o grupos de productores) con características agro-socioeconómicas, problemas y potencialidades agrícolas similares y, por tanto, factibles de ser investigados en forma colectiva y capaces de adoptar las mismas innovaciones tecnológicas.

En una ZAE, cada finca o unidad productiva es única. Sin embargo, para orientar el diagnóstico de los sistemas

de producción, podrán ser agrupadas según características similares que corresponden al perfil de los DOR's.

La etapa de tipificación tendrá por finalidad agrupar dichas unidades productivas, tomando como variables de clasificación la naturaleza y disponibilidad de la fuerza de trabajo, las relaciones de trabajo empleadas en la explotación, la disponibilidad e intensidad de uso del capital y las actividades de producción agropecuaria predominantes en relación con el valor bruto de la producción. Además se deben considerar los rubros más importantes, los tipos de rotaciones y asociaciones, el origen de los principales ingresos y el manejo tecnológico que los productores dan a todos los recursos y factores necesarios para la producción. Como resultado, durante la tipificación se conocerá el perfil de los SPP en relación con el uso de los recursos —tierra, trabajo y capital— y las actividades de producción (agroecosistemas) mayoritarias en las unidades productivas.

Para su ejecución, además de talleres con grupos de productores, se podrán realizar encuestas formales o sondeos informales en cada finca localizada en el área de interés, bien sea ésta un municipio, una comunidad o una microcuenca hidrográfica.

Además de agrupar los sistemas de producción similares y detectar la representatividad de cada tipo predominante, la tipificación de los DOR's ayudará en la formulación de hipótesis preliminares que van a orientar la definición del diagnóstico y su implementación a través del muestreo de unidades productivas.

**Formulación del diagnóstico.**

Consiste en la descripción y análisis de la estructura y dinámica organizacional, las restricciones y oportunidades, y el perfil técnico de los

agroecosistemas (actividades de producción) de los SPP, como elementos básicos para:

1. Identificar y jerarquizar los problemas, propósitos y aspiraciones que condicionan la toma de decisión de los productores en la gestión de los recursos y actividades productivas.
2. Pronosticar posibles cambios tecnológicos que se podrán ofrecer en forma compatible con la realidad vigente en los distintos DOR's.

En las fincas tomadas al azar para representar los DOR's de interés, se deberán recolectar datos relacionados con: (1) formas de uso y ocupación de la tierra; (2) inventario de los procesos tecnológicos para producción agrícola y pecuaria; (3) disponibilidad de recursos y medios de producción; y (4) aspiraciones, prioridades y restricciones de los productores.

Especial atención se deberá dar a los procesos de uso y manejo del recurso tierra, en lo que se refiere a las formas de habilitación de parcelas, uso de equipos y maquinaria, procesos de labranza, siembra y cosecha, uso de fertilizantes y plaguicidas, control de malezas, rotaciones y secuencias de cultivos, manejo de las pasturas y animales, y manejo de rastrojos poscosecha, entre otros.

Tomando como base el diagnóstico, los técnicos podrán identificar y entender los problemas y demandas expresados por los usuarios. Es importante comenzar con el análisis de los problemas tecnológicos mejor percibidos y destacados por los productores. Existen otros problemas que ellos no siempre reconocen, pero que los técnicos podrán reconocer y ofrecer alternativas para su solución. Comparando dichas alternativas con los problemas detectados, se podrán

formular hipótesis de uso de los recursos de producción.

El hecho de que los productores no estén empleando las prácticas que los técnicos consideran como mejores, no significa que ellos tengan un problema. Es posible que bajo sus circunstancias y aspiraciones, los productores estén usando los recursos disponibles de la manera más lógica y eficiente. Por tanto, antes de decidir si tienen un problema que ellos no lo perciben, será importante comprender la dinámica de gestión y operación de la unidad productiva como un sistema, lo que se podrá lograr a través del seguimiento de fincas de referencia.

Los diagnósticos podrán ser formulados a través de encuestas o sondeos, talleres con participación de grupos de productores y estudios de caso. Para todas las situaciones se tomarán muestras al azar a partir de un listado de productores representativos de cada uno de los DOR's de interés, lo que ayudará a consolidar el diagnóstico de cada DOR por separado.

**Planeación participativa.** El diagnóstico de problemas y demandas deberá ser reconstruido y analizado en talleres formales con la participación de investigadores, agentes locales de asistencia técnica y extensión rural, productores representativos de los respectivos DOR's, además de miembros representativos de las organizaciones comunitarias y de las clases políticas locales.

Sobre la base del análisis causa-efecto, se establecerán prioridades y se seleccionarán innovaciones disponibles en el banco de ofertas tecnológicas proporcionadas por la investigación, las cuales deben ser compatibles con las experiencias prácticas de los productores y de los técnicos que trabajan en la zona.

De la planeación participativa se espera como producto el diseño de prototipos o modelos físicos de agroecosistemas para validación en fincas de referencia. A través de la planificación participativa será posible verificar la reacción de los usuarios a los prototipos sugeridos, cuya decisión final de ejecución resultará del consenso y de la aceptación de los cooperadores y responsables de las fincas de referencia donde se conducirán las actividades de validación.

Además, la planificación participativa ayudará a realimentar nuevas propuestas de investigación temática a través de ensayos analíticos o de síntesis (multifactoriales), cuando la oferta tecnológica aún no ha hecho posible el pronóstico, basándose en los agroecosistemas tradicionales, de los efectos interactivos de las innovaciones tecnológicas que se incorporarán a los prototipos modificados.

Algunas reglas básicas que deben seguir los investigadores y técnicos durante la planeación participativa son las siguientes:

1. Es necesario estar preparados y motivados para ofrecer innovaciones que sensibilicen los usuarios bajo un marco de optimismo, es decir, apuntando soluciones y no problemas, obstáculos o fracasos.
2. Durante las discusiones no se deben imponer las opiniones. Los usuarios deberán ser colocados en el rol de enseñar, respetando su experiencia y práctica en el análisis y discusión de las propuestas.
3. No se debe temer a las críticas o rechazos por las innovaciones propuestas. En tales circunstancias, es necesario aclarar a los usuarios que se trata de

opciones para prueba, las cuales podrán ser mejores o no que las tecnologías en uso, siendo su deseo conocer lo que piensan ellos acerca de las innovaciones planteadas.

En el Proyecto Sabanas se ha establecido que las propuestas de validación resultantes del proceso de planeación participativa deben estar fundamentadas en los principios siguientes:

1. Sostenibilidad agroecológica, que se alcanzará mediante la combinación de prácticas de asociación y rotación de cultivos y pasturas, e inclusión de especies para rehabilitación o preservación del suelo en sistemas diversificados de producción.
2. Rentabilidad económica, por la explotación combinada de alternativas que produzcan ingresos financieros en el corto, mediano y largo plazo.
3. Aceptabilidad socio-cultural, considerando la lógica de los procesos tecnológicos tradicionales y evitando la introducción de cambios bruscos en los valores sociales de la zona.

Bajo las condiciones prevalentes en fincas de referencia, la validación de los modelos físicos de agroecosistemas se ha orientado hacia:

**Agroecosistemas con cultivos anuales.** Consiste en la simulación de agroecosistemas con cultivos mecanizados o semimecanizados y ajustados a las épocas, densidades y procesos de siembra y manejo que son compatibles con los equipos y facilidades disponibles en las fincas, con los propósitos de: (1) evitar la remoción, la desagregación excesiva y la compactación del suelo, y la destrucción de los rastrojos de cultivos anteriores durante las operaciones de

labranza; (2) promover rotaciones de cultivos mediante el uso de plantas de cobertura para favorecer el reciclado de nutrientes y la protección del suelo; (3) introducir alternativas de variedades de cultivos mejorados, épocas, densidades y métodos de siembra y control de malezas.

#### **Agroecosistemas con pasturas.**

Se refieren a modelos que consideran sólo pasturas o su combinación con producción agrícola, y que se destinan a: (1) reemplazar pasturas de baja calidad nutritiva o infestadas con malezas y plagas, por pasturas de mejor calidad forrajera y nutritiva; (2) la asociación o sucesión de pasturas con cultivos temporales, para mejorar las condiciones del suelo, controlar las malezas y disminuir los costos de renovación de las pasturas; (3) ofrecer residuos y forrajes para la alimentación suplementaria del hato ganadero en períodos de escasez de pastos y durante la renovación de las pasturas; (4) promover sistemas agrosilvopastoriles a través de la rotación de pasturas con cultivos temporales intercalados entre especies arbóreas y plantas forrajeras arbustivas con el fin de proveer sombra, dar protección contra vientos, suministrar alimentación suplementaria a los animales y producir madera.

**Agroecosistemas con cultivos temporales y en asociación.** Es más apropiado para fincas pequeñas y medianas, donde las actividades de producción son diversificadas y los procesos de siembra y manejo son manuales o semimecanizados. Bajo tales situaciones, los objetivos que se consideran son: (1) la diversificación de la producción agrícola a través de la rotación y la sucesión de cultivos temporales; (2) la promoción del uso de abonos verdes en sistemas de cultivos asociados para protección del suelo, control de malezas, aporte de nitrógeno y reciclado de nutrientes; (3) la

reducción de la remoción del suelo y la quema de los rastrojos de cultivos anteriores.

**Agroecosistemas con cultivos perennes.** Promovidos para pequeñas y medianas fincas, y zonas no aptas para mecanización, con los siguientes objetivos: (1) diversificar la producción agrícola a través de agroecosistemas con estratos múltiples, asociando cultivos temporales y perennes; (2) establecer la rotación de cultivos temporales y abonos verdes entre callejones de cultivos arbóreos para mejorar el reciclado de nutrientes y el aporte de nitrógeno; controlar malezas, plagas y enfermedades y proteger el suelo contra la erosión.

Siendo las pasturas especies que ocupan grandes superficies, y la ganadería una actividad generalizada en las zonas de sabanas, los investigadores especializados en esta actividad deben estar directamente involucrados como miembros de los equipos multidisciplinarios encargados de la investigación. En la mayoría de los proyectos existentes, no siempre dicha situación ha sido posible.

#### **Síntesis, validación y transferencia de tecnologías**

El propósito de las actividades de validación en fincas de referencia es introducir, ajustar y comprobar innovaciones tecnológicas consideradas como factibles de realizar para el cambio de los sistemas de producción tradicionalmente practicados en las condiciones de los DOR's representados. Bajo estas condiciones, el impacto de los cambios propuestos se deberá evaluar en el contexto de las unidades productivas (red de fincas de referencia) como un todo.

Sin embargo, en zonas donde la información es escasa, existe la necesidad de realizar investigación de síntesis para combinar e integrar

procesos y componentes tecnológicos, aún no factibles de incorporar en las pruebas de validación. Además, dichas actividades podrán servir como una vitrina de ofertas tecnológicas, para dar soporte a la capacitación de técnicos locales y como referencia para el diseño de futuras pruebas de validación. Por ejemplo, para el manejo conservacionista del suelo, la investigación de síntesis podrá estar constituida de ensayos multifactoriales que integren procesos de labranza, rotaciones de cultivos y pasturas, con o sin plantas para cobertura del suelo. Las parcelas deberán ser lo suficientemente grandes para permitir la mecanización y la medición de parámetros predictivos de sostenibilidad agroecológica, a través de un monitoreo preciso y controlado. También podrán existir ensayos complementarios o satélites de carácter temático en parcelas de pequeña dimensión, con el fin de verificar el efecto aislado de determinados componentes tecnológicos.

La investigación de síntesis se podrá realizar en fincas privadas representativas de los DOR's (fincas de referencia o satélites), utilizando diseños experimentales que posibiliten las comparaciones y mediciones relativas a la investigación y el apoyo a actividades específicas de transferencia de tecnología como días de campo y giras técnicas. Lo anterior con el objeto de conocer los avances y verificar la aplicabilidad de las opciones tecnológicas en otras unidades productivas del mismo DOR. Sin embargo, como se trata de ensayos grandes, con diseño experimental complejo, casi siempre de larga duración y que demandan el uso de equipos y mano de obra en las mismas épocas de siembra, no siempre será factible realizar la comprobación experimental de las tecnologías seleccionadas bajo las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de las fincas.

Como alternativa, la investigación de síntesis se podrá ejecutar en campos experimentales propios, ubicados en áreas cuyas condiciones agroecológicas sean representativas del DOR para facilitar, de esta forma, la medición de parámetros de naturaleza agronómica, simulando algunos indicadores de carácter financiero. En consecuencia, la representatividad socioeconómica será perjudicada y, por tanto, será necesario someter las innovaciones a pruebas de validación en fincas de referencia, para minimizar los problemas mencionados y consolidar el monitoreo socioeconómico.

Por tratarse de modelos físicos que se plantean, manejan y evalúan con la participación activa de los usuarios y con los recursos y medios de trabajo disponibles en la finca, el diseño de las pruebas de validación deberá ser sencillo y flexible, para posibilitar la introducción y el ajuste de nuevas técnicas y procesos de acuerdo con los avances de la investigación de síntesis y las circunstancias de cada DOR.

En talleres de planeación, se consultará y motivará a los usuarios para que propongan cambios en los modelos según sus experiencias, propósitos y circunstancias; además, se deben motivar para que cooperen y participen en forma activa en la conducción de los trabajos.

Los indicadores que se monitorean, desde la selección y descripción de las parcelas hasta la consolidación de las pruebas de validación, se refieren a parámetros edafoclimáticos, tecnológicos y financieros internos y externos a la finca de referencia. Estos parámetros deben ser suficientes para evaluar los impactos de las innovaciones tecnológicas en relación con la sostenibilidad agroecológica, la rentabilidad económica y la aceptabilidad sociocultural.

Después de ajustar debidamente las innovaciones y ser validadas por los

usuarios cooperadores, las pruebas de validación servirán como parcelas demostrativas para fines de transferencia de tecnología. Las innovaciones se difundirán a los usuarios del mismo DOR en eventos como giras técnicas, días de campo y talleres; para ello se utilizarán las informaciones y aclaraciones transmitidas por los usuarios cooperadores, quienes serán los voceros para exponer a sus vecinos todos los procedimientos y experiencias practicados por ellos mismos hasta llegar a los prototipos validados.

La organización de las actividades de difusión estará a cargo de los asistentes técnicos y extensionistas que participaron en el trabajo, desde el diagnóstico hasta la comprobación de las innovaciones, debidamente apoyados por los investigadores. Posteriormente, la adopción de las innovaciones transferidas deberá ser evaluada mediante entrevistas y sondeos para medir su impacto junto con los usuarios.

## **Avances de Validación en el Proyecto Sabanas**

Esta validación se ha hecho utilizando la metodología propuesta en este documento. Con los ejemplos siguientes se pretende demostrar las acciones y avances que es posible lograr desde el primer año en la validación de sistemas en fincas de referencia.

### ***Validación de labranza reducida en cultivos anuales mecanizados en rotación con plantas de cobertura***

El trabajo se adelanta en una finca localizada en la zona integrada sur del departamento de Santa Cruz, Bolivia, con un sistema de producción predominante en monocultivo de

algodón durante el período lluvioso, seguido de barbecho en el período seco. La preparación del suelo se realiza tradicionalmente al inicio de las lluvias mediante labranza convencional, usando hasta tres pases de rastra pesada y cuatro de rastra niveladora. El diagnóstico previo del perfil cultural en un suelo franco-arenoso en una parcela de 2 ha elegida para establecer las actividades de validación, mostró deficiencia de materia orgánica (M.O.), desagregación de la capa superior y presencia de una superficie compactada entre 17 y 26 cm de profundidad. En estas condiciones, se pudo constatar la baja sostenibilidad del sistema de producción practicado, y la incidencia de malezas y plagas que resultan en disminución de la productividad y aumento de los costos de producción. La eficiencia de uso del agua por los cultivos era baja, debido a las restricciones en el desarrollo de las raíces. La erosión eólica era acentuada por la escasez de cobertura vegetal del suelo en el período seco, cuando ocurren fuertes vientos en la zona.

Ante esta situación, se propuso reemplazar el sistema tradicional de labranza por labranza vertical con arado de cincel hasta 35 cm de profundidad, lo que permitiría, por lo menos, 30% de cobertura con rastrojo sobre el suelo durante el período de cultivo del algodón, seguido de la rotación con plantas de cobertura vegetal para reducir la incidencia de malezas, equilibrar la población de plagas y proteger el suelo durante el período seco. Debido a las expectativas del productor por la práctica de siembra directa, se propuso para validación la rotación de cultivos que aparece en el Cuadro 1.

Entre 1995 y 1996, cuando se realizó el primer cultivo de algodón, los principales beneficios obtenidos con el agroecosistema modificado, en comparación con el tradicional, fueron un mejor desarrollo vegetativo de la

Cuadro 1. Rotación de cultivos propuesta para el agricultor de la zona integrada en el sur del departamento de Santa Cruz, Bolivia. Proyecto Sabanas-Proctitropicos.

Periodo	Cultivo	Finalidad	Método de siembra
Octubre-mayo	Algodón	Producir fibras	Labranza vertical
Junio-septiembre	Sorgo	Producir granos y rastrojos	Labranza vertical
Octubre-diciembre	Sorgo o crotalaria	Producir rastrojos	Siembra directa
Enero-abril	Girasol	Producir granos	Siembra directa
Mayo-agosto	Sorgo	Producir granos y rastrojos	Siembra directa
Octubre-mayo	Algodón	Producir fibras	Labranza vertical

parte aérea y raíces del algodón, retraso en la incidencia de malezas y mayor productividad del cultivo.

### **Validación de métodos para rehabilitación y manejo de pasturas en sistemas para producir leche**

Se toma como ejemplo una finca ubicada en el Estado de Anzoátegui, Llanos Orientales de Venezuela. La actividad predominante es la ganadería de leche con pasturas de *Brachiaria decumbens* con un período de uso aproximado entre 4 y 5 años. El manejo tradicional consiste en pastoreo intensivo con 2 cabezas/ha durante 10 días, seguido de pase de guadaña y 20 a 30 días de descanso. El diagnóstico del perfil cultural del suelo mostró restricciones para el desarrollo de raíces después de 40 cm de profundidad. Según la experiencia del productor, los problemas más frecuentes son la compactación del suelo por pisoteo de los animales, la incidencia de malezas y la presencia de áreas de suelo desnudo por baja germinación de semillas.

El programa de validación consistió en establecer una parcela de 1 ha para hacer una rehabilitación de la pastura mediante labranza convencional con pase de rastra, siembra asociada de la leguminosa *Stylosanthes capitata* y niveles de fertilización recomendados

por la investigación según el análisis de suelo. Como resultado se ha observado un adecuado desarrollo de las raíces de la gramínea y buena actividad biológica en el perfil del suelo hasta 40 cm de profundidad. La pastura de *B. decumbens* presenta excelente desarrollo vegetativo, mientras que la leguminosa se encuentra en la fase de germinación y desarrollo inicial. El productor, por iniciativa propia, estableció en un sitio cercano otra parcela de 1 ha, la que sometió a un manejo intermedio consistente en un pase de rastra, la mitad de la dosis de fertilizantes aplicada en la parcela de validación y resiembra de *B. decumbens*.

La capacidad productiva de estas pasturas se evaluará midiendo diariamente la producción de leche. El administrador de la finca registra diariamente los costos e ingresos de la finca, para evaluar los resultados financieros de los distintos agroecosistemas bajo monitoreo.

### **Validación de alternativas para rehabilitación de pasturas en sistemas de ganadería semi-extensiva**

**Zona de Cerrados del Planalto Central.** La finca de referencia en este caso está localizada en el municipio de Paraúna, Goiás (Brasil). En la finca

predomina el agroecosistema pecuario semi-extensivo, en el cual se destinan pequeñas parcelas a la producción de maíz para la alimentación del hato lechero en períodos de sequía. Predomina *B. decumbens*, establecido en potreros de 100 ha. El pastoreo es continuo durante el período lluvioso y no se aplican fertilizantes. Como resultado de este manejo, las pasturas se encuentran degradadas, siendo posible observar reducción en la producción de biomasa y la incidencia de hormigas, termitas y malezas. La explotación por encima de la capacidad de soporte de las pasturas, ha favorecido la presencia de áreas desnudas de suelo y desprotegidas contra las fuertes lluvias, lo que resulta en una baja infiltración de agua y consecuente en una alta erosión hídrica. En la época seca, la producción de biomasa no es suficiente para alimentar el hato, dando como resultado una baja producción de leche y ganancia de peso vivo animal, y un aumento del índice de mortalidad de los animales.

La parcela seleccionada como unidad de validación fue una pastura de *B. decumbens* de 10 años, con baja capacidad productiva y con las características de suelo que aparecen en el Cuadro 2. Conjuntamente con el productor y los agentes locales de

asistencia técnica, además de una parcela testigo de sólo *B. decumbens*, se validaron los sistemas de cultivo: (S1) arroz, mijo (sorgo) y maíz/*B. brizantha*; (S2) arroz, mijo, maíz/*Panicum maximum* cv. Tanzania; (S3) arroz/*B. brizantha* por el Sistema Barreirão (ver Capítulo 15 de este libro); y (S4) maíz para ensilaje, *B. brizantha*. En estos sistemas modificados, la labranza del suelo consistió en un pase de rastra pesada en el período seco (agosto), seguido de un pase de arado-vertedera + uno de rastra niveladora al inicio de las lluvias; y aplicación de cal para corregir la acidez en el suelo. Al momento de la siembra, los cultivos anuales se fertilizaron utilizando las dosis de nutrimentos determinadas en el análisis del suelo. Los rendimientos en el primer año de cultivo fueron 2.88, 2.76 y 3.04 t/ha de arroz; y 13.8 t/ha de biomasa verde de maíz para ensilaje, en los sistemas S1, S2, S3 y S4, respectivamente. El mijo establecido después de los cultivos anuales produjo 1.27 y 1.62 t/ha de MS en los sistemas S1 y S2, mientras que *B. brizantha* produjo 3.09 y 2.5 t/ha de MS en los sistemas C y D, y el testigo (*B. decumbens*) produjo 0.69 t/ha de MS.

En este caso, se encontró que los sistemas modificados fueron superiores

Cuadro 2. Características del perfil cultural de la finca del municipio de Paraúna, Goiás, Brasil. Proyecto Sabanas-Procitropicos.

Atributos	Profundidad en el suelo (cm)			
	0-3	3-18	18-25	25+
Textura	Arenosa	Arenosa	Franco-arenosa	Arenosa
Agregados	Pequeños	Pequeños	Medianos	Medianos/grandes
Estabilidad	Cohesiva	Dura	Débil	Débil
Porosidad interna	Escasa	Escasa	Moderada	Alta
Compactación	Ausente	Presente	Moderada	Ausente
Presencia de raíces	Abundante y difusas	Moderada y difusa	Moderada y difusa	Finas y escasas
Actividad biológica	Presente	Presente	Intensa	Moderada



en rendimiento de MS, especialmente *B. brizantha* después de arroz en el Sistema Barreirão. De igual manera, la estimación de la rentabilidad financiera de los sistemas con cultivo de arroz ha evidenciado mayor ventaja comparativa para el Sistema Barreirão (Cuadro 3).

### Zona de Cerrados del Medio

**Norte.** La parcela seleccionada como unidad de validación está localizada en la hacienda 'Comag', municipio de Uruçuí, Estado de Piauí (Brasil). Consiste en una pastura alta de *Andropogon gayanus* establecido hace 4 años, después de un cultivo de arroz de secano durante 2 años sin aplicación de fertilizantes. El manejo tradicional consiste de pastoreo intensivo durante el período de lluvias (3 a 4 meses) con una alta carga animal, descanso en el período seco y el inicio nuevamente del pastoreo al comienzo de las lluvias. Las pasturas se encontraban totalmente degradadas y con elevada incidencia de malezas. Bajo estas condiciones, la vida útil de las pasturas en la propiedad es 4 años, aproximadamente.

Los sistemas de manejo evaluados fueron: (S1) *A. gayanus* bajo manejo tradicional; (S2) siembra simultánea de arroz/*B. brizantha* utilizando arado vertedera (Sistema Barreirão);

Cuadro 3. Rentabilidad financiera de los sistemas: (S1) arroz, mijo y maíz/*Brachiaria brizantha*; (S2) arroz, mijo, maíz/*Panicum maximum* cv. Tanzania; y (S3) arroz/*B. brizantha* (Sistema Barreirão). Proyecto Sabanas-Procitropicos.

Componentes	Agroecosistema (valores/ha en R\$ <sup>a</sup> )		
	S1	S2	S3
Costos variables	270.60	270.60	270.60
Ingresos brutos	480.00	460.67	506.70
Margen bruto	209.40	190.07	236.10

a. Reales de Brasil. US\$1 = R\$1.05.

(S3) siembra simultánea de arroz/*B. brizantha* utilizando rastra pesada; (S4) siembra de *A. gayanus* sobre el cultivo de arroz; y (S5) siembra de *B. brizantha* sobre cultivo de soya.

En el Cuadro 4 se presentan los resultados financieros resultantes de los cultivos anuales entre 1995 y 1996. Se observa que con el sistema tradicional (S1) los ingresos fueron nulos en el primer año, resultando un margen bruto negativo. En el sistema S2 (Barreirão), la producción de arroz fue suficiente para amortizar la inversión anual más los costos variables, quedando un margen bruto de R\$18.62<sup>1</sup>. Los ingresos brutos obtenidos con arroz correspondieron a 50% del valor global —inversiones más costos variables— para recuperar la pastura de *B. brizantha*, cuyo rendimiento fue de 32 t/ha. El sistema S3 es una variación del Sistema Barreirão propuesta por el productor, siendo el ingreso bruto obtenido con él suficiente para amortizar los costos variables durante el primer año, quedando un margen bruto de R\$114.7 por hectárea. Sin embargo, los rendimientos de biomasa verde (18.5 t/ha) de la pastura fueron inferiores a los obtenidos en el sistema S2, debido, principalmente, a la baja cantidad de raíces existentes bajo la capa del suelo removida por la rastra pesada. En el sistema S4, los ingresos brutos por el arroz correspondieron a 81% del valor global (inversiones + costos variables) necesario para la recuperación de la pastura, quedando en el primer año un margen bruto de R\$189.51 por hectárea. Finalmente, en el sistema S5, los rendimientos de soya fueron bajos, debido a la siembra tardía y a la poca reacción de la cal aplicada en el suelo en el primer año, resultando un margen bruto negativo. Los ingresos brutos correspondieron a 35% del valor global (inversiones + los

1. US\$1 = R\$1.05.

Cuadro 4. Resultados financieros en los sistemas validados en el municipio de Urucaí, Piauí, Brasil. Proyecto Sabanas-Proctitropicos.

Componentes	Sistema <sup>a</sup>				
	S1 (tradicional)	S2 (arroz)	S3 (arroz)	S4 (arroz)	S5 (soya)
Inversiones <sup>b</sup>	0	142.60	0	130.70	142.60
Costos variables totales					
Insumos	20.00	144.45	140.95	189.45	248.20
Gastos operativos	52.74	54.33	76.69	60.34	36.96
Suma (RS/ha)	72.74	341.38	217.63	380.49	427.76
Ingresos brutos					
Rendimiento de granos (sacos/ha)	0	25	23	40	23
Valor/ha (RS)	0	360.00	332.40	570.00	293.58
Márgenes brutos	(72.74)	18.62	114.77	189.51	(134.18)
Amortización <sup>c</sup> (%)	0	50	100	81	35

a. S1 = tradicional; S2 = arroz/*B. brizantha* con arado vertedera; S3 = arroz/*B. brizantha* con rastra pesada; S4 = sobre-siembra en arroz; S5 = sobre-siembra en soya.

b. Valor equivalente a 25% de los gastos con adecuación del terreno (a ser amortizado en 4 años).

c. Proporción relativa al valor global de inversiones (4 años) + costos variables totales (1er. año).

costos variables) necesario para recuperar la pastura.

Una vez que se validan los prototipos bajo prueba, se podrán utilizar como unidades de demostración para fines de difusión de tecnologías, donde el productor cooperador expondrá a sus vecinos las experiencias sobre sus ventajas y limitaciones.

## Resultados Esperados

Con la aplicación de la estrategia de investigación participativa planteada para el Proyecto Sabanas, se espera:

1. Ajustar, validar y difundir procesos de uso y manejo sostenible de la tierra que sean apropiados a las condiciones agroecológicas y socioeconómicas de las sabanas de América Latina.
2. Acortar la brecha existente entre la generación y la adopción de innovaciones tecnológicas, planteadas para el manejo de los suelos de sabanas, mediante mecanismos facilitadores de la

coordinación de acciones entre investigadores, extensionistas y productores.

3. Ampliar la participación de los agentes locales, nacionales y regionales en las políticas de desarrollo rural sostenible, a través de la integración y el intercambio de experiencias entre los principales protagonistas involucrados en el proceso de desarrollo tecnológico, es decir, los productores, los agentes de asistencia técnica y los investigadores de los sectores público y privado.

## Referencias

- Benítez, J. R. 1991. Clasificación de los sistemas de labranza. Curso de Capacitación sobre Sistemas de Labranza. Provincia del Chaco (Argentina). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Italia.

- Gutiérrez, R. 1991a. Rotación de cultivos. Curso de Capacitación sobre Sistemas de Labranza. Provincia del Chaco (Argentina). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Italia.
- \_\_\_\_\_. 1991b. Uso de cultivos de protección y culturas asociadas o intercaladas. Curso de Capacitación sobre Sistemas de Labranza. Provincia del Chaco (Argentina). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, (INTA), Argentina, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Italia.
- IICA-Procitropicos (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-Proyecto Procitropicos). 1994. Aspectos agroecológicos de la sostenibilidad. En: Regeneración y manejo sostenible de los suelos degradados de sabanas: Una estrategia para la preservación del medio ambiente. Taller final sobre el proceso de elaboración del Proyecto Sabanas. Caracas.
- Muzilli, O. 1988. A pesquisa em sistemas de produção. Um enfoque voltado para o desenvolvimento da pequena propriedade. En: Moniz, A. C. (Coord.). A responsabilidade social da ciencia do solo. Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, Campinas, Brasil.
- \_\_\_\_\_. 1993a. Conceptualización de sistemas silvopastoriles para la explotación ganadera. En: Curso de sistemas silvopastoriles. Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), Santa Cruz, Bolivia.
- \_\_\_\_\_. 1993b. El enfoque interdisciplinario y sistémico en la investigación agrícola: Una propuesta para el CIAT. Inf. Tec. no. 11. Centro de Investigación Agrícola Tropical/ Banco Mundial. Proyecto Tierras Bajas del Este, Santa Cruz, Bolivia. 34 p.
- Nademan, G. 1991. Labranza de conservación. Curso de capacitación sobre sistemas de labranza. Provincia del Chaco (Argentina). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Italia. p. 23.
- Plá Sentis, I. 1991. Elección del sistema de labranza. Curso de Capacitación sobre Sistemas de Labranza. Provincia del Chaco (Argentina). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Argentina, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Italia. p. 9.
- Viegas, G. P. y Machado, D. A. 1990. Rotação de culturas: Uma prática lucrativa. Sementes Cargill Ltda. São Paulo, Brasil. 28 p.

## CAPITULO 4

# Indicadores de Sostenibilidad: Parámetros Edafoclimáticos y Diagnóstico del Perfil Cultural

*E. Amézquita\*, D. Friesen\*\* y J. I. Sanz\**

## Contenido

Resumen	49
Abstract	50
Introducción	51
Relaciones Edafoclimáticas y Producción Agrícola	51
Importancia de los parámetros de clima para el uso y sostenibilidad de los suelos	52
Relaciones entre las Propiedades Físicas del Suelo y la Nutrición de Plantas	54
El Perfil Cultural y el Manejo Físico de los Suelos	57
El perfil cultural	57
Los Factores del Suelo y la Evaluación de la Sostenibilidad	58
Factores físicos e hidrológicos del suelo	58
Factores químicos y de fertilidad	58
Factores biológicos del suelo	61
Estimación de la Sostenibilidad mediante Modelamiento	61
Referencias	63

## Resumen

En este artículo se presenta un análisis sobre los parámetros edafoclimáticos relacionados con la sostenibilidad de los sistemas de producción y se discute cuáles de ellos podrían funcionar como indicadores

---

\* Investigadores del CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

\*\* Investigador del International Fertilizer Development Center (IFDC), CIAT.

apropiados de la 'salud del suelo' en las diferentes fases de desarrollo de los sistemas agropastoriles. La sostenibilidad de un sistema de producción se debe evaluar dentro del concepto de un tipo de tierra y ecosistema específico, en un período de tiempo definido y dentro de las limitaciones físicas, económicas y sociales que normalmente ocurren. El análisis histórico del comportamiento de las lluvias por métodos estadísticos y probabilísticos es una herramienta de gran utilidad en la toma de decisiones sobre la conveniencia o no de la aplicación de prácticas para el manejo productivo y la conservación de los suelos, entre ellas: el tipo de labranza, aplicación de riego y construcción de drenajes. El objetivo principal que se debe tener en cuenta en el manejo de suelos tropicales es la construcción de una capa arable, entendiendo por ello la obtención de una capa favorable para el crecimiento de las raíces de las plantas sin limitaciones físicas, químicas o biológicas. Como se sabe, la riqueza del suelo puede ser evaluada mediante la calidad en la zona de raíces, utilizando parámetros sensibles que permitan evaluar el impacto de los sistemas de producción agrícola en el recurso suelo y en el ambiente. Es necesario desarrollar y evaluar nuevos indicadores que tomen en consideración la dinámica de las reservas orgánicas de los nutrimentos. Los procesos de pérdida y acumulación de materia orgánica son básicos para la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola de secano, ya que los compuestos orgánicos están estrechamente relacionados con factores de calidad del suelo como la estructura, el potencial de agua aprovechable, el reciclado de nutrimentos y la actividad biológica. La evaluación de indicadores de sostenibilidad y su observación pueden requerir varios años para determinar los cambios significativos en la calidad del suelo. Los modelos mecanísticos constituyen una herramienta poderosa para integrar los conocimientos en sistemas de producción, venciendo las limitaciones de escala y de especificidad de sitios. Existen varios tipos de modelos o familias de modelos que simulan el crecimiento de cultivos o la función del ecosistema dentro de la relación clima-suelo-planta-hombre. Estos modelos ahora tienen la capacidad de simular secuencias que permiten la evaluación de efectos de varias estaciones.

## **Abstract**

This article analyzes the soil and climatic parameters related to the sustainability of agropastoral systems, and the fitness of these parameters as indicators of "soil health" in the systems' different phases. A production system's sustainability should be evaluated in terms of land type and ecosystem, a defined time period, and typical physical, economic, and social constraints. The historical analysis of rainfall behavior by statistical and probabilistic methods is highly useful for making decisions on the convenience of applying production management and soil conservation practices such as type of tillage, application of irrigation, and construction of drainage. Soil management in the tropics should aim mostly at developing an arable layer, which is understood as achieving a soil layer that favors root growth without physical, chemical, or biological constraints. Soil fertility can be assessed by the quality in the soil surrounding plant roots, using sensitive parameters to evaluate the impact of agricultural production systems on the soil (as a resource) and on the environment. Indicators that take into account the dynamics of organic nutrient reserves should be developed and assessed. The loss and accumulation of organic matter are key processes in sustainable agricultural production systems on nonirrigated arable land because organic compounds are closely related to soil quality factors such as structure, usable water potential, nutrient recycling, and biological activity. The evaluation and observation of

sustainability indicators can take several years to determine significant changes in soil quality. Mechanistic models constitute powerful tools for integrating knowledge on production systems, overcoming the limitations of scale and site specificity. Several classes of models are available for simulating crop growth or ecosystem functions within the climate-soil-plant-man relationship. These models can also simulate sequences that assesses the effects of several seasons.

## Introducción

A medida que la población mundial incrementa, el suelo, un recurso básico, es sometido cada vez más a una presión creciente para suplir las crecientes demandas por alimento, combustibles y fibra. Gran parte de esta presión sucede en los países tropicales y subtropicales en desarrollo, región donde los suelos generalmente tienen menores reservas de nutrientes y donde ocurren eventos de temperatura y precipitación extremos que pueden acelerar los procesos de degradación de aquellos a una escala mayor de la que usualmente sucede en la zona templada. Los sistemas de producción agrícola deben, por tanto, ser adaptados a las condiciones edafoclimáticas de estos ecosistemas, con el fin de alcanzar los niveles de producción que demanda el crecimiento de la población, sin causar a largo plazo problemas de degradación del recurso básico del cual depende la producción.

La sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola depende del mantenimiento o mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, como recurso básico. El desarrollo y la evaluación de sistemas alternativos de producción implica, por tanto, que el estudio de la productividad no debe hacerse a corto plazo, sino a largo plazo. Esto requiere, a largo plazo, la cuantificación del impacto del sistema y de las prácticas de manejo del suelo en las propiedades y procesos importantes de la productividad

agronómica y en la calidad del ambiente (Lal, 1994). La sostenibilidad de un sistema de producción debe ser evaluada dentro del concepto de un tipo de tierra y ecosistema específicos, en un período de tiempo definido y dentro de las limitaciones físicas, económicas y sociales de la región (Dumansky, 1993). Un sistema que es sostenible bajo determinadas condiciones socioeconómicas y edafoclimáticas, no necesariamente lo es cuando las condiciones son diferentes.

En este artículo se analizan los parámetros edafoclimáticos relacionados con la sostenibilidad de los sistemas de producción agropastoril y se discute cuáles de ellos podrían funcionar como indicadores apropiados de la 'salud del suelo' en diferentes fases del desarrollo de estos sistemas.

## Relaciones Edafoclimáticas y Producción Agrícola

La producción y productividad agrícola dependen del comportamiento, intensidad, equilibrio, interacciones e interdependencia entre los factores clima-suelo-planta-hombre (Figura 1). Corresponde al hombre identificar, definir y cuantificar las variables de clima y suelo para decidir la clase de cultivo que se desarrolla exitosamente dentro de determinada zona agroecológica y conseguir, mediante acciones de manejo, el mejor equilibrio dinámico entre estos factores, con el fin

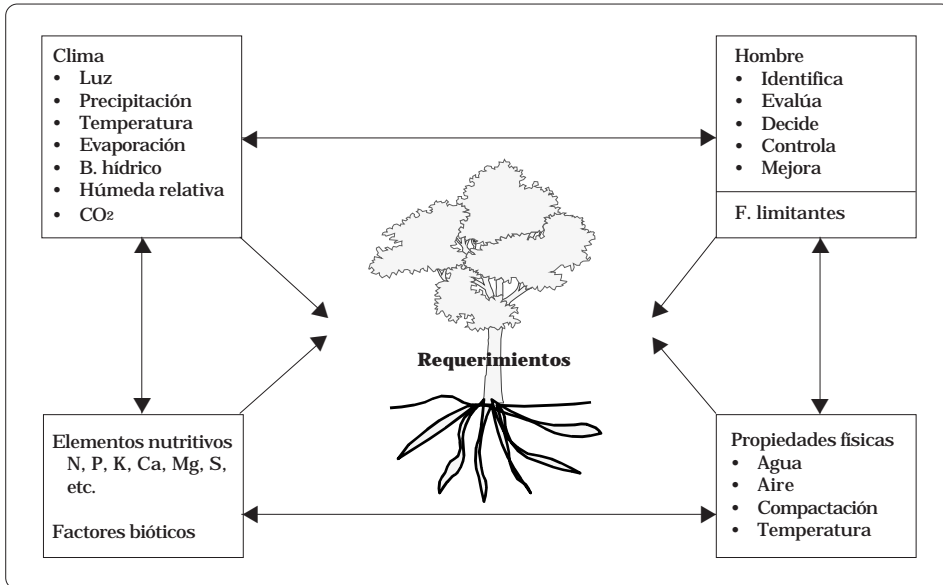


Figura 1. Factores de producción agropecuaria.

de obtener el máximo rendimiento para el mejor aprovechamiento del medio (Amézquita, 1989).

Las prácticas de cultivo deben estar enfocadas de tal manera que se maximice la fotosíntesis en un sitio y suelo determinados. Esto se consigue si se logran optimizar los factores que controlan la fotosíntesis, como son: la luz, la temperatura, el agua, los nutrimentos, el aire y el soporte mecánico. Bajo condiciones de agricultura de secano es imposible controlar la intensidad de la luz y la temperatura en el medio, pero los demás factores que provienen del suelo sí son susceptibles de manejo y de mejoramiento con el fin de optimizarlos en forma sostenible.

**Importancia de los parámetros de clima para el uso y sostenibilidad de los suelos**

En condiciones normales en el campo, el agua que usan las plantas tiene origen en las lluvias. En la Figura 2

se muestran las características generales de las precipitaciones, su aprovechamiento y las implicaciones que tienen en el manejo adecuado de los suelos. Por ejemplo, el parámetro de cantidad de agua conduce a la definición cuantitativa del balance hídrico, según los requerimientos hídricos específicos de las plantas; el parámetro intensidad conduce hacia el cálculo de la energía cinética de la lluvia que afecta el grado de erosión y la conservación del suelo; la combinación de los parámetros duración, cantidad e intensidad de precipitación está relacionado con el control de inundaciones y con prácticas adecuadas de labranza para un mejor aprovechamiento del agua en el perfil del suelo; por último, la frecuencia de los anteriores atributos de las lluvias permite el estudio de períodos de retorno con fines de diseños de sistemas de conservación, recolección de aguas de escorrentía y a la producción de energía eléctrica por medio de su almacenamiento en embalses (Harrold et al., 1976).

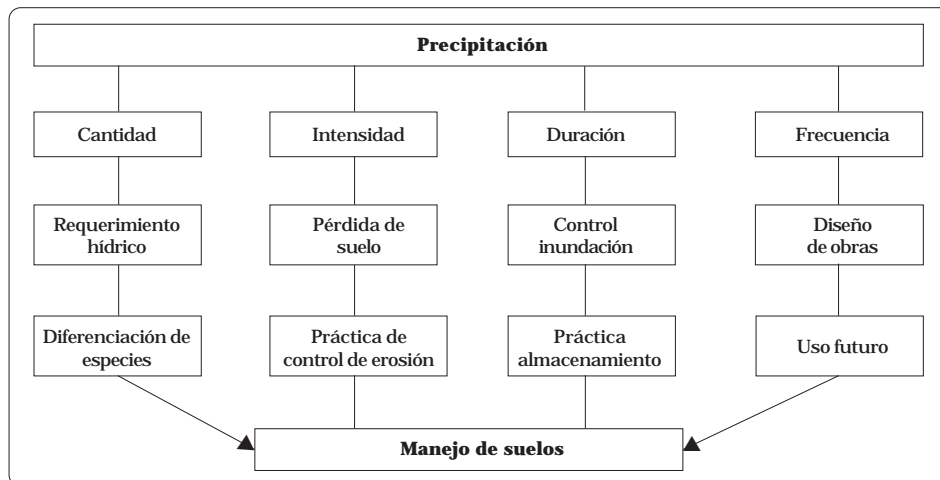


Figura 2. Relación entre la precipitación y el manejo de los suelos como recursos de producción.

El análisis histórico del comportamiento de las lluvias por métodos estadísticos y probabilísticos es una herramienta de gran utilidad en la toma de decisiones sobre la conveniencia o no de la aplicación de prácticas para el manejo productivo y la conservación de los suelos, entre ellas: el tipo de labranza, aplicación de riego y construcción de drenajes. En este sentido es posible trabajar con probabilidades mensuales, semanales y diarias sobre la cantidad de lluvia que se esperaba, así como calcular balances hídricos, lo que permitirá planear razonablemente las prácticas de riego y de drenaje cuando sean necesarias, y diseñar prácticas de labranza y de manejo de suelos para mejorar el perfil del suelo en áreas bajo sistemas de producción intensiva (Amézquita, 1974; Ortotani y Camargo, 1987).

En la Figura 3 se presenta la probabilidad y la cantidad de lluvia semanal en el Centro de Investigaciones Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, con una probabilidad de 80%, determinada a partir de datos de 20 años de registros consecutivos. Se observa que con

seguridad ocurren lluvias a partir de la semana 16 y hasta la 43; por ejemplo, en la semana 21 es seguro que llueva porque la probabilidad es igual a 1 y con 80% de certeza se pueden esperar lluvias entre 70 y 250 mm.

En la Figura 4 aparece el comportamiento probabilístico de caída de lluvias, cuándo cae una cantidad determinada y cuándo aquellas se consideran iguales o mayores que 25 mm. Se observa, por ejemplo, que entre las semanas 18 y 40 hay una alta probabilidad de caída de lluvias superiores a 25 mm.

El estudio de la intensidad de lluvias en términos de energía y la probabilidad de ocurrencia de eventos máximos para diferentes períodos de retorno es indispensable para la programación de prácticas de control de erosión, utilizando los términos de la ecuación universal de pérdida de suelo (Wischmeier y Smith, 1978).

El estudio de balances hídricos, basado en análisis climatológicos históricos y en las características físicas del suelo relacionados con almacenamiento de agua, profundidad



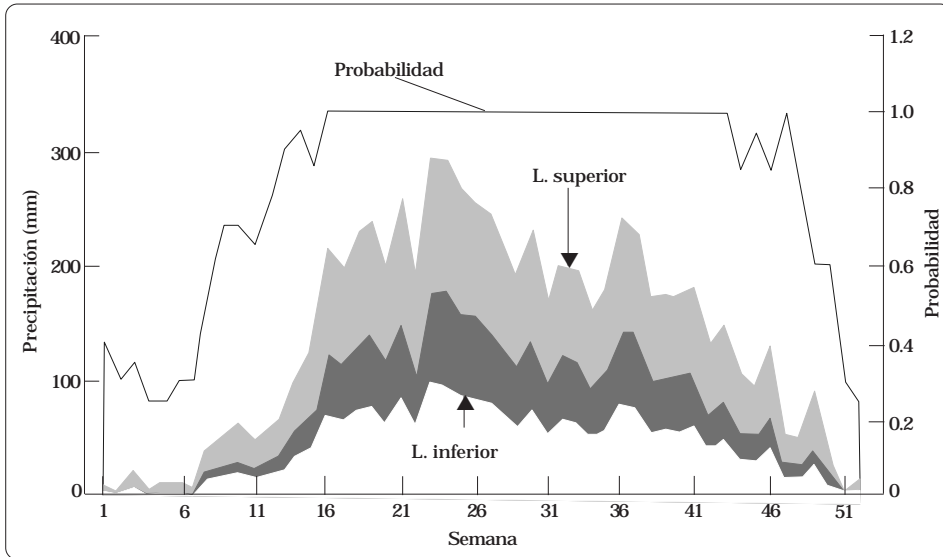


Figura 3. Probabilidad de caída de lluvia e intervalo de confianza (al 80%) de precipitación semanal en Carimagua (20 años de registro).

de enraizamiento, compactación, formación de costras superficiales, capacidad de aireación, e infiltración, entre otros, es de utilidad para el manejo y la planificación de prácticas agronómicas. El conocimiento de las propiedades del perfil del suelo antes y durante el ciclo agrícola es también fundamental para el mejor uso de la tierra.

### Relaciones entre las Propiedades Físicas del Suelo y la Nutrición de Plantas

Como resultado del geotropismo, las raíces de las plantas se desarrollan en el suelo y crean en él un ambiente único, en el que suceden continuas e instantáneamente numerosas reacciones químicas, fisicoquímicas y biológicas que determinan la capacidad del suelo para suplir las necesidades nutritivas de las plantas.

La dinámica de los procesos de absorción de agua y nutrimentos es influenciada por el comportamiento de las fases sólida, líquida y gaseosa en el suelo y es regida por leyes termodinámicas, las que a su vez determinan la magnitud, intensidad, calidad y oportunidad del suministro de nutrimentos y del intercambio iónico en las interfaces suelo-solución-planta, procesos por medio de los cuales se nutren las plantas. En el Cuadro 1 se muestra la secuencia de transformaciones que debe sufrir un elemento esencial hasta convertirse en nutrimento, así como los factores que afectan dichas transformaciones (Amézquita, 1991).

Para que un elemento nutritivo que se encuentra en el suelo pueda ser absorbido por la planta, es necesario que entre en contacto con la raíz. Este contacto se lleva a cabo mediante los fenómenos siguientes:

- (1) interceptación por las raíces,
- (2) flujo de masa, y (3) difusión (Barber, 1984; Malavolta et al., 1989).

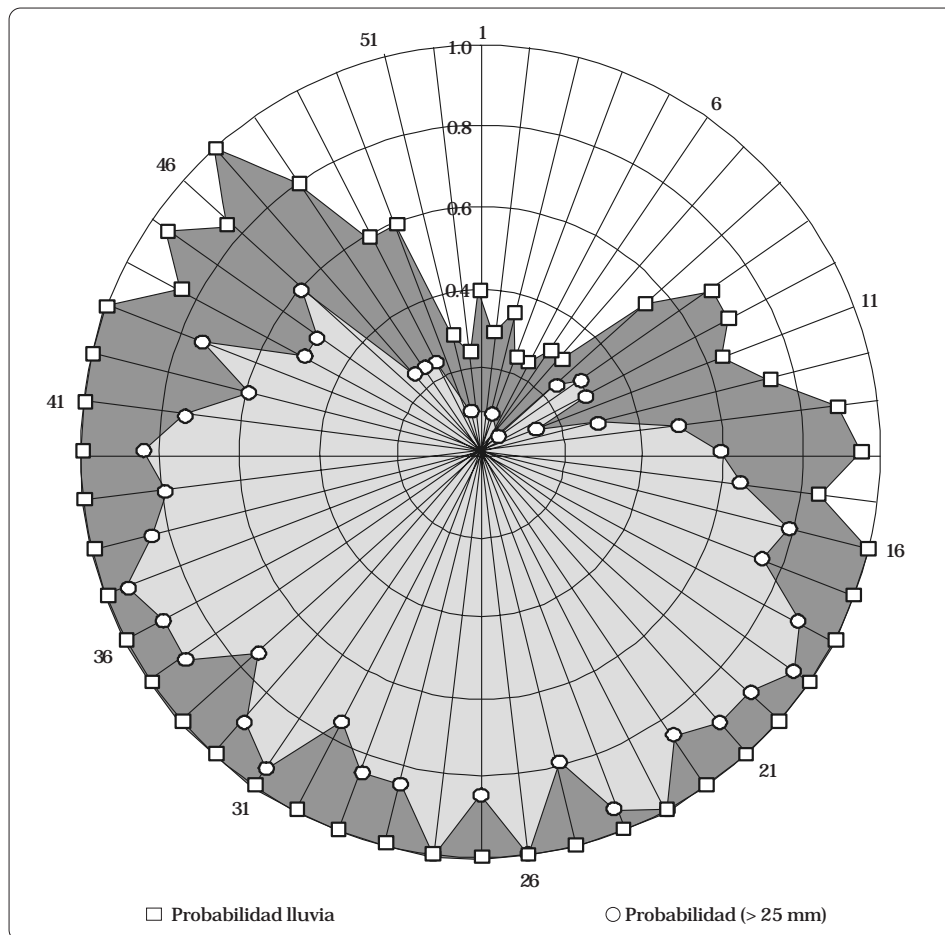


Figura 4. Probabilidad semanal de caída de lluvia en Carimagua (20 años de registro)

Cuadro 1. Factores que influyen en los procesos de nutrición de la planta y propiedades físicas en el suelo que lo afectan.

Fuente de nutrientes	Formas disponibles	Contacto con la superficie radicular	Toma y uso por la planta
Materia orgánica	C.I.C.	Movimiento de los nutrientes en solución Distribución de poros	Presencia y disponibilidad de nutrientes
Textura	Mineralización de materia orgánica	Crecimiento radicular Penetrabilidad	Potencial osmótico de la raíz
Potencial de agua	Humedad en el suelo	Estructura Humedad Aireación	Potencial de humedad
Estructura	Aireación	Temperatura	Presión de oxígeno
Aireación	Temperatura		Temperatura
Temperatura	Capacidad de reposición		
Erosión	Lixiviación		

En el proceso de interceptación, las raíces a medida que crecen encuentran el elemento en la solución del suelo y se ponen en contacto con él. En el proceso de flujo de masas, el nutrimento se traslada en la fase acuosa o solución del suelo obedeciendo a gradientes de potencial hidráulico entre capacidad de campo y punto de marchitez, que son creados por el proceso de evapotranspiración. Mediante el proceso de difusión, el elemento se mueve en distancias muy cortas dentro de una fase acuosa estacionaria, cambiando de una región de alta concentración a otra de baja concentración muy cercana a la superficie de la raíz; existiendo, además, una relación estrecha entre estos procesos y la distribución de tamaño de poros. La interceptación ocurre fundamentalmente por los macroporos, el flujo de masa por los mesoporos y la difusión por los microporos (Figura 5) (Amézquita, 1994; Greenland, 1979).

La absorción de agua y nutrimentos, y su posterior transporte dentro de la planta, dependen de la presencia de agua suficiente en el suelo

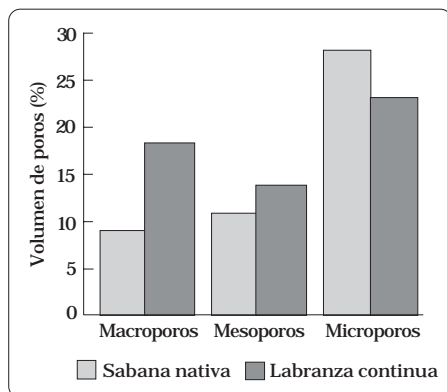


Figura 5. Distribución de tamaño de poros en Matazul, Llanos Orientales de Colombia, bajo dos condiciones de uso. (Profundidad 0-2.5 cm.)

que garantice la normal transpiración, y de la suplementación suficiente y oportuna de nutrimentos a la planta, tanto en cantidad como en calidad.

Normalmente bajo condiciones en el campo, las exigencias de transporte oportuno de agua dentro del sistema suelo-planta-atmósfera no se cumplen (Reichardt, 1985). En estos casos, la transpiración, que debe equilibrar la demanda de la evaporación ambiental, es limitada por la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo debido, entre otras causas, a la disminución en la conductividad hidráulica de éste a medida que disminuye la humedad almacenada, la distribución de las raíces, la permeabilidad de éstas y la capacidad conductiva de agua por las plantas, la contracción de las raíces cuando la demanda es excesiva y el suelo no está en capacidad de conducir el agua a las velocidades requeridas. Todos estos factores dentro de un esquema de manejo productivo de suelos, deben ser comprendidos y optimizados mediante prácticas de manejo oportunas y bien enfocadas.

La suplementación adecuada y oportuna de nutrimentos en cantidad y calidad también puede ser limitada por factores como: la baja disponibilidad de nutrimentos, la ausencia de alguno o algunos de ellos, la baja solubilidad, el antagonismo iónico, el bajo contenido de humedad, la deficiencia en la distribución de las raíces, y la baja capacidad de aireación en el suelo.

Los planteamientos anteriores muestran que para nutrir adecuadamente una planta se deben considerar tanto los factores climatológicos como los edafológicos. En estos últimos es necesario considerar los químicos y biológicos que conducen al suministro de nutrimentos, y los físicos que conducen al adecuado suministro de agua y de aire para la respiración de las raíces.

El manejo edafológico (Recuadro 1) en relación con la nutrición vegetal debe satisfacer la demanda de nutrimentos esenciales, utilizando prácticas de fertilización de acuerdo con los requerimientos locales de los cultivos y de los suelos. Además, debe asegurar una buena distribución de poros especialmente macro y mesoporos que regulan la aireación, el crecimiento de las raíces y los procesos de flujo de masa y de difusión de los nutrimentos; todos ellos esenciales para que se sucedan de manera activa y permanente los procesos nutritivos (Amézquita, 1994).

Recuadro 1

**Factores edáficos involucrados en el crecimiento de las plantas**

- Presencia y disponibilidad de los elementos nutritivos esenciales.
- Succión del agua en el suelo.
- Aireación en la zona radicular.
- Resistencia mecánica a la penetración de raíces.
- Temperatura en el suelo.

## **El Perfil Cultural y el Manejo Físico de los Suelos**

### ***El perfil cultural***

Desde el punto de vista edafológico, el perfil se refiere al volumen de suelo que puede ser explotado por las raíces de las plantas. Está constituido por la sucesión de capas individualizadas por la acción de los implementos de labranza, las raíces y los factores resistentes a las intervenciones del hombre y el ambiente (Gautronne y Manichon, 1987).

La construcción de una capa arable es el principal objetivo que se debe tener en cuenta en el manejo de suelos tropicales. Este concepto consiste en la obtención de una capa de crecimiento

para las raíces, que no posee limitaciones físicas, químicas ni biológicas para el buen desarrollo de las plantas. Una vez que se obtiene una capa arable consistente y productiva, es posible hacer sobre ella una agricultura sostenible. La labranza y la aplicación de enmiendas químicas y fertilizantes, en combinación con un manejo biológico adecuado del suelo, son prácticas constructivas (agradativas) del suelo y no degradativas como generalmente sucede.

Un buen perfil cultural en el suelo se caracteriza por:

- Una suficiente disponibilidad de los elementos nutritivos esenciales, de tal manera que no se presenten deficiencias para las plantas;
- Una alta capacidad para almacenar y transmitir agua suficiente a las raíces con el fin de evitar el estrés hídrico;
- Poseer suficiente espacio aéreo para garantizar la respiración de las raíces y la absorción de nutrimentos;
- La fácil penetración por las raíces de las plantas, lo que les permite explorar un adecuado volumen de suelo para absorción de agua y nutrimentos; y
- Las buenas características térmicas con un rango adecuado de temperaturas para la realización de las reacciones físico-químicas involucradas en la disponibilidad y absorción de nutrimentos y agua.

La investigación en suelos es exitosa en la medida en que conduzca al conocimiento del control de los factores anteriormente mencionados mediante prácticas de manejo que tiendan al mejoramiento integral del suelo con el objeto de asegurar su sostenibilidad.

## Los Factores del Suelo y la Evaluación de la Sostenibilidad

La riqueza del suelo puede ser evaluada a través de la calidad de la zona de raíces (Dumansky, 1993). Los factores biofísicos que determinan la calidad del suelo en la zona radicular y que consecuentemente afectan la producción agrícola, incluyen: la densidad aparente, las propiedades hidráulicas, la fertilidad y disponibilidad de nutrimentos, y la presencia de elementos tóxicos, entre otros. Los índices objetivos para evaluar el impacto de los sistemas de producción agrícola en el recurso suelo y en el ambiente, se pueden basar en observaciones sobre uno o varios de esos factores. No obstante, los índices de sostenibilidad sólo son viables si incluyen consideraciones de sensibilidad a los cambios de manejo y variabilidad en el tiempo y en el espacio (Lal, 1994), además de ser fáciles de medir. Lal (1994) ha sugerido diferentes escalas para la evaluación de indicadores de sostenibilidad (Cuadro 2). Las definiciones de sostenibilidad deben incluir, también, conceptos sobre reversibilidad e irreversibilidad en términos biofísicos y económicos.

### Factores físicos e hidrológicos del suelo

En el Cuadro 3 se presentan las propiedades físicas e hidrológicas de los suelos tropicales que son más susceptibles a cambio por acción del tiempo y del manejo de suelos y cultivos. El uso no adecuado e indiscriminado de implementos en suelos frágiles de áreas planas donde es posible hacer agricultura intensiva, trae como consecuencia la aceleración de los procesos de degradación y, por tanto, la baja sostenibilidad de los suelos y los sistemas de producción. En consecuencia, es necesario enfatizar en la necesidad de hacer investigaciones que conduzcan al desarrollo de metodologías no-destructivas para el manejo sostenible de los suelos.

### Factores químicos y de fertilidad

Los procesos químicos que afectan la sostenibilidad de los sistemas agrícolas incluyen la acidificación del suelo, la disminución de nutrimentos y la pérdida de la materia orgánica (M.O.) (Cuadro 4). La acidez del suelo está principalmente determinada por su composición mineralógica que, a su vez,

Cuadro 2. Escalas temporales para la evaluación de cambios en las propiedades y procesos inducidos por el manejo del suelo.

Propiedades y procesos	Escala temporal	Escala de sistemas
<b>Procesos en el suelo</b>		
Erosión	Entre 5 y 20	Ladera y cuenca
Compactación	Uno a varios ciclos	Parcelas de campo y fincas
Acidificación	Uno a varios ciclos	Asociación de suelos
Disminución de fertilidad	Entre 5 y 20 años	Asociación de suelos y fincas
<b>Propiedades del suelo</b>		
Físicas	Uno a varios ciclos	Asociación de suelos y fincas
Químicas	Uno a varios ciclos	Asociación de suelos y fincas
Biológicas	Uno a varios ciclos	Asociación de suelos y fincas

FUENTE: Lal (1994).

Cuadro 3. Propiedades físicas e hidrológicas, y procesos que afectan la calidad del suelo.

Propiedades del suelo	Procesos
Físicas	Degradación estructural y erosión
Textura	Compactación
Estabilidad de agregados	Encostramiento y sellamiento
Densidad aparente	Infiltración y lixiviación
Distribución de tamaño de poros	Escorrentía
Hidrológicas	
Conductividad hidráulica	
Retención de agua	
Velocidad de infiltración	

Cuadro 4. Propiedades químicas y nutricionales, y procesos que afectan la calidad del suelo.

Atributos químicos del suelo	Procesos
Suelos ácidos	Acidificación
pH	Meteorización mineral
Acidez total	Transformación de nutrientes
Al intercambiable	Mineralización de materia orgánica
	Patrones de absorción de las plantas (ácidos y alcalinos)
	Lixiviación
Requerimientos nutricionales	Disminución de nutrientes
C.I.C.	Exportación por los cultivos
Cationes intercambiables	Reciclado
Capacidad de adsorción de P	Fertilización
Disponibilidad de P y S	Mineralización
N, P y S orgánico e inorgánico	Lixiviación
	Fijación
Contenido de M.O.	Pérdida/retención de carbono
Contenido total de C orgánico	Mineralización/oxidación
'Pools' de C móvil y estable	Humidificación
	Estabilización/fijación

está relacionada con el grado de meteorización. Los suelos dominados por arcillas de baja actividad como la caolinita y por óxidos e hidróxidos de Fe y Al poseen baja capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) y, a menudo, están altamente saturados con Al intercambiable. La acidez del suelo puede ser aumentada por el uso de prácticas agrícolas. La preparación de suelos promueve la oxidación de la

M.O., proceso que va acompañado por la producción de iones hidrógeno. En forma similar, algunos fertilizantes —en particular aquellos que poseen N reducido— como la urea y el sulfato de amonio, generan iones hidrógeno durante el proceso de nitrificación. Los cultivos, como las leguminosas, que presentan patrones ácidos de absorción de nutrientes, también producen acidez.

En suelos altamente dominados por arcillas de baja actividad, la C.I.C. ocurre en superficies de carga variable. Consecuentemente, el mayor efecto resultante del incremento de la acidez en el suelo es la pérdida de la capacidad de retención de cationes. Bajo condiciones de lixiviación, los cationes liberados de la superficie de carga variable se mueven hacia abajo a través del perfil del suelo acompañados por aniones aplicados como fertilizantes ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ , principalmente) o producidos durante la mineralización de la M.O. Bajo tales condiciones, la aplicación de cal puede tener relativamente bajo valor residual, especialmente cuando está acompañada de altas dosis de fertilizantes.

Es fundamental conocer que, al menos en aquellas condiciones donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración, los sistemas de producción natural y agrícola promueven el incremento de la acidez con intensidades variables, sino se toman las medidas correctivas adecuadas. Consecuentemente, los sistemas agrícolas, especialmente los desarrollados en suelos altamente meteorizados y con débil capacidad buffer, requieren del monitoreo regular de la acidez. Como indicadores de acidez se incluyen las mediciones de pH, Al intercambiable y acidez total. Diferentes cultivos y pasturas tienen, a menudo, niveles variables de tolerancia a la acidez. Esto tiene dos consecuencias muy importantes: primero, para diferentes cultivos se requieren niveles distintos de aplicación de cal, y segundo, los sistemas de producción basados en bajos niveles de cal se verán necesariamente limitados a componentes que tengan niveles de tolerancia adecuados al nivel de acidez en el suelo.

Los suelos altamente meteorizados del ecosistema húmedo tropical de

América del Sur son bajos en nutrimentos totales y aprovechables. El mejoramiento de germoplasma basado en la tolerancia de los cultivos a la baja fertilidad en el suelo permite incrementar la explotación de tales suelos; sin embargo, para sostener una producción agrícola aceptable, son necesarias aplicaciones externas de enmiendas y fertilizantes. Sin estas aplicaciones, el germoplasma más adaptado conducirá el sistema a una mayor explotación del recurso base y a la disminución de los nutrimentos en el suelo.

Por otro lado, la habilidad de estos suelos para retener nutrimentos contra la lixiviación es muy baja, con excepción del P, debido a su baja C.I.C. Por tanto, la aplicación de nutrimentos debe ser manejada y balanceada en forma cuidadosa, de manera que una aplicación excesiva no ocasione índices de contaminación. Una nutrición de plantas balanceada exige que las relaciones entre los requerimientos de los cultivos, los niveles nutritivos en el suelo y la aplicación de fertilizantes sea bien definida. Usualmente, estas relaciones son específicas para cada localidad y cultivo; no obstante, si se definen con cierta amplitud para asociaciones de suelo y tipo de cultivo, pueden también conducir a un mejoramiento significativo en la eficiencia de uso de nutrimentos.

En suelos con baja reserva de nutrimentos minerales, las reservas orgánicas de P, N y S adquieren una marcada importancia. Los estudios sobre fraccionamiento de P muestran incrementos significativos en las reservas de este nutrimento en forma móvil, cuando se aplica en el suelo. Los análisis convencionales para fósforo no reflejan adecuadamente el estado de este nutrimento, ni el grado de reciclaje dentro del sistema. Se requiere, en consecuencia, desarrollar y evaluar nuevos indicadores que tomen en

consideración la dinámica de las reservas orgánicas de los nutrimentos.

Los procesos de pérdida y acumulación de M.O. son básicos para la sostenibilidad de los sistemas de producción agrícola de secano, ya que los compuestos orgánicos están estrechamente relacionados con factores de calidad del suelo —estructura, agua aprovechable, reciclado de nutrimentos y actividad biológica. Bajo condiciones de cultivo, el contenido de M.O. total disminuye. Los intentos por recuperar estas reducciones con altas aplicaciones de residuos de cultivos y otros tipos de biomasa orgánica han tenido poco éxito. Las fracciones activas o móviles de M.O. pueden ser indicadores más sensibles de la calidad del suelo, que el contenido total de M.O. Gijssman y Thomas (1995) encontraron una alta correlación entre estabilidad estructural y C orgánico soluble en un Oxisol de Colombia.

### Factores biológicos del suelo

En el Cuadro 5 se incluye el rol de la macrofauna y la microflora en el mantenimiento y mejoramiento de la calidad del suelo. La macrofauna está involucrada en el fraccionamiento e incorporación de los residuos orgánicos y en su conversión a M.O. Consecuentemente, su actividad tiene

influencia significativa en la estructura y en el reciclado de nutrimentos, y su dinámica y población son influenciadas fuertemente por las prácticas de manejo del suelo.

En observaciones en los Llanos Orientales de Colombia (Decaëns et al., 1994) encontraron que la macrofauna incrementa bajo pasturas mejoradas, mientras que en sistemas de cultivos anuales tiende a disminuir (Figura 6). El rol principal de la fauna en el suelo es el reciclado de nutrimentos y la dinámica del carbono (Cuadro 5). Los microbios son responsables de la mineralización y la inmovilización de nutrimentos en la M.O. Por consiguiente, estos atributos pueden servir como indicadores útiles del reciclado y la ‘salud’ del sistema.

## Estimación de la Sostenibilidad mediante Modelamiento

Como se indicó anteriormente, en la evaluación de sostenibilidad las observaciones de indicadores pueden requerir varios años para determinar cambios significativos en la calidad del suelo. Las observaciones sobre el efecto del manejo de los recursos son, a menudo, específicas de una localidad, lo cual hace difícil la extrapolación a otros sitios. Adicionalmente, por el

Cuadro 5. Atributos biológicos y bioquímicos y procesos en los que intervienen la macrofauna y la microflora del suelo.

Atributos biológicos y bioquímicos del suelo	Procesos
Macrofauna del suelo	Bioperturbación
Diversidad y población de especies	Formación de la estructura
Actividad de la macrofauna	Flujo de agua y lixiviación
	Incorporación de residuos orgánicos
Microflora y fauna	Reciclado de nutrimentos
Diversidad y actividad de <i>Rhizobium</i> spp.	Fijación biológica de N
Actividad microbial	Carbono orgánico (mineralización/oxidación)
Actividad de enzimas	Mineralización e inmovilización de nutrimentos



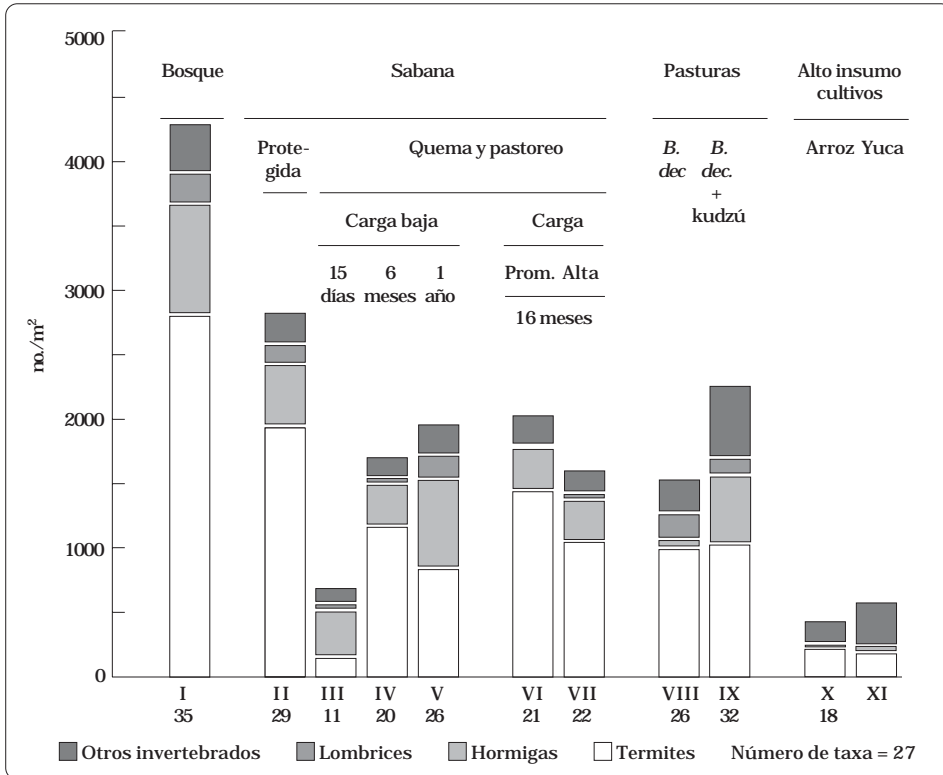


Figura 6. Distribución de la densidad y la biomasa de la macrofauna en suelos con sistemas de manejo diferentes en los Llanos Orientales de Colombia.

FUENTE: Decaëns et al. (1994).

costo de los experimentos a largo plazo para evaluar temas sobre sostenibilidad, no es posible incluir todas las opciones de manejo, pero sí es posible introducirlas en programas de modelamiento.

Los factores que determinan si un sistema agrícola es o no sostenible son numerosos, complejos e interactivos. Los modelos mecanísticos son una herramienta útil para integrar conocimientos en sistemas de producción, venciendo las limitaciones de escala y de especificidad de sitios. Estos modelos se enfocan en una caracterización cuantitativa y en el entendimiento de procesos que operan a varios niveles dentro de los sistemas de producción y en los efectos que el clima, las propiedades del suelo y las

prácticas de manejo tienen en ellos. Existen varios tipos de modelos o familias de ellos que simulan el crecimiento de cultivos o la función del ecosistema dentro de la relación suelo-agua-atmósfera. Estos modelos tienen diferentes atributos o enfoques, dependiendo del objetivo para el cual se apliquen.

La investigación en recursos naturales en el CIAT está enfocada en el uso de dos modelos como una base para integrar la investigación en el desarrollo de sistemas de producción sostenible para suelos tropicales ácidos de las tierras bajas. Estos modelos son CERES para producción de cultivos (Tsuji et al., 1994) y CENTURY para materia orgánica (Parton et al., 1987). El primero está agrupado dentro del

contexto de DSSAT y simula el crecimiento y desarrollo de un rango de cultivos importantes (cereales, leguminosas, raíces y tubérculos) bajo condiciones variables de clima y limitaciones de agua y nutrimentos —actualmente está limitado a N, pero iniciando se desarrolló para P— Estos modelos tienen la capacidad de secuencia para permitir la evaluación de efectos de varias estaciones. CENTURY está enfocado a la dinámica de los nutrimentos C, N, P y S y fue desarrollado originalmente para las grandes áreas de pasturas naturales en América del Norte. La evaluación de este modelo en el CIAT para los Oxisoles en las sabanas de América del Sur ha revelado varias debilidades debido a la baja disponibilidad de P en estos suelos (Gijsman et al., 1996).

El uso de modelos en la evaluación de sistemas sostenibles de manejo de tierras está limitado, entre otros factores, por una ausencia en conocimientos técnicos que no permite predecir los efectos en el largo plazo, ni la importancia de procesos sutiles. Además, existe un entendimiento incompleto de algunos procesos, su complejidad y sus interacciones, lo que conduce a una gran simplificación que puede resultar en conclusiones erróneas cuando se aplican a largo plazo. Los modelos son útiles para explorar los posibles efectos de nuevos métodos o alternativas de uso de tierras, explorando tendencias y comparando los efectos de estrategias alternativas.

## Referencias

Amézquita, E. 1974. Estudios hidrológicos y edafológicos para conservación de agua y suelos en Turrialba, Costa Rica. Tesis MSc. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura-Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (ICA-CATIE), Turrialba, Costa Rica. 221 p.

\_\_\_\_\_. 1981. A study of the water regime of a soil during approach to field capacity and wilting point. Tesis. Ph.D. University of Reading, Soil Sci. Dept. 224 p.

\_\_\_\_\_. 1989. Algunas consideraciones agroclimáticas y edáficas para maximizar la productividad en sistemas de producción agrícola. En: Seminario sobre Investigaciones en Sistemas de Producción. Instituto Colombiano Agropecuario, Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (ICA-CIID). Centro de Investigaciones ICA-Tibaitatá, Bogotá, Colombia. p. 72-89.

\_\_\_\_\_. 1991. Procesos dinámicos del suelo y nutrición vegetal. 21 Congreso Anual y Primer Simposio Nacional sobre Fisiología de la Nutrición Mineral. Febrero 20 a 22 de 1991. Comalí, Manizales, Colombia.

\_\_\_\_\_. 1994. Las propiedades físicas y el manejo productivo de los suelos. En: Fertilidad de suelos: Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, Colombia. p. 137-154.

Barber, S. A. 1984. Soil nutrient bioavailability; a mechanistic approach. John-Wiley, Nueva York. 398 p.

Decaëns, T.; Lavelle, P.; Jiménez Jaen, J. J.; Escobar, G.; y Rippstein, G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *Eur. J. Soil Biol.* 30:157-168.

Dumansky, J. 1993. Proceedings of the International Workshop on Sustainable Land Management for the 21st Century. Workshop Summary. Agricultural Institute of Canada, Ottawa, Canadá. vol. 1, p. 50.

Gautronneau, Y. y Manichon, H. 1987. Guide methodique du profil cultural. Geara-Ceref, Paris. 71 p.

- Gijsman, A. J.; Oberson, A.; Tiessen, H.; y Friesen, D. K. 1996. Limited applicability of the CENTURY model to highly weathered tropical soils. *Agron. J.* 88:894-903.
- \_\_\_\_\_ y Thomas, R. J. 1995. Aggregate size distribution and stability of an Oxisol under legume-based and pure grass pastures in the eastern Colombian savannas. *Aust. J. Soil Res.* 33:153-65.
- Greenland, D. J. 1979. Estructural organization of soil and crop production. En: Greenland, D. J. y Lal, R. (eds.). *Soil physical conditions and crop production in the tropics.* Chichester, Inglaterra. p. 45-57.
- Harrold, L. L.; Schwab, G. O.; y Bondurant. 1976. *Agricultural and forest Hydrology.* Ohio State Univ., University Bookstore. 273 p.
- Lal, R. 1994. *Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics.* SMSS Technical Monograph no. 21. Soil Management Support Services, Washington, D.C.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; y Oliceira, S. A., de. 1989. *Avaição do estado nutricional das plantas: Principios e aplicaciones.* Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato (Potafos), Piracicaba, Brasil.
- Ortotani, A. y Camargo, M. B. 1987. *Influencia do fatores climáticos na produção.* En: *Ecologia do produção agrícola.* Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. (Potafos), Brasil. 200 p.
- Parton, W. J.; Schimel, D. S.; Cole, C. V.; y Ojima, D. S. 1987. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:1173-1179.
- Reichert, K. 1985. *Procesos de transferencia no sistema solo-planta-atmósfera.* 4 ed. Fundação Cargill, Campinas, Brasil. p. 286.
- Tsuji, G. Y.; Uehara, G.; y Balas, S. (eds.). 1994. *DSSAT vol. 3.* University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning.* Handbook 537. USDA.

## **PARTE 2**

# **Aspectos Metodológicos de la Investigación Agropastoril**

## CAPITULO 5

# Planeación y Diseño de Ensayos Agropastoriles

M. C. Amézquita\*

## Contenido

Resumen	65
Abstract	66
Introducción	66
Beneficios de los sistemas agropastoriles	66
Ojetivos de la investigación en sistemas agropastoriles y necesidades metodológicas	67
Complejidad de la investigación	67
Fases de la Investigación	68
Planeación y Diseño	71
Hipótesis experimentales	71
Diseño experimental	72
Factores experimentales y tratamientos control	73
Variables de respuesta	74
Período experimental y frecuencia de evaluación	74
Recomendaciones	74
Referencias	76

## Resumen

La investigación en sistemas agropastoriles en las sabanas tropicales de América latina, a diferencia de la investigación en cultivos de ciclo corto, en pasturas o en suelos per se, presenta complejidades adicionales que exigen complementar y compatibilizar los resultados obtenidos mediante la

---

\* Jefe de la Unidad de Biometría del CIAT hasta junio 1998. Actualmente: Directora de Bio-Statistics Consulting (BSC Ltda.), Calle 6 # 127-85, Cali, Colombia.

investigación en componentes individuales como el suelo, uno o más cultivos, una o más pasturas y el hato ganadero. Es, por tanto, necesario profundizar en aspectos metodológicos de este tipo de investigación, con el fin de hacer comparables y extrapolables los resultados que se generen en Bolivia, Brasil, Colombia, Guyana y Venezuela, países que conforman la Red de Investigación Agropastoril para las Sabanas.

En este artículo se presentan aspectos metodológicos partiendo de las hipótesis de investigación relevantes para el ecosistema sabana tropical bien drenada. Se identifican las distintas fases de la investigación agropastoril y sus objetivos y se analizan aspectos relacionados con la planeación y diseño de los ensayos, entre ellos: hipótesis experimentales, factores experimentales, tratamientos control, tipo de diseño experimental, variables de respuesta y duración del período experimental. También se ofrecen conceptos y recomendaciones para la planeación y diseño de investigación en la Red Agropastoril.

## **Abstract**

Research on agropastoral systems in the Latin American savannas is more complex than single-component research, because it requires to be complemented and adjusted by research on various, individual, components such as soil, one or more short-cycle crops, one or more pastures, and the animal herd. Certain methodological aspects of agropastoral trials—research phases and objectives, and planning and design of experiments to be conducted in each phase—must therefore be studied in depth if results are to be comparable and extrapolative among the country members of the Agropastoral Research Network for the Savannas: Bolivia, Brazil, Colombia, Guyana, and Venezuela. This paper discusses some methodological aspects according to relevant hypotheses for research on the well-drained tropical savannas. Different phases of agropastoral research are identified, and the methodological aspects that should be considered when planning and designing trials are discussed. These aspects include hypotheses, experimental factors, control treatments, types of experimental design, response variables, and duration of experiment. Concepts and recommendations are offered for planning and designing different trials within the agropastoral network.

## **Introducción**

### ***Beneficios de los sistemas agropastoriles***

El potencial de los sistemas de pasturas y cultivos asociados, sistemas agropastoriles, para la explotación sostenible de los ecosistemas de sabana y márgenes de bosques tropicales ha sido reconocida por varios investigadores (Goodland, 1980; Toledo et al., 1989; Zeigler et al., 1989). Las investigaciones realizadas en Laos, sur

de Asia, en áreas de sabana tropical biestacional previamente sometidas a tala y quema del bosque (Shelton y Humphreys, 1972; Thomas y Humphreys, 1970) y las más recientes realizadas en los Cerrados del Brasil (Kluthcouski et al., 1991) y en las sabanas de Colombia (CIAT, 1994c; CIMMYT, 1994; Sanz et al., 1994a; 1994b; Vera et al., 1993) muestran que los sistemas de asociación y rotación de pasturas con cultivos ofrecen soluciones alternativas viables y económicamente atractivas frente a los problemas ocasionados por los sistemas

tradicionales de cultivo —altos costos de establecimiento de pasturas mejoradas, degradación de pasturas sometidas a pastoreo extensivo, y compactación y degradación del suelo causado por el monocultivo continuo.

La tecnología de sistemas agropastoriles ofrece como alternativas para la solución de los problemas antes mencionados: (1) el establecimiento de pasturas mejoradas asociadas con cultivos, mediante el uso de mínimos insumos que no demandan altas inversiones de capital; (2) la renovación de pasturas degradadas, mediante rotaciones o asociaciones con cultivos anuales; y (3) sistemas de rotación de pasturas con leguminosas de grano o cereales y de leguminosas forrajeras como abono verde para reducir el deterioro del suelo causado por el monocultivo permanente.

### ***Objetivos de la investigación en sistemas agropastoriles y necesidades metodológicas***

Zeigler et al. (1989) definen el objetivo de la investigación en sistemas agropastoriles para las sabanas tropicales de América Latina. Según estos autores, este tipo de investigación debe ensamblar germoplasma de pasturas y cultivos adaptados y productivos bajo condiciones de sabana, identificando y utilizando las opciones más apropiadas de manejo. En el sistema, el componente perenne debe contribuir al mejoramiento del suelo a largo plazo, y el componente anual debe asegurar el establecimiento rápido y económico de los componentes perennes, ofreciendo así alternativas atractivas para el productor. Este objetivo llegó a ser posible con el desarrollo de germoplasma de arroz, maíz y sorgo adaptado a los suelos ácidos e infértiles del ecosistema sabana [CIMMYT (1993); INTSORMIL (1993); Sarkarung y Zeigler (1989)], y con la disponibilidad, a partir de 1983,

de germoplasma de gramíneas y leguminosas forrajeras adaptadas a dicho ecosistema y desarrollado en los trabajos de la RIEPT (Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales) (Pizarro, 1992; 1982); Toledo et al., 1983).

### ***Complejidad de la investigación***

Es importante reconocer la complejidad de la investigación en sistemas agropastoriles. Esta se caracteriza por: (1) El estudio de componentes múltiples —suelo y su manejo, cultivo (opciones de germoplasma y prácticas de manejo que muestren efecto sinérgico y no-antagonístico con la pastura), la pastura (opciones y combinación de germoplasma, y manejo), el tipo y la condición de los animales, y el entorno socioeconómico del productor— los cuales se deben analizar tanto en forma independiente como en interacción con los demás componentes del sistema. (2) Su larga duración, ya que el objetivo es el aumento de la productividad de un sistema con un componente perenne (la pastura) y el mejoramiento del suelo a largo plazo. (3) La naturaleza multidisciplinaria que exige, entre otros, investigadores en suelos, cultivos, pasturas, animal y biometristas. Una integración multidisciplinaria entre todos los investigadores es esencial para el éxito del trabajo.

Es, por tanto, necesario profundizar en los aspectos metodológicos de los ensayos agropastoriles, incluyendo fases de la investigación y sus objetivos, y la planeación y diseño de los experimentos de cada fase. Lo anterior con el objeto de definir metodologías estándares que hagan comparables y extrapolables los resultados generados en los países que conforman la Red de Investigación Agropastoril para las Sabanas. El objetivo del presente

capítulo es analizar estos aspectos metodológicos y ofrecer recomendaciones para los participantes en esta Red.

## Fases de la Investigación

Las etapas de la investigación en sistemas agropastoriles se detallan a continuación. Estas se estructuran en varias fases que responden a las necesidades particulares de sus componentes, de la forma siguiente:

- Fase 1: Investigación en el componente planta (cultivo o pastura) e investigación en disciplinas, mediante ensayos en estación experimental. Incluye fases sucesivas sobre investigación en sistemas agropastoriles con o sin animales, en estación experimental o en fincas según el objetivo del ensayo.
- Fase 2: Establecimiento de pasturas con cultivos.
- Fase 3: Recuperación de pasturas con cultivos.
- Fase 4: Sistemas de rotación pasturas-cultivos.
- Fase 5: Ensayos de validación de tecnología en sistemas comerciales.

En el Cuadro 1 se resumen las principales diferencias y similitudes metodológicas entre la investigación por componentes y por disciplina (Fase 1) vs. investigación en sistemas agropastoriles (Fases 2 a 5).

La investigación en los componentes cultivo y pastura (componentes planta) tiene como objeto desarrollar materiales de cultivos de ciclo corto y pasturas adaptados a

suelos ácidos e identificar los promisorios para ensamblar sistemas de producción agropastoril en sabanas; estos sistemas pueden ser pasturas con cultivos, rotación pasturas-cultivos y monocultivo de corta duración.

La planeación, diseño e implementación de la investigación en el componente cultivo son etapas similares a las de la investigación tradicional en mejoramiento de cultivos de ciclo corto. No obstante, en ciertas etapas la evaluación de líneas promisorias se debe realizar en cultivos asociados con pasturas.

Un ejemplo es la estrategia del CIAT y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) en arroz de secano para sistemas agropastoriles en el ecosistema sabana bien drenada, la cual consiste en: (1) evaluación de progenitores potenciales en monocultivo y en asociación con pasturas; (2) manejo de todas las etapas de selección e identificación de líneas promisorias en condiciones de monocultivo; (3) evaluación de las líneas promisorias bajo asociación con pasturas, con el fin de identificar aquellas que no perjudican el desarrollo de la pastura y no disminuyen su propio rendimiento en asociación; y (4) identificación de prácticas de manejo del cultivo en la asociación que benefician a ambos componentes. La identificación de líneas promisorias como componentes de sistemas agropastoriles se realiza en ensayos sucesivos con diseños tradicionales —preliminar de rendimiento [diseño bloques completos al azar (BCA) con 20 a 40 líneas y tres repeticiones]; ensayo avanzado o regional (diseño en BCA con 5 a 10 líneas y tres repeticiones); y ensayos comerciales (diseño en BCA con 1 a 2 líneas y tres repeticiones). En estos ensayos, las líneas se evalúan en monocultivos y en asociación con pasturas en parcelas de 25 y 36 m<sup>2</sup>,



Cuadro 1. Características de la investigación por componentes y disciplinas vs. la investigación en sistemas agropastoriles.

Criterio	Investigación en el componente cultivo	Investigación por disciplinas	Investigación central en sistemas agropastoriles		
			Establecimiento y renovación de pasturas	Rotaciones pastura-cultivos	Validación de tecnología en sistemas comerciales de producción animal
1. Objetivo	Evaluar y seleccionar: 1. Líneas adaptadas, productivas y compatibles en asociación con pasturas 2. Prácticas de manejo del cultivo sinérgicas con la pastura	Evaluar e identificar las mejores prácticas de manejo de suelos, malezas y plagas que garanticen óptima productividad del cultivo y de la pastura y, a la vez, ayuden a la mejoría del recurso suelo a largo plazo	Evaluar y recomendar las mejores asociaciones en términos de su éxito en establecimiento/renovación de la pastura	Evaluar y recomendar sistemas alternativos que incorporen componentes que atenúen o corrijan la degradación del suelo y sean económicamente atractivos al productor	Exponer las mejores asociaciones y rotaciones a sistemas comerciales de producción animal
2. Lugar de implementación	Estación experimental	Estación experimental	Estación experimental o finca	Estación experimental o finca	Finca
3. Factores experimentales	Múltiples 1. Método de preparación de tierra 2. Tipo y dosis de fertilización aplicada al cultivo 3. Método de siembra del cultivo 4. Método de siembra de la pastura 5. Líneas o genotipos, entre otros	Múltiples Según la disciplina de investigación	Un solo factor: 'Tipo de asociación pastura-cultivo' + controles	2 ó 3 factores 1. Nivel de aplicación de Ca + control 2. Sistemas alternativos Monocultivo Rotación de cultivos Leguminosa como abono verde Control local 3. Duración del ciclo de rotación	Un solo factor Asociaciones o rotaciones (las mejores opciones) + el control local
4. Unidad experimental	Parcela pequeña - 20-25 m <sup>2</sup> (monocultivo) - 30-40 m <sup>2</sup> (asociación)	Parcela pequeña	Parcelas medianas (1-2 ha aprox.)	Parcelas grandes (10-20 ha)	Potreros grandes (20-30 ha), según sistemas de producción animal
5. Período experimental	Corto (1 ciclo del cultivo)		Mediana duración (entre 4 y 12 meses después de la cosecha del cultivo) para evaluar éxito, bajo pastoreo	Largo (3-5 años)	Largo (de 1-5 años, según el sistema de producción animal)

(Continúa)

Cuadro 1. (Continuación).

Criterio	Investigación en el componente cultivo	Investigación por disciplinas	Investigación central en sistemas agropastoriles		
			Establecimiento y renovación de pasturas	Rotaciones pastura-cultivos	Validación de tecnología en sistemas comerciales de producción animal
6. Diseño experimental	Investigación disciplinaria: Multifactoriales completos, incompletos o aumentados, y replicados en el espacio, en BCA, parcelas divididas, sub y sub-sub-divididas. Selección de variedades de cultivos: BCA y Diseños Resolubles en Bloques Incompletos (Látices, Diseños ALFA)		BCA o P. Divididas con 2-3 repeticiones y 3-3 asociaciones + control por repetición	BCA, con 2-3 repeticiones y 3-6 tratamientos por repetición	Diseños posiblemente no replicados dentro de la finca. Las fincas pueden representar repeticiones: un sistema agropastoril por finca
7. Variables de respuesta	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. De suelo: físicas, químicas</li> <li>2. Del cultivo: germinación, componentes de rendimiento, producción</li> <li>3. De la pastura: germinación, producción a través de varias edades de cultivo</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. De suelo: físicas, químicas</li> <li>2. Incidencia de plagas y enfermedades</li> <li>3. Incidencia de maleza según la disciplina</li> <li>4. Producción cultivo y pastura</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. De suelo: físicas, químicas a través del tiempo</li> <li>2. Producción final del cultivo</li> <li>3. Biomasa en oferta de la pastura al inicio y final del pastoreo</li> <li>4. Capacidad de carga, ganancia peso</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. De suelo: físicas, químicas a través del tiempo</li> <li>2. Producción final de cada cultivo, biomasa en oferta de la pastura, al inicio y final de cada ciclo</li> <li>3. Capacidad de carga del sistema en cada ciclo global</li> <li>4. Productividad total del sistema a través de ciclos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. De suelo: caracterización inicial y final</li> <li>2. Producción total de cada componente y del sistema integrado</li> <li>3. Rentabilidad al productor</li> </ol>

respectivamente, empleando como variedades testigo *Oryzica Sabana 6* y *Guaraní Sabana 10*, adaptadas a suelos ácidos.

Por otro parte, en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), el proceso de selección e identificación de materiales de maíz para suelos ácidos se realiza en condiciones de monocultivo. El producto final, por ejemplo, la actual variedad *Sikuani*, adaptada y productiva en suelos ácidos, se entrega como un componente para sistemas de investigación agropastoril (CIMMYT, 1994). En otra sección de este artículo se tratan en detalle otros diseños experimentales para el proceso de selección e identificación de líneas promisorias de cultivos.

La investigación en el componente pastura tiene como objetivo identificar gramíneas y leguminosas forrajeras y sus asociaciones promisorias para sistemas agropastoriles en el ecosistema sabana. La metodología experimental utilizada es la sugerida e implementada por la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) entre 1979 y 1994 en ensayos multilocacionales tipos A y B para especies solas (Toledo et al., 1983) y ensayos tipos C y D para especies solas o asociadas bajo condiciones de pastoreo (Paladines y Lascano, 1983; Pizarro, 1992). El potencial de producción de estas especies se ha medido en sistemas comerciales de carne y doble propósito de larga duración, en estación experimental o en fincas de productores, donde la parcela experimental corresponde a potreros desde 20 hasta 300 ha, con un período experimental variable entre 1 y 6 años (CIAT, 1991).

La investigación por disciplinas en patología, entomología, fisiología y malezas estudia los problemas específicos que afectan el cultivo y la pastura en sistemas asociados o en

rotación. La investigación en suelos tiene por objeto identificar las prácticas de labranza, fertilización y manejo que garanticen la sostenibilidad del sistema agropastoril a largo plazo.

La investigación básica en sistemas agropastoriles evalúa cultivos y pasturas en condiciones de asociación y rotación, y las mejores opciones de ellos como producto de la investigación por componentes. Para el efecto, se aplican técnicas mejoradas de manejo de suelos, plagas, malezas y épocas; y métodos de siembra del cultivo y la pastura recomendadas por la investigación disciplinaria. Su impacto socioeconómico puede ser evaluado mediante investigación complementaria antes y después de la adopción de la tecnología.

## Planeación y Diseño

### ***Hipótesis experimentales***

En la fase preliminar (Fase 1), las hipótesis obedecen a las necesidades específicas de la investigación por disciplina o del componente planta. La investigación en sistemas agropastoriles (Fases 2 a 5) está regida por seis hipótesis que aparecen en la literatura:

**Hipótesis 1:** El establecimiento de pasturas mejoradas, mediante su asociación con cultivos, es más eficiente en términos rapidez y costos, que el establecimiento tradicional de la pastura en monocultivo.

**Hipótesis 2:** Con el establecimiento de pasturas mejoradas conjuntamente con cultivos, el rendimiento de éste sólo se reduce levemente o no se afecta significativamente.

Hipótesis 3: En el sistema de siembra en asociación, la fertilización mínima requerida para el establecimiento del cultivo mejora la calidad del suelo, que persiste a largo plazo después de la cosecha.

Hipótesis 4: Una pastura puede ser renovada mediante la siembra de un cultivo anual. Se considera renovada cuando muestra una adecuada densidad de población y permite un nivel de pastoreo equivalente al buen establecimiento inicial.

Hipótesis 5: El establecimiento de pasturas mejoradas en áreas degradadas por el monocultivo continuo, mejora la calidad del suelo, a largo plazo, y permite su reutilización para la siembra de cultivos.

Hipótesis 6: Los sistemas alternativos al monocultivo continuo como la rotación de cultivos, las rotaciones pasturas-cultivos y el uso de leguminosas forrajeras o de grano como abono verde, corrigen los problemas de deterioro físico en el suelo, la invasión de malezas y el aumento de plagas, contribuyendo así a la sostenibilidad del sistema.

### **Diseño experimental**

Los ensayos agropastoriles de las distintas fases de investigación requieren diseños experimentales diferentes, que permitan responder sus hipótesis específicas.

La fase de investigación por disciplinas como suelos, patología, fisiología, malezas, se puede realizar mediante ensayos satélites de corta duración en parcelas pequeñas en estación experimental. En este caso se emplean diseños multifactoriales replicados, completos, incompletos, o aumentados, que permitan probar la significancia de los factores experimentales y sus interacciones. Los ensayos de fertilización representan un ejemplo típico del uso de diseños factoriales aumentados del tipo:  $N \times P \times K \times \dots$  + controles (positivo o negativo).

Para la evaluación, selección e identificación de líneas promisorias de cultivos de ciclo corto existen otros diseños experimentales, los cuales adecuadamente implementados en el campo, han demostrado ser más eficientes que el diseño de BCA tradicionalmente utilizado por los fitomejoradores. Se trata de la familia de Diseños Experimentales Resolubles en Bloques Incompletos ('Resolvable Incomplete Block Designs'). Los diseños en bloques incompletos son necesarios cuando el número de variedades a evaluar es mayor (12 o más) que el número que puede albergar un bloque homogéneo, lo cual es frecuente en este tipo de investigación, y se requiere que sean 'resolubles', es decir, que los bloques incompletos se puedan arreglar en repeticiones completas y que el número requerido de repeticiones sea pequeño (2, 3 ó 4). Los diseños en Bloques Incompletos Balanceados exigen un número muy alto de repeticiones, lo que los hace inmanejables.

A la familia de diseños 'resolubles' en bloques incompletos pertenecen los diseños en Látes Cuadrados de  $k^2$  que permiten probar  $v$  variedades en repeticiones completas de  $k$  bloques incompletos con  $k$  variedades cada uno; los Látes Rectangulares con  $v = k \times (k+1)$ ; y los Látes Cúbicos con  $v = k^3$ ,

mencionados por Cochran y Cox (1957). Pertenecen también a esta familia los diseños ALFA ('Alpha Designs'), desarrollados por Patterson y Williams (1976) y mencionados por Patterson et al. (1978), los cuales llenan muchos vacíos en las Tablas de Cochran y Cox, en relación con número de variedades a probar. Con estos diseños es posible evaluar, por ejemplo, números de variedades que no corresponden a un cuadrado perfecto, múltiplos de  $k \times (k+1)$ , o cubo perfecto (como lo exigen los diseños en Látxice). Se ha demostrado que cuando el número de variedades a probar  $v$  es un primo, el diseño ALFA es igual al Látxice, pero si  $v$  no es un primo, el diseño ALFA es menos eficiente que el Látxice (Verdooren, 1998).

En las fases de establecimiento de pasturas con cultivos, de renovación de pasturas con cultivos y de rotaciones pasturas-cultivos, con pocos y muy selectos sistemas de producción (2 ó 3 tratamientos), es recomendable el empleo de diseños sencillos. El diseño de BCA o el de Parcelas Divididas son útiles, si se prueba además otro factor, por ejemplo, un manejo específico para cada sistema y se desea comparar con el manejo local. Estos tratamientos se replican en varias fincas y se conciben para evaluar las respuestas de los componentes a largo plazo. Amézquita (1986) trata este tema aplicado a ensayos de evaluación de especies forrajeras en pastoreo. El tipo de diseño experimental per se no representa un reto en ensayos de comparación de sistemas agropastoriles. Sin embargo, debido a su naturaleza de largo plazo, existen aspectos importantes que se deben considerar en la planeación como la selección de los factores experimentales y sus niveles, la identificación de los tratamientos control más apropiados y la identificación de variables de respuesta relevantes y sus técnicas óptimas de medición.

### **Factores experimentales y tratamientos control**

Los factores experimentales seleccionados en cada fase de investigación deben ser relevantes al sistema de producción que se desea investigar. Los niveles deben representar opciones de manejo factibles, sin dejar de incluir la práctica de manejo tradicional del productor como tratamiento control.

En la Fase 1 se identifican los mejores materiales y las prácticas óptimas de manejo del suelo, del cultivo y de la pastura, las cuales se utilizarán en fases avanzadas. Los factores experimentales en esta fase son múltiples (Cuadro 1). Como ejemplo, se recomienda observar los Cuadros 5 y 6 del Capítulo 6 de este libro, que ilustran los factores que afectan significativamente el comportamiento del cultivo y de la pastura y su contribución a la varianza total de las variables analizadas, en un experimento de asociación de arroz de secano con pasturas. Este tipo de ensayos multifactoriales exploratorios ayuda a identificar factores relevantes y sus niveles óptimos para utilización en fases avanzadas de la investigación.

Una vez identificados en la Fase 1, los mejores materiales y prácticas de manejo del suelo, del cultivo y de la pastura, el tipo de asociación es el principal factor que se debe estudiar en las Fases 2 a 5. El sistema de producción tradicional se debe incluir siempre como tratamiento control. En ensayos de establecimiento de pasturas con cultivos, el control es el establecimiento tradicional. Así, en ensayos de renovación de pasturas degradadas, el control es la pastura sin renovar. En ensayos dirigidos a corregir problemas en el suelo causados por el monocultivo continuo o a estudiar el empleo de leguminosas forrajeras o de grano como abono verde, el control es el monocultivo continuo.

### **Variables de respuesta**

A través de las distintas fases de investigación agropastoril, el investigador mide la respuesta del suelo, del cultivo, de la pastura y del animal a distintas prácticas de manejo y bajo distintos sistemas de producción. En la Fase 1, el número de variables es mayor, ya que uno de los objetivos es identificar aquellas que mejor caracterizan las diferencias entre tipos de asociaciones. En las fases avanzadas se mide la productividad final de cada componente y del sistema total (Cuadro 1). En el Recuadro 1 se incluyen ejemplos de tipos de variables medidas en las fases iniciales.

### **Período experimental y frecuencia de evaluación**

La duración del período experimental depende de la fase de investigación (Cuadro 1). En ensayos de investigación en el componente, cultivo y disciplina, el período experimental es corto y por lo general cubre un ciclo del cultivo. En ensayos de establecimiento y renovación de pasturas con cultivos, el período experimental es de mediana duración y comprende desde la siembra de las asociaciones o del cultivo, en el caso de renovación de pasturas, hasta la cosecha o hasta un tiempo variable entre 4 y 12 meses después de la cosecha del cultivo (Sanz et al., 1994a; 1994b) cuando la pastura se considera establecida o renovada. En los ensayos multilocacionales dentro de la RIEPT, se considera el porcentaje de cobertura del suelo a las 12 semanas después de la siembra como el mejor indicador en el establecimiento de la pastura (Amézquita, 1986; Toledo et al., 1983). En ensayos de asociación de pasturas con cultivos, los análisis realizado por Amézquita et al. (Capítulo 6, este libro) confirman que esta edad es la más temprana para evaluar el éxito en el establecimiento de una pastura con arroz. En ensayos de renovación de

pasturas, es importante, además, reconocer cuándo se debe renovar la pastura, asegurando, a la vez, un buen rendimiento del cultivo; un criterio válido es el porcentaje de leguminosa en la pastura. Se ha reconocido que 20% es el mínimo contenido de leguminosa para garantizar la estabilidad de una pastura (CIAT, 1994a).

En ensayos de rotación pasturas-cultivos, que son por naturaleza de largo plazo, la duración total del período experimental y de cada ciclo en particular, merecen un estudio más detallado. Dependiendo de la pastura, del cultivo con el cual se asocie y de las características del suelo del sitio, se ha recomendado que un ensayo de rotación pasturas-cultivos tenga una duración de 3-5 años (CIAT, 1994b).

### **Recomendaciones**

Debido a la naturaleza de largo plazo de la investigación agropastoril, de sus componentes múltiples, y carácter multidisciplinario, que demanda un alto número de mediciones en el suelo, en el cultivo, en la pastura y en los animales, es importante distinguir claramente los objetivos, alcances y necesidades metodológicas de la fase de investigación por componentes y disciplinas vs. las fases de investigación en sistemas agropastoriles per se.

Los aspectos importantes que es necesario considerar en la planeación de ensayos de este tipo incluyen la definición clara del nivel de avance de la investigación (fase preliminar vs. fases avanzadas) y sus hipótesis experimentales; la selección apropiada de los factores experimentales y sus niveles; la identificación de los tratamientos control y la selección de variables de respuesta sensibles a diferencias entre los distintos sistemas bajo estudio.

Recuadro 1

**Variables medidas en las fases iniciales de ensayos en sistemas agropastoriles**

**De suelo**

- Físicas:
  - Textura (caracterización inicial)
  - Resistencia a la penetración (kg/cm<sup>2</sup>)
  - Humedad en el suelo (%) (gravimétrica, volumétrica)
  - Tasa de infiltración de agua (mm/h; cm/h)
  - Conductividad hidráulica (cm/h; mm/día)
  - Estabilidad agregados (%)
  - Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)
- Químicas: N, P, K, S, Mg, Ca, pH, MO, Al, Sat Al
- Biología: Potencial de N mineralizado, poblaciones de lombrices, infección de micorrhizas (CIAT, 1994b)

**Del cultivo**

- Establecimiento:
  - Germinación: Número de plantas/área a distintas edades después de la siembra
  - Area foliar (cm<sup>2</sup>/planta; m<sup>2</sup> de área foliar por m<sup>2</sup> de superficie cubierta)
  - Biomasa de la parte aérea (g/área)
  - Porcentaje de malezas
  - Componentes de rendimiento a distintas edades del cultivo
- Producción: Rendimiento a la cosecha (t/ha)

**De la pastura**

Se miden por componente y en la pastura total, las siguientes variables:

- Establecimiento:
  - Germinación: Número de plantas/área a distintas edades después de la siembra
  - Cobertura (%)
  - Area foliar (cm<sup>2</sup>/planta; m<sup>2</sup> de área foliar por m<sup>2</sup> de superficie cubierta)
  - Biomasa de la parte aérea (g/m<sup>2</sup>)
  - Biomasa de las raíces (g/m<sup>2</sup>)
  - Composición botánica de la pastura, incluyendo malezas
- Producción:
  - Forraje en oferta (MS total/área)
  - Potencial de carga animal o capacidad de carga

**De producción animal**

Dependiendo del sistema de producción animal que se está evaluando (levante, ceba, hatos de cría, doble propósito, lechería), las variables de respuesta incluyen:

- Carga animal/ha o presión de pastoreo
- Curvas peso de novillos jóvenes
- Ganancia de peso/animal y por hectárea
- Índices reproductivos
- Producción y calidad de leche, curvas de lactancia

Teniendo en cuenta las ventajas que representa la investigación en sistemas agropastoriles bajo el contexto de la Red de Investigación Agropastoril para las Sabanas, se recomienda:

1. Realizar la Fase 1, o de investigación por componentes y disciplinas, en ensayos satélites de corta duración, en estación experimental.
2. Realizar las Fases 2 a 5, o de investigación en sistemas agropastoriles, en estación experimental o en fincas de productores.
3. Definir los diferentes tipos de ensayos correspondientes a las Fases 2 a 5 de investigación en sistemas agropastoriles, según las necesidades en las diversas regiones en la Red, pero evitando duplicidad de esfuerzos y recursos.
4. Hasta donde sea posible, los experimentos agropastoriles con objetivos comunes deben utilizar diseños experimentales y metodologías de evaluación comparables.
5. Tratar de canalizar el flujo de información generado por la Red a través de un sistema ágil de comunicación, que permita analizar en forma integrada los resultados de las distintas fases de investigación y divulgarlos a los miembros de la Red.

## Referencias

Amézquita, M. C. 1986. Consideración sobre planeación, diseño y análisis de experimentos de pastoreo. En: Lascano, C. y Pizarro, E. (eds.). Evaluación de pasturas con animales. Alternativas metodológicas. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

- Cochran, W. G. y Cox, G. M. 1975. Experimental design. 2a. ed. John Wiley and Sons, Nueva York.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1991. Informes Anuales del Programa de Pastos Tropicales 1978-1991. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1994a. Annual Report. Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_. 1994b. Tropical Lowlands Program Annual Report. Cali, Colombia. p. 147-159.
- \_\_\_\_\_. 1994c. Informe Anual 1993B-1994A. Programa de Mejoramiento de Arroz para Suelos Acidos. Cali, Colombia.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1994. Annual Reports 1993 y 1994. México.
- Goodland, R. 1980. Environmental ranking of Amazonian development projects in Brazil. Environ. Conserv. 7:9-25.
- INSORTMIL (International Sorghum Millet). 1993. Informe Annual 1993.
- Kluthcouski, J.; Pacheco, A. R.; Teixeira, S. M.; y Oliveira, E. T. de. 1991. Renovação de pastagens de Cerrado com arroz: I. Sistema Barreirão. Documento no. 33. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAF), Goiânia, Goiás, Brasil. 20 p.
- Paladines, O. y Lascano, C. 1983. Recomendaciones para evaluar germoplasma bajo pastoreo en pequeñas parcelas. En: Paladines, O. y Lascano, C. (eds.). 1983. Germoplasma forrajero bajo pastoreo en pequeñas parcelas: Metodologías de evaluación. Memorias de una reunión de trabajo, Cali, Colombia. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 165-185.



- Patterson, H. D. y Williams, E. R. 1976. A new class of resolvable incomplete block designs. *Biometrika* 63(5):83-92.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; y Hunter, E. A. 1978. Block designs for variety trials. *J. Agric. Sci.* 90(5):395-400.
- Pizarro, E. 1982. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Resultados 1979-1982. Segunda Reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Septiembre 27-29. 460 p.
- \_\_\_\_\_. 1992. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Primera Reunión Sabanas. Brasilia, Brasil. Noviembre 23-26.
- Sanz, J. I.; Zeigler R. S.; Sarkarung, S.; Molina, D. L.; y Rivera, M. 1994a. Pasture establishment with rice. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; y \_\_\_\_\_. 1994b. Recuperation degrading pastures with rice and rice-pasture leys. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Sarkarung, S. y Zeigler, R. S. 1989. Developing rice varieties for sustainable cropping systems for high acid upland soils of Tropical America. En: *International Symposium on Rice Production on Acid Soils of the Tropics: Achievements and Challenges*. Kandi, Sri Lanka.
- Shelton, H. M. y Humhpreys, L. H. 1972. Pasture establishment upland rice crops at Na Pheng, Central Laos.
- Thomas, R. y Humphreys, L. R. 1970. Pasture improvement at Na Pheng, Central Laos. *Trop. Grassl.* 4(3):229-236.
- Toledo, J. M.; Seré, C.; y Loker, W. 1989. Pasture-crop technologies for acid soil savannas and rain forest of tropical America. En: *Agriculture Symposium: Innovation in Resource Management*. World Bank.
- \_\_\_\_\_; Amézquita, M. C.; y Pizarro, E. A. 1983. Análisis del comportamiento del germoplasma evaluado por la RIEPT en los ecosistemas de Sabana y Bosque Tropical. En: Pizarro, E. (ed.). *Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Resultados 1979-1982*. Septiembre 1983. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Vera, R.; Sanz, J. I.; Hoyos, P.; Molina, D. L.; Riveras, M.; y Moya, M. C. 1993. Pasture establishment and recuperation with undersown rice on the acid soil savannas of South America. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- \_\_\_\_\_; Seré, C.; y Tergas, L. E. 1986. Development of improved grazing systems in the savannas of tropical America. *Proceedings of the Second International Rangeland Congress*, Adelaide, Australia. p. 107-110.
- Verdooren, R. 1998. Application and analysis of Alpha Designs. Conference presented at World Resources Institute (WRI), 1985. *Tropical forests: A call for action. Part I. The Plan*. Washington, DC. 49 p.
- Zeigler, R. S. y Toledo, J. M. 1993. Developing sustainable agricultural production systems for the acid soil savannas of Latin America. En: Paoletti, M. G.; Napier, T.; Ferro, O.; Stinner, B.; y Stinner, D. (eds.). *Socio-economic and policy issues for sustainable farming systems*. Coop. Amicizia sre, Padova, Italia. p. 103-116.

## CAPITULO 6

# Análisis Estadístico de un Ensayo Exploratorio para la Toma de Decisiones Metodológicas

*M. C. Amézquita\**, *M. Chatel\*\**, *E. P. Guimarães\*\*\**,  
*Y. Ospina\*\** y *J. Silva\*\*\**

## Contenido

Resumen	78
Abstract	79
Introducción	79
El Ensayo y sus Objetivos Metodológicos	80
Análisis Estadístico	80
Resultados	82
Reducción de variables	82
Identificación de factores experimentales relevantes	85
Identificación de niveles óptimos de cada factor significativo	86
Edad mínima para evaluar el éxito en el establecimiento de la pastura	88
Recomendaciones	89
Conclusiones	89
Referencias	89

## Resumen

Un ensayo agropastoril exploratorio o preliminar juega un papel importante en la planeación e implementación de investigación más avanzada. El análisis de un ensayo exploratorio con objetivos metodológicos es de gran utilidad debido a la complejidad de la investigación agropastoril, caracterizada por sus múltiples componentes, que demandan técnicas y

\* Investigadora, Directora de Bio-Statistics Consulting (BSC Ltda.), Cali, Colombia.

\*\* Respectivamente: Investigador del Proyecto Arroz CIRAD/CIAT; Asistente del Proyecto Arroz, CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

\*\*\* Investigadores de Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, Brasil.

prácticas de manejo diferentes y que exigen evaluaciones a largo plazo con múltiples variables de respuesta en el suelo, el cultivo, la pastura y el animal. El presente capítulo ilustra cómo, a través del análisis estadístico de la información generada por un ensayo agropastoril exploratorio, multifactorial y de corta duración, se responden preguntas importantes que facilitan un uso más eficiente de recursos y tiempo en etapas más avanzadas de investigación. El análisis identifica un conjunto reducido de variables de respuesta del cultivo y de la pastura; y determina y prioriza los factores experimentales que afectan el desarrollo y productividad del cultivo y la pastura bajo asociación y los niveles óptimos de dichos factores para sugerir edades de evaluación apropiadas.

## Abstract

An agropastoral experiment is characteristically a complex of many components, each of which demands techniques and practices requiring different management, and long-term evaluations with many response variables involving the soil, crop, pasture, and animal. The statistical analysis of results from a multifactorial, short-term, exploratory (or preliminary) trial, established according to methodological objectives, will help answer important questions on the most efficient use of resources and time during the more advanced research stages. Such an analysis will identify a reduced group of response variables for the crop and pasture, identify and prioritize experimental factors that significantly affect the development and productivity of the crop/pasture association, and determine those factors' optimal levels, which would thus suggest the appropriate periods for evaluation.

## Introducción

El objetivo de la fase preliminar o exploratoria de la investigación en sistemas agropastoriles consiste en actuar como un filtro de la variabilidad externa de dichos sistemas, entregando como producto final un conjunto de recomendaciones para la planeación e implementación de fases de investigación más avanzadas. Estas recomendaciones se refieren a: (1) las prácticas de manejo más apropiadas para los cultivos y pasturas experimentales que se van a someter a fases más avanzadas de la investigación, tales como método de preparación de suelos, tipo y dosis de fertilización a aplicar en el momento de la siembra del cultivo, sistema y densidad de siembra del cultivo y de la pastura, entre otros; (2) identificación de un conjunto mínimo de variables de respuesta a medir, tanto en el cultivo como en la pastura, que sean

suficientes para evaluar el efecto de los factores experimentales e idealmente no correlacionadas entre sí; (3) identificación de las épocas y edades más apropiadas de evaluación del sistema agropastoril, que permitan al cultivo y a la pastura expresar en forma óptima las diferencias entre tratamientos; y (4) recomendaciones sobre las técnicas más apropiadas para la medición de las diversas variables de suelo, del cultivo, de la pastura y del animal.

El objetivo de este capítulo es ilustrar, a través del análisis de un ensayo exploratorio, el tipo de preguntas metodológicas que puede responder este tipo de investigación. Se utiliza como estudio de caso un ensayo multifactorial de asociaciones arroz-pasturas, conducido en la estación experimental La Libertad, en el departamento del Meta, Llanos Orientales de Colombia.

## El Ensayo y sus Objetivos Metodológicos

En este experimento agropastoril se busca:

1. Identificar un conjunto reducido y mínimo de variables de respuesta del cultivo y de la pastura, que permita cuantificar el efecto de los distintos factores experimentales sobre el comportamiento agronómico y productivo de los sistemas agropastoriles de interés.
2. Evaluar el efecto de los distintos factores experimentales sobre el desarrollo y la productividad del cultivo y de la pastura. En particular, se desea evaluar el efecto de la técnica de preparación del suelo; del método de aplicación de la fertilización; de la densidad de siembra del arroz, del método de siembra de la pastura y de líneas de arroz, seleccionadas como producto de la investigación realizada por Fischer et al. (1995).
3. Estudiar el efecto de los varios factores experimentales sobre la compactación del suelo.
4. Identificar los niveles óptimos de cada factor experimental para uso en etapas más avanzadas de la investigación.
5. Identificar las edades de evaluación más sensibles a las diferencias entre tratamientos.

El experimento se llevó a cabo entre mayo y diciembre de 1994, en la estación experimental La Libertad, en el departamento del Meta, Llanos Orientales de Colombia, zona representativa del ecosistema de sabana bien drenada. Se inició con la siembra simultánea del arroz y la pastura y se concluyó 215 días después de la siembra.

El diseño experimental utilizado es de parcelas sub-subdivididas con dos repeticiones, representadas por los dos sistemas de preparación previa del suelo —2 años antes de iniciado el experimento, utilizando arado de cincel o de vertedera. Las parcelas principales corresponden a las seis combinaciones del factorial (3 x 2) de preparación de la tierra a la siembra (cincel, vertedera, rastra) por el método de aplicación del fertilizante (en el surco o a voleo). La subparcela la representan las seis distintas asociaciones, formando un factorial aumentado (2 x 2) + 2, con dos densidades de siembra de arroz (17 y 34 cm) por dos sistemas de siembra de la pastura (en el surco y a voleo), más los dos tratamientos control (el monocultivo de arroz y el monocultivo de pastura), establecidos bajo el sistema de siembra tradicional. Las sub-subparcelas corresponden a tres líneas de arroz. El número total de tratamientos por repetición es de 108, para un total de 216 parcelas experimentales.

### Análisis Estadístico

Para cumplir con los objetivos metodológicos del ensayo, en el análisis estadístico se siguieron los pasos siguientes:

1. Reducción del número de variables de respuesta a un conjunto menor de variables no-correlacionadas y sensibles a las diferencias entre tratamientos.

Se utilizó para este fin el Análisis de Componentes Principales (CP), inicialmente desarrollado por Pearson (1901) y ampliado luego por Hotelling (1933). Este método estadístico es una técnica multivariada que examina las relaciones existentes entre un conjunto de variables

cuantitativas, detecta correlación entre las mismas y sirve para reducir el conjunto inicial a un conjunto menor no-correlacionado. Partiendo de un conjunto de  $n$  variables originales, calcula  $n$  nuevas variables, independientes entre sí, llamadas componentes principales; cada una de ellas corresponde a una combinación lineal de las variables originales. El conjunto completo de las  $n$  componentes principales explica el 100% de la varianza existente entre las variables originales. Para efectos de reducción, este método organiza estas  $n$  componentes principales en forma decreciente según su varianza, de tal manera que la primera de ellas tiene la mayor varianza entre todas, es decir, explica el mayor porcentaje de la varianza existente entre las variables originales; la segunda explica el segundo porcentaje de varianza, y así sucesivamente. El último componente principal explica el menor porcentaje de varianza. El usuario de esta técnica generalmente selecciona en forma subjetiva un número reducido de componentes principales (por ej., las primeras 2, 3 ó 4), de tal manera que la suma de sus varianzas sea aceptablemente alta. En muchos casos, las primeras 2 ó 3 explican un alto porcentaje de la varianza total entre las variables originales.

2. Partiendo de los resultados del Análisis de Componentes Principales, se utilizó un conjunto reducido de variables de respuesta, tanto del cultivo como de la pastura, representativas de cada una de los componentes principales seleccionados, para identificar los factores experimentales que mostraban un efecto significativo

( $p < 0.05$ ) sobre el desarrollo y productividad del cultivo y de la pastura en asociación, así como sobre la compactación del suelo. Las variables de respuesta seleccionadas fueron aquellas que mostraron el mayor coeficiente en el componente principal respectivo. Se realizaron análisis de varianza (ANOVAS) sobre cada variable de respuesta seleccionada con el fin de estudiar la significancia del efecto de cada factor experimental. Como criterio de priorización de los factores significativos, se utilizó el porcentaje de varianza explicado por cada factor —resultante del ANOVA— expresado como:  $CM \text{ factor} / CM \text{ error} \times 100$ .

3. Identificación de los niveles óptimos de cada factor experimental para utilización en fases más avanzadas de la investigación agropastoril. Para aquellos factores significativos se identificó como nivel óptimo aquel que maximizara la productividad de la asociación y que mostrara los mejores efectos en las condiciones del suelo.
4. Identificación de las edades para evaluación del cultivo y de la pastura en asociación y de criterios relevantes para cuantificar el éxito en el establecimiento de una pastura con cultivos.

El modelo utilizado para el análisis de varianza obedece al diseño experimental del ensayo y se presenta en el Cuadro 1. Para realizar las pruebas de hipótesis sobre los factores densidad de siembra del arroz, método de siembra de la pastura y su interacción, se descompuso el efecto de asociación en contrastes ortogonales que permiten probar estos efectos, y además comparar los monocultivos (de arroz y de pastura) vs. el grupo de asociaciones arroz-pasturas.

Cuadro 1. Modelo utilizado en el análisis de varianza. Ensayo tipo, estación experimental La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Fuentes de variación		gl
Repetición (preparación previa del suelo)	—	1
Parcela principal	—	5
Preparación posterior del suelo	2	—
Sistema de fertilización	1	—
Preparación posterior x sistema de fertilización	2	—
E(A) = Repetición x parcela principal	—	5
Subparcela: Asociación	—	5
Monocultivo arroz vs. asociaciones	1	—
Monocultivo pastura vs. asociaciones	1	—
Densidad de siembra del arroz	1	—
Sistema de siembra de la pastura	1	—
Densidad x sistema de siembra	1	—
Subparcela x parcela principal	—	25
E(B) = Repetición x sub-parcela (parcela principal)	—	30
Línea de arroz	—	2
Línea x parcela principal	—	10
Línea x subparcela	—	10
Línea x parcela principal x subparcela	—	50
E(C) = Residuo	—	72
Total	—	215

## Resultados

### Reducción de variables

Se realizaron análisis de componentes principales sobre las variables de respuesta del arroz, independientes para cada edad de evaluación: a los 30, 60 y 90 días después de la siembra (dds) y a la cosecha del arroz (120 dds). Igualmente se realizaron análisis de dichos componentes independientes para las variables de respuesta de la pastura para cada edad de evaluación: a los 60 y 90 dds, a la cosecha del arroz (120 dds), y a los 45 y 95 días poscosecha. Los resultados aparecen en los Cuadros 2 a 4.

En el Cuadro 2 se muestra que el análisis de componentes principales realizado sobre las variables de respuesta del arroz a los 30 y 60 dds,

permitió, en cada caso, reducir las seis variables originales a dos componentes principales, que en conjunto explican el 80% de la varianza total existente entre las variables originales para la edad de 30 dds y el 75% de la varianza total para la edad de 60 dds. En forma similar, el análisis del mismo tipo efectuado sobre las variables evaluadas a 90 dds permitió reducir las seis variables a tres componentes principales, que en conjunto explican el 81% de la varianza total.

Cuando se interpretan los coeficientes de cada componente principal (Cuadro 2), se observa que los resultados son muy consistentes entre las tres edades, es decir, las seis variables originales se pueden reducir a dos componentes principales (CP1 y CP2) de igual interpretación, en las edades de 30 y 60 días, y a tres (CP1, CP2 y CP3) en la edad de 90 días, con

Cuadro 2. Reducción de las variables del cultivo en la etapa de precosecha. Análisis de Componentes Principales (CP)<sup>a</sup>. Ensayo tipo, estación experimental La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Variable de respuesta	30 dds <sup>b</sup>		60 dds <sup>b</sup>		90 dds <sup>b</sup>		
	CP1 (44%)	CP2 (36%)	CP1 (46%)	CP2 (29%)	CP1 (34%)	CP2 (33%)	CP3 (14%)
	Coeficientes						
Número de plantas/2 m	0.14	0.61	0.13	0.62	0.59	-0.22	0.20
Número de macollas/2 m	0.31	0.53	0.33	0.58	0.66	-0.05	0.06
Área foliar total/10 plantas (cm <sup>2</sup> )	0.48	-0.20	0.43	-0.33	0.14	0.59	-0.26
Peso húmedo total (g/2 m)	0.43	0.34	0.42	0.24	0.42	0.38	0.01
Peso seco total (g/10 plantas)	0.47	-0.31	0.49	-0.26	-0.15	0.38	0.91
Peso seco hojas (g/10 plantas)	0.50	-0.30	0.52	-0.21	-0.04	0.56	-0.26
Varianza total explicada	80%		75%		81%		

a. CP1, CP2 y CP3 identifican los primeros dos o tres componentes principales resultantes de los análisis por edad. Para 30 y 60 dds: CP1 = biomasa y CP2 = germinación; para 90 dds: CP1 = germinación, CP2 = área foliar y CP3 = biomasa.

b. dds = después de la siembra.

interpretación similar a los resultantes en edades de 30 y 60 dds. En el caso de 30 dds, CP1 se interpretó como *biomasa*, según las magnitudes de sus coeficientes, por estar caracterizado por altos pesos para las variables peso seco de hojas (con peso de 0.50), área foliar total (0.48), peso seco total (0.47) y peso húmedo total (0.43). El CP2 se interpretó como *germinación*, por estar caracterizado por un alto peso de 0.61 para la variable número de plantas. En el análisis a la edad de 60 dds, los dos componentes principales resultantes se interpretan en forma similar. El análisis realizado a la edad de 90 dds permitió reducir las seis variables originales a tres componentes principales: CP1 interpretado como *germinación*, CP2 como *área foliar* y CP3 como *biomasa*.

Estos resultados sugieren la existencia de correlación entre las variables de respuesta del arroz, medidas en la etapa de precosecha a los 30, 60 y 90 dds, y que es posible limitarse a las mencionadas

anteriormente: capacidad de germinación, capacidad de producción de biomasa y área foliar, evaluadas en una sola edad. La edad más adecuada para la evaluación en el cultivo de arroz en la etapa de precosecha sería la más tardía, es decir, 90 días.

En la época de cosecha (Cuadro 3), las seis variables de respuesta del arroz se pueden reducir a dos componentes principales (CP1, interpretado como componentes de *rendimiento* y CP2, interpretado como *rendimiento final*), los cuales explican el 78% de la varianza presente entre las variables originales.

En el Cuadro 4 también se presenta la reducción de las siete variables de respuesta de la pastura a dos componentes principales en las edades de 60 y 90 dds (CP1 interpretado como *biomasa* y CP2 como *germinación*) y a tres componentes principales en la etapa de poscosecha del arroz (CP1 interpretado como *biomasa a la cosecha*, CP2 como *área*

Cuadro 3. Reducción de las variables del cultivo a la cosecha. Análisis de Componentes Principales (CP)<sup>a</sup>. Ensayo tipo, estación experimental La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Variable de respuesta	CP1 (60%)	CP2 (18%)
	Coeficientes	
Número de panículas	0.44	0.08
Longitud de panícula (cm)	0.41	-0.45
Número de granos llenos/10 panículas	0.43	-0.39
Peso de grano (g/2 m)	0.47	0.17
Peso de la materia seca (g/2 m)	0.44	0.22
Rendimiento (t/ha)	0.19	0.75
Varianza total explicada	78%	

a. CP1, CP2 identifican los primeros dos componentes principales resultantes de los análisis por edad. (Componente de rendimiento y rendimiento final.)

Cuadro 4. Reducción de las variables de la pastura. Análisis de Componentes Principales (CP). Ensayo tipo, estación experimental La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Variable de respuesta	60 días <sup>a</sup>		90 días <sup>a</sup>		A la cosecha y posterior (45 y 95 ddc <sup>b</sup> )		
	CP1 (69%)	CP2 (19%)	CP1 (63%)	CP2 (21%)	CP1 (43%)	CP2 (25%)	CP3 (20%)
	Coeficientes						
Número de plantas/2 m	0.17	0.96	-0.06	0.97	—	—	—
Area foliar/10 plantas (cm <sup>2</sup> )	0.46	-0.28	0.47	-0.16	0.32	0.69	-0.09
Peso húmedo (g/2 m)	0.50	-0.01	0.51	-0.02	—	—	—
Materia seca total (g/10 plantas)	0.51	-0.09	0.50	0.16	0.63	-0.16	0.04
Material seca de hojas (g/10 plantas)	0.49	0.02	0.50	0.13	0.63	-0.15	-0.15
Materia seca total del rebrote, 45 ddc (g/0.5 m <sup>2</sup> )	—	—	—	—	-0.27	-0.35	0.78
Materia seca total del rebrote, 95 ddc (g/0.5 m <sup>2</sup> )	—	—	—	—	-0.20	0.59	0.60
Varianza total explicada	88%		84%		88%		

a. Días después de la siembra simultánea del arroz con la pastura.

b. ddc = días después de la cosecha del arroz. Para 60 y 90 dds: CP1 = biomasa y CP2 = germinación. Para 90 dds: CP1 = biomasa, CP2 = área foliar a cosecha y CP3 = biomasa a cosecha.

foliar a la cosecha y CP3 como biomasa poscosecha). Los resultados son muy similares a los del Cuadro 2. Es decir, tanto para la pastura como para el cultivo, las variables importantes a evaluar son la capacidad de

germinación, la capacidad de producción y el área foliar.

Los resultados en los Cuadros 2 y 4 sugieren que en la etapa de precosecha es suficiente una sola edad de



evaluación, tanto para el cultivo como para la pastura. Para evaluar tanto el arroz como la pastura, la edad adecuada sería a los 90 días. En forma similar, una sola edad de evaluación de la pastura es suficiente en la etapa de poscosecha.

### **Identificación de factores experimentales relevantes**

En el Cuadro 5 se incluyen los factores que afectaron significativamente el comportamiento del cultivo. Estos son, en orden de magnitud del porcentaje de varianza total explicada por cada factor, los siguientes:

1. Tipo de asociación arroz-pasturas. Explica entre 8.8% y 51% de la varianza total de las distintas variables de respuesta.
2. Preparación previa del suelo. Explica entre el 2.4% y 19.5% de la varianza total.

3. Línea de arroz. Explica entre el 1.6% y 8.6% de la varianza total; y
4. Preparación posterior del suelo. Afectó únicamente al área foliar.

En el caso de la pastura, los factores que influyeron significativamente en su comportamiento fueron menores (Cuadro 6), siendo el principal el tipo de asociación, que explica entre 5.4% y 57.9% de la varianza total entre las distintas variables de respuesta. El método de preparación del suelo parece afectar únicamente la respuesta de la pastura a partir de la cosecha de arroz. La línea de arroz utilizada afecta muy poco la respuesta de la pastura.

Los factores experimentales no mostraron efecto significativo sobre la compactación superficial del suelo, medida como resistencia a la penetración (kg/cm<sup>2</sup>) entre 0 y 60 cm de profundidad.

Cuadro 5. Factores que afectan el comportamiento del cultivo de arroz. Ensayo tipo, estación experimental La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Factor	30 días		60 días		90 días		120 días
	NP <sup>a</sup>	PSHt <sup>a</sup>	NP	PSt <sup>a</sup>	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	PSt	Rend. (t/ha)
Porcentaje de varianza total explicada <sup>b</sup> y nivel de significancia <sup>c</sup>							
Preparación del suelo							
Previa	2.4 <sup>*</sup>	ns	13.6 <sup>*</sup>	19.5 <sup>*</sup>	19 <sup>*</sup>	ns	ns
Posterior	ns	ns	ns	ns	30.8	ns	ns
Asociación	51 <sup>**</sup>	ns	12.1 <sup>**</sup>	ns	ns	8.8	40.3 <sup>*</sup>
Densidad de siembra de arroz	40.6 <sup>**</sup>	ns	11.8 <sup>**</sup>	ns	ns	ns	5.2
Sistema de siembra de la pastura	ns	ns	ns	ns	ns	5.3 <sup>**</sup>	ns
Línea de arroz	1.6 <sup>*</sup>	3.5 <sup>*</sup>	8.6	3.6 <sup>*</sup>	6.3 <sup>*</sup>	ns	3.8 <sup>**</sup>
Interacciones	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Media general	109	1.6	58	16	247	18	2.34
D.E.	18	0.3	13	3	127	4	0.43
C.V. (%)	16.1	20	23.1	20.2	46.4	22.9	18.3

a. NP = plantas (no./m); PSHt = peso total hoja; PSt = peso seco total (g/10 plantas).

b. C. = 100 x SC (factor) Sc (total).

c. ns = no significativo; \* = p < 0.05; \*\* = p < 0.01.

Cuadro 6. Factores experimentales que afectan la pastura. Ensayo tipo, estación experimental La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Factor	60 días		90 días		120 días		45 días	
	NP <sup>a</sup>	PSt <sup>a</sup>	NP	MSt	NP	PSt	NP	PSt
	Porcentaje de varianza total explicada <sup>b</sup> y nivel de significancia <sup>c</sup>							
Preparación del suelo								
Previa	ns	ns	ns	ns	ns	21.2	4.0 <sup>**</sup>	
Posterior	ns	ns	ns	ns	ns	4.3	5.1	
Asociación	14.3 <sup>**</sup>	24.4 <sup>**</sup>	18.5 <sup>**</sup>	ns	ns	5.4	57.9 <sup>**</sup>	
Densidad de siembra de arroz	12.9 <sup>**</sup>	2.6 <sup>*</sup>	13.9 <sup>**</sup>	ns	ns	ns	ns	
Sistema de siembra de la pastura	ns	21.2 <sup>**</sup>	4.4 <sup>*</sup>	ns	ns	4.2	57.8 <sup>**</sup>	
Línea de arroz	ns	4.5	ns	ns	ns	ns	ns	
Interacciones	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	
Media general	4.5	5.3	3.2	13.8	1297	19	496	
D.E.	2.3	1.9	1.8	5.5	410	8.4	48	
C.V. (%)	57.6	35.9	54.4	39.7	31.6	44.3	9.7	

a. NP = plantas (no./2 m); PSt = peso seco total (g/10 plantas).

b. C. = 100 x SC (factor) / Sc (total).

c. ns = no significativo; \* =  $p < 0.05$ ; \*\* =  $p < 0.01$ .

### **Identificación de niveles óptimos de cada factor significativo**

En los Cuadros 5 y 6 se muestra que la densidad de siembra del arroz afecta significativamente la capacidad de germinación del arroz, siendo la mejor densidad 34 cm entre surcos, pero no afecta su rendimiento final. En forma similar, este factor afecta el comportamiento de la pastura sólo al inicio del establecimiento (60 dds), pero no en edades posteriores (Cuadro 5).

El método de siembra de la pastura (a voleo o en el surcos) sí afecta la respuesta de la pastura en términos de su producción de materia seca total en todas las edades, siendo el método de siembra en el surco el que dio los mejores resultados. Sin embargo, el sistema de siembra de la pastura a voleo es el que más beneficia al cultivo de arroz. Este es un ejemplo de efecto inverso de un factor experimental. El mejor método de siembra de la pastura

es, en consecuencia, aquel que maximiza la productividad del sistema a largo plazo, es decir, el que muestra un mayor beneficio sobre el componente perenne.

Estos resultados sugieren que las mejores prácticas de manejo consisten en sembrar el arroz a una densidad de 34 cm entre surcos y la pastura en el surco (Cuadro 7).

Para los métodos de preparación del suelo, los datos en el Cuadro 8 sugieren que la mejor práctica es usar vertedera en la preparación previa y rastra en la preparación posterior, ya que estas prácticas benefician el comportamiento de la pastura, sin mostrar efecto significativo sobre el rendimiento final de arroz.

Las mejores líneas de arroz fueron la Oryzica Sabana 6 y Línea 4 (Cuadro 9), ya que maximizan la producción del cultivo, sin afectar la respuesta de la pastura.

Cuadro 7. Asociaciones promisorias en el ensayo tipo, estación experimental La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Asociación	Respuesta del cultivo de arroz <sup>a</sup>			Respuesta de la pastura <sup>a</sup>			
	NP 90 días	PSt 90 días	Rendimiento 120 días (t/ha)	NP 90 días	PSt 90 días	PSt 120 días	PSt 95 días rebrote
Arroz monocultivo	50.2 b <sup>*</sup>	18.8 a	3.0 a	—	—	—	719.4 b
Gramínea sola	—	—	—	—	—	—	1493.5 a
Asociaciones							
Arroz 17 cm + pasto a voleo	46.3 b	19.2 a	2.3 b	2.1 c	11.7 a	15.7 b	615.3 b
Arroz 34 cm + pasto a voleo	63.3 a	18.0 a	2.2 b	3.5 b	12.7 a	18.5 ab	609.7 b
Arroz 17 cm + pasto en surco	45.5 b	17.1 ab	2.3 b	2.8 bc	16.4 a	20.6 a	691.8 b
Arroz 34 cm + pasto en surco	63.0 a	15.3 b	1.9 c	4.5 a	14.4 a	21.3 a	620.4 b

a. NP = número de plantas/2 m; PSt = peso seco total (g/10 plantas); MSt = materia seca total (g/10 plantas).  
\* = P < 0.05.

Cuadro 8. Niveles óptimos para preparación del suelo. Ensayo tipo, estación experimental La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Tipo de preparación del suelo	Respuesta del cultivo de arroz <sup>a</sup>			Respuesta de la pastura <sup>a</sup>	
	Area foliar a 90 días (cm <sup>2</sup> )	PSt a 90 días (g/10 plantas)	Rendimiento (t/ha)	PSt a 90 días (g/10 plantas)	PSt rebrote de 45 días (g/0.5 m <sup>2</sup> )
Previa		ns	ns		
Cinzel	360 a <sup>*</sup>			15 b	477 b
Vertedera	187 b			23 a	515 a
Posterior		ns	ns		
Cinzel	235 ab			18 b	495 ab
Vertedera	425 a			19 b	470 b
Rastra	161 b			22 a	523 a

a. PSt = peso seco total.

Cuadro 9. Mejores líneas de arroz en el ensayo tipo, estación experimental La Libertad, Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Línea	Respuesta del arroz <sup>a</sup>			Respuesta de la pastura <sup>a</sup>			
	NP 90 días	PSt 90 días	Rendimiento 120 días (t/ha)	NP 90 días	MSt 90 días	MSt 120 días	MSt rebrote 45 ddc <sup>b</sup>
Oryzica Sabana-6	53.2 ab	17.0 a	2.5 a	3.3	13.2	18.8	495.2
Línea 4	56.9 a	18.9 a	2.3 a	3.0	14.7	19.7	505.7
Línea 2	50.9 b	18.0 a	2.2 b	3.4	13.7	18.5	487.0

a. NP = número de plantas/2 m; PSt = peso seco total (g/10 plantas); MSt = materia seca total (g/10 plantas).  
b. ddc = días después de la cosecha del arroz.

### **Edad mínima para evaluar el éxito en el establecimiento de la pastura**

En las fases preliminares de establecimiento de pasturas con cultivos y de renovación de éstas con cultivos, el periodo experimental mínimo requerido comprende, desde la siembra de las asociaciones o del cultivo en el caso de renovación de pasturas, hasta la cosecha del cultivo o un tiempo después de ésta, cuando la pastura se considera establecida o renovada.

En ensayos multilocacionales para evaluación de gramíneas y leguminosas forrajeras en monocultivo, se considera como el mejor indicador del éxito en el establecimiento el porcentaje de cobertura del suelo a las 12 semanas después de la siembra (Amézquita et al., 1989; Toledo et al., 1983). Para ensayos de asociación de pasturas con cultivos es importante confirmar si esta edad de evaluación es apropiada. Es, por tanto, necesario identificar las variables de respuesta y edad de evaluación más temprana que permitan cuantificar el éxito en el

establecimiento o renovación de una pastura.

La edad más temprana para evaluar el establecimiento de una pastura es aquella a partir de la cual existe correlación significativa entre los distintos indicadores de establecimiento. Tomando en cuenta los resultados obtenidos del Análisis de Componentes Principales sobre las variables de respuesta de la pastura (Cuadro 3), se utilizaron como indicadores de establecimiento de la pastura: germinación (número de plantas/2 m) y producción de biomasa (MS total en g/10 plantas), 60 y 90 dds del arroz.

En el Cuadro 10 se incluyen las correlaciones entre germinación inicial de la pastura a 60 dds y la producción de biomasa a distintas edades, así como entre los distintos datos de producción de biomasa de la pastura asociada a través del tiempo. Estos resultados sugieren que la edad más temprana para evaluar el éxito en el establecimiento de la pastura es a los 90 dds, mediante la producción de biomasa.

Cuadro 10. Correlación entre indicadores de establecimiento de la pastura a distintas edades. Ensayo de asociación arroz-pasturas, Llanos Orientales de Colombia.

Indicadores de establecimiento de la pastura	Días después de la siembra	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Coeficientes de correlación (Probabilidad)						
(1) Número de plantas/2 m	60	0.58 (0.0001)	0.29 (0.05)	ns	ns	ns
(2) Número de plantas/2 m	90		0.39 (0.007)	ns	0.32 (0.03)	0.30 (0.04)
(3) MS total (g/10 plantas)	60			0.29 (0.05)	0.42 (0.003)	0.58 (0.0001)
(4) MS total (g/10 plantas)	90				0.33 (0.02)	0.44 (0.002)
(5) MS total (g/10 plantas)	120					0.38 (0.007)
(6) MS total (g/10 plantas)	165					

## Recomendaciones

Este estudio ilustra la capacidad que tiene un experimento agropastoril exploratorio de pequeña escala para contribuir a eliminar fuentes de variabilidad en etapas posteriores y más avanzadas de investigación, así como su utilidad para aclarar dudas en etapas preliminares, que resultaría muy costoso en etapas posteriores, haciendo más eficiente el uso de recursos y tiempo.

## Conclusiones

El análisis estadístico con objetivos metodológicos juega un papel importante en esta fase preliminar de investigación. Con base en el análisis estadístico de este estudio de caso se puede concluir lo siguiente:

1. El análisis permitió identificar y priorizar los factores experimentales que mostraron efecto significativo sobre el desarrollo y productividad del cultivo y la pastura en asociación. Los factores que afectaron el desarrollo y productividad del cultivo y su explicación en la varianza total entre paréntesis, fueron, en orden de prioridad: el tipo de asociación arroz-pastos (entre 8.8% y 51%); la preparación previa del suelo (entre 2.4% y 19.5%); la línea de arroz (entre 1.6% y 8.6%); y, finalmente, la preparación posterior del suelo que afectó únicamente al área foliar. En el caso de la pastura, el principal factor fue el tipo de asociación (entre 5.4% y 57.9%). El método de preparación del suelo parece afectar únicamente la respuesta de la pastura a partir de la cosecha del arroz. La línea de

arroz utilizada no afectó de manera significativa la respuesta de la pastura.

2. El análisis permitió identificar los niveles óptimos de cada factor significativo. Siendo estos niveles son una guía para la planeación de fases de investigación agropastoril más avanzadas.
3. El análisis identificó que 90 dds del arroz es una edad apropiada para evaluar el éxito en el establecimiento de una asociación de pasturas con arroz.
4. El análisis permitió identificar un conjunto reducido de variables de respuesta del cultivo y de la pastura, suficiente para evaluar el efecto de los factores experimentales. Estos fueron la capacidad de germinación, la capacidad de producción de biomasa y el área foliar.

## Referencias

- Amézquita, M. C.; Pizarro, E. A.; y Toledo, J. M. 1989. Rango de adaptación de *Andropogon gayanus*. En: Toledo, J. M.; Vera, R. R.; Lascano, C.; y Lenné, J. (eds.). *Andropogon gayanus* Kunth: Un pasto para suelos ácidos del trópico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 39-68.
- Fischer, A.; Chatel, M.; Ramírez, H.; Lozano, J.; y Guimarães, E. 1995. Components of early competition between upland rice (*Oryza sativa* L.) and *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex. A. Rich) Stapf. Int. J. Pest Manage. 41(2):100-103.
- Hotelling, H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. J. Educ. Psychol. 24:417-441.

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

Toledo, J. M.; Amézquita, M. C.; y Pizarro, E. A. 1983. Análisis del comportamiento del germoplasma evaluado por la RIEPT en los ecosistemas de sabana y bosque tropical. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). Resultados 1979-1982.

## CAPITULO 7

# Parcelas de Validación: Características, Diseño, Monitoreo y Evaluación

*O. Muzilli\**

## Contenido

Resumen	92
Abstract	92
Introducción	92
Conceptos Básicos	93
Selección y Diagnóstico Descriptivo de los Sitios	94
Clima	95
Suelos	95
Información socioeconómica	95
Información sobre producción	96
Planificación de Pruebas de Validación	96
Monitoreo y Toma de Datos	97
Información agronómica	98
Información económica	100
Evaluación con Productores	102
Consideraciones Finales	105
Referencias	105

---

\* Ing. Agrónomo, M.Sc., Investigador en Suelos, Instituto Agronómico do Paraná (IAPAR), Caixa Postal 1331, 86001-970 Londrina, Paraná, Brasil. Consultor del Proyecto Sabanas IICA/Procitropicos.

## Resumen

Las pruebas de validación en fincas son realizadas de forma participativa con productores cooperadores con la finalidad de introducir, ajustar y comparar las ventajas de las innovaciones tecnológicas en los agroecosistemas tradicionales, las cuales, posteriormente serán transferidas a los demás usuarios del ámbito de la recomendación en una zona agroecológica de interés. El tema requiere de un adecuado monitoreo y análisis de diferentes variables involucradas, hasta llegar a una síntesis de resultados que evidencie las ventajas comparativas de modificar los agroecosistemas de producción existentes. En este capítulo se presentan algunos conceptos básicos y se dan algunas sugerencias en relación con la planificación de las pruebas de validación. Se destacan aspectos relevantes para la selección y descripción de los sitios de ubicación de dichas pruebas y se brinda orientación para el análisis e interpretación del registro y ordenamiento de parámetros agronómicos y económicos que se deben tomar en las parcelas de validación. Además, se busca aclarar algunos procedimientos para la evaluación de los resultados de validación mediante entrevistas con productores cooperadores y describir y ordenar un conjunto de parámetros que se consideran fundamentales, de acuerdo con los propósitos y características de los proyectos de investigación en sistemas de producción.

## Abstract

On-farm validation tests, incorporating participatory research with collaborating farmers, are used to introduce, adjust, and assess the advantages of technological innovations in traditional agroecosystems. Successful technologies are then transferred to other farmers within the same recommendation domain of a given agroecological zone. Adequate follow-up and analysis of the different variables involved must be carried out until results show that comparative advantages may be obtained in modifying existing production agroecosystems. We present some basic concepts and suggestions for planning validation tests. Aspects related to site selection and description are highlighted. We suggest ways for analyzing and interpreting data and for organizing the agronomic and economic parameters that should be assessed in validation plots. We also discuss certain procedures for evaluating the results of validation through interviews with the collaborating farmers, and describe and rank a series of certain fundamental parameters according to the objectives and characteristics of research projects on production systems.

## Introducción

La validación se realiza en fincas de referencia con la finalidad de introducir, adaptar y comparar las ventajas de innovaciones tecnológicas propuestas para el cambio de los agroecosistemas tradicionalmente practicados por los productores. Esta validación se hace bajo las condiciones agroecológicas y socioeconómicas representativas de las explotaciones predominantes en la región. El propósito de esta etapa de la

investigación participativa es apoyar el planteamiento de estrategias y acciones para mejorar la productividad y rentabilidad, sin comprometer la sostenibilidad de los sistemas de producción (Muzilli y Thiele, 1992).

Los objetivos específicos de las pruebas de validación en fincas son los siguientes:

1. Introducir y ajustar innovaciones tecnológicas consideradas apropiadas para las zonas agroecológicas, y adecuadas a los



intereses y condiciones de los dominios de la recomendación (DOR's).

2. Formular modelos físicos (prototipos) de agroecosistemas y promover su validación en los sistemas de producción predominantes en las áreas de interés de un proyecto de desarrollo rural.

En la planificación de las parcelas de validación se deben introducir innovaciones que contengan parámetros de fácil medición por parte de los productores y cuyos resultados sean fácilmente percibidos por los usuarios. El cambio de técnicas o el reemplazo de los cultivos (comerciales o pasturas) existentes podrá producir disturbios en el sistema de producción —la finca— como un todo, hasta el punto de limitar la adopción de las innovaciones propuestas. Por esta razón, el tema requiere el adecuado monitoreo y análisis de las diferentes variables involucradas, para llegar a una síntesis de resultados capaz de evidenciar las ventajas comparativas de modificar los agroecosistemas existentes en la explotación.

Los parámetros de evaluación normalmente se refieren al suelo, a los cultivos y los animales y, sobre todo, a los aspectos económicos. Esto implica la necesidad de disponer de procedimientos y criterios analíticos capaces de medir con precisión los efectos observados y resaltar las ventajas y limitaciones de las opciones propuestas.

## Conceptos Básicos

Las fincas de referencia son unidades representativas de los sistemas de producción, formadas por un conjunto de actividades productivas que interactúan como una sola unidad. Un agroecosistema es una actividad

productiva al interior de la finca, cuyo producto final es el resultante de la interacción de un conjunto de factores agroecológicos y socioeconómicos. Se refiere, por tanto, a un solo rubro o al conjunto de rubros establecido en una parcela de la finca (Bojanic, 1988; Hart, 1980).

Bajo estos conceptos, el agroecosistema involucra todos los componentes necesarios para la producción de un rubro o el conjunto de rubros durante una temporada o durante toda la gestión agrícola. Además del suelo, dichos componentes se refieren a los insumos, trabajo y capital que ingresan en el agroecosistema y la dinámica de su manejo.

Los agroecosistemas de producción vegetal incluyen los cultivos y el manejo por el productor. Las técnicas de manejo comprenden desde la selección de especies y variedades, el arreglo espacial y cronológico, las épocas y procesos de siembra, los manejos culturales, los insumos y las labores utilizados, hasta la cosecha y el procesamiento posterior de los productos. Si se trata de producción pecuaria, los pastos, los animales y su manejo también son componentes del agroecosistema.

Para fines de promoción del desarrollo agrícola, se pueden considerar los sistemas de producción desde su sentido más restrictivo —un agroecosistema ubicado en la finca— hasta su sentido más amplio —un conjunto de fincas ubicadas en una misma zona agroecológica (microcuena hidrográfica, municipio, comunidad, etc.).

Con el propósito de introducir y validar innovaciones tecnológicas en zonas de producción agropecuaria tradicional, es más factible iniciar la implementación de acciones en los agroecosistemas, pero sin olvidar su rol

e interacciones con los demás componentes de la finca. De acuerdo con los logros alcanzados, gradualmente se integrarán los modelos físicos de producción en la finca y luego en la zona como un todo.

No se deben confundir las parcelas de validación con los ensayos tradicionales de investigación temática conducidos en fincas. En dichos ensayos, a pesar de que es posible el análisis de más de una variable (ensayos multifactoriales), casi siempre se busca aislar los componentes del estudio, dejando, muchas veces, de considerar sus interacciones con los factores agroecológicos y socioeconómicos que podrían restringir el alcance de los resultados en finca y de la zona. Además, en los ensayos tradicionales, la cooperación del productor casi siempre está restringida a proporcionar el terreno y algunas facilidades logísticas, sin participar activamente en el trabajo.

Las parcelas de validación, por otra parte, son planificadas, conducidas y evaluadas con la participación activa de los productores y asistentes técnicos cooperadores, usando los propios recursos y medios disponibles en la finca. En esta etapa de la investigación se deben considerar los eventos como parte de un todo, enfatizando en éste antes que en las partes, y dirigiendo la atención al conjunto de elementos que se interrelacionan.

## **Selección y Diagnóstico Descriptivo de los Sitios**

El trabajo en las parcelas de validación en fincas se debe iniciar con el conocimiento y la caracterización de parámetros relacionados con la situación vigente, los que orientarán e influenciarán la introducción de innovaciones y su ajuste a los sistemas de producción.

El sitio seleccionado para la conducción de una prueba deberá ser representativo de los tipos de suelo y del ambiente que predominan en el área de interés. En otros términos, el sitio deberá asegurar la reproducción y aplicabilidad de los resultados alcanzados en otras áreas con características ambientales similares.

Además, se deben seleccionar sitios en fincas con adecuada infraestructura de apoyo y de fácil acceso para labores de capacitación y extensión. El productor deberá estar motivado para cooperar en todas las etapas del trabajo y debidamente informado acerca de la utilización de sus recursos y medios de producción.

Las actividades de campo se deberán planificar por lo menos con 3 a 4 meses de anticipación a la fecha prevista para el establecimiento de la prueba; para ello se harán reuniones y talleres participativos con los productores cooperadores y los demás integrantes del grupo objetivo. Una vez seleccionados los cooperadores, la primera actividad es la descripción de los agroecosistemas existentes en las parcelas seleccionadas para establecer las pruebas. Esta descripción inicialmente podrá ser hecha de una manera rápida e incluir sólo aquellos aspectos necesarios para la identificación y comprensión de las técnicas y procesos en uso por el productor. Los datos de clima y suelo son algunos de los parámetros físicos de interés; también se deben conocer los recursos económicos y de infraestructura (disponibilidad de tierra, trabajo, equipos, herramientas), y los factores externos —ofertas y demandas en el mercado local, ventajas comparativas de insumos y rubros, oferta de mano de obra, normalización de uso del suelo, entre otros— que podrán influir en la toma de decisiones por parte de los productores para aceptar o rechazar las innovaciones

propuestas. Además, se deben establecer la época y la duración efectiva de la gestión agrícola según las condiciones edafoclimáticas prevalentes y la disponibilidad de mano de obra a través del año.

A medida que se desarrolla el estudio, es posible agregar a la información otros elementos descriptivos del ambiente. Como parámetros principales en la selección y descripción de los sitios, desde el inicio y durante la conducción de las pruebas, se sugieren los siguientes:

### **Clima**

Es importante conocer los factores del clima que restringen el desarrollo y rendimiento de las actividades de producción. Hasta donde sea posible, se deben recopilar los datos relacionados con la temperatura y las lluvias, los cuales, conjuntamente con la información de los productores, sirven para conocer los períodos adversos de sequía y exceso de humedad que puedan ocurrir y su relación con la producción.

### **Suelos**

Se debe ubicar la posición de las parcelas en relación con la secuencia topográfica y determinar las características químicas y físicas de los suelos —textura, profundidad, capacidad de drenaje y permeabilidad. Además, cuando se considere necesario, se debe medir el estado de agregación y organización estructural de las partículas, y evaluar la actividad biológica presente. Otros datos se refieren a la naturaleza y densidad de la cobertura vegetal viva o muerta, el estado de agregación de la capa superficial, la presencia de costras o capas duras en la superficie y compactas en las capas inferiores del suelo.

Estos parámetros ayudarán a identificar las posibles restricciones, la aptitud agrícola y la potencialidad de uso de la tierra, y los procesos de laboreo más adecuados. Con esta información, las parcelas de validación se deberán establecer en sitios representativos de la mayor área de interés y donde sea posible reproducir los mejores resultados relacionados con las innovaciones y los sistemas productivos que se quieren recomendar.

### **Información socioeconómica**

Se refiere a la recolección de datos sobre la disponibilidad de recursos en la finca de referencia, bien sean externos o internos. Como externos se consideran:

1. La ubicación y oportunidad de mercadeo para los principales rubros, y los precios vigentes.
2. Las facilidades y los costos de transporte y almacenamiento para insumos y productos.
3. La ubicación y la capacidad de acopio y procesamiento de productos.
4. La presencia y actividad de los servicios de asistencia técnica y asociaciones de productores.
5. Las formas de tenencia de la tierra, y los precios para alquiler y venta.
6. Las facilidades de crédito y las respectivas tasas de interés.

Como recursos internos se consideran:

1. El tipo de finca en relación con el tamaño, la forma de tenencia de la tierra y división de las parcelas.
2. La disponibilidad estacional de la mano de obra y recursos financieros.

3. La disponibilidad local de mano de obra (cantidad, género y habilidades).
4. El capital fijo y variable disponibles en la finca.
5. Los conocimientos técnicos, la expresión y la educación del productor.

Estas informaciones, especialmente las relacionadas con los recursos externos, se deben recolectar previamente durante la etapa de diagnóstico de los sistemas de producción, mediante sondeos y entrevistas realizados conjuntamente con el grupo objetivo del trabajo.

### **Información sobre producción**

Se deberán conocer y detallar aspectos relacionados con los procesos y técnicas de producción. Durante las entrevistas realizadas con los productores de cada DOR, se deben obtener los datos necesarios para caracterizar el conocimiento tecnológico típico o tradicional involucrado en los sistemas de producción. Es posible que las informaciones más detalladas sobre los parámetros de interés van a necesitar una mayor familiaridad de los técnicos con los productores cooperadores, así como la familiaridad de éstos con los propósitos y procedimientos de trabajo. Como es de esperar, mayores detalles se podrán conseguir a lo largo de la ejecución de las pruebas de validación, después que las mismas han sido establecidas.

### **Planificación de Pruebas de Validación**

El diseño de parcelas de validación debe ser planificado para cada sitio en forma separada, aun cuando se trate de una misma finca o zona donde se esté desarrollando la investigación. Es

necesario simular modelos físicos (prototipos), cuyos componentes sean fácilmente percibidos y manejados por el productor cooperador. Los diseños deberán ser flexibles y la introducción de nuevas técnicas y procesos será planificada de acuerdo con las condiciones en cada finca, teniendo en cuenta las circunstancias que estarán determinando la toma de decisiones por los productores durante la conducción de la prueba.

En los modelos físicos simulados se deben sugerir técnicas y procesos sencillos con el fin de facilitar la percepción, la comprensión y la aceptación por los productores cooperadores y los asistentes técnicos locales, quienes, de acuerdo con sus experiencias, participarán directamente en el manejo de las parcelas y en la evaluación de los resultados.

Los procedimientos metodológicos deberán proveer una identificación clara y detallada de las etapas y tareas que se deben realizar. Los técnicos y productores deberán estar motivados para participar desde la selección del sitio hasta la selección de las opciones que se comprobarán utilizando el modelo modificado. Además, los productores se informarán y estarán de acuerdo en que las actividades se ejecuten usando los recursos y medios de trabajo disponibles en su finca.

Los técnicos encargados del monitoreo tendrán la tarea de orientar y seguir cada una de las acciones programadas, mediante visitas formales y periódicas, por lo menos una vez cada semana.

Los modelos físicos se someten al análisis y discusión en talleres participativos con los productores del respectivo DOR en cada zona. En estos talleres, se les consulta y motiva para que propongan cambios en los diseños,

de acuerdo con sus propósitos y circunstancias. Además, se les invita a cooperar y participar de manera activa en la conducción y evaluación de las pruebas.

Las parcelas de validación deben ser lo suficientemente grandes para permitir el uso de los equipos y la maquinaria existentes en las fincas. Además, es un hecho que a los productores no les gusta acompañar y observar pruebas o demostraciones en parcelas pequeñas. En sistemas de producción agrícola, el tamaño mínimo propuesto para estas parcelas es de 1000 m<sup>2</sup> en fincas pequeñas, hasta 1 ha en fincas medianas y grandes; para explotaciones pecuarias, el tamaño mínimo debe ser de 1 ha en fincas pequeñas, hasta 3 ha en fincas medianas y grandes. Al lado de las parcelas de validación se debe tener otra de igual tamaño y representativa del sistema tradicional del productor (parcela testigo).

Las pruebas de validación normalmente duran entre 2 y 4 años, tiempo necesario para consolidar el ajuste y la validación de acuerdo con las circunstancias de los DOR's de interés. Casi siempre, el primer año es una etapa de ajuste de las innovaciones tecnológicas a las condiciones y circunstancias del trabajo en la finca de referencia.

## **Monitoreo y Toma de Datos**

Por tratarse de diseños sencillos y de fácil manejo por el productor y los asistentes técnicos cooperadores, no siempre se dispone de las herramientas apropiadas para el análisis estadístico y para la evaluación e interpretación de los datos obtenidos en las validaciones. En la práctica, por un lado es necesario desarrollar procedimientos y criterios analíticos para medir los efectos

observados, mientras que por otro lado se deben destacar las ventajas y limitaciones de las innovaciones propuestas vs. los sistemas tradicionales del productor.

En la evaluación de las pruebas de validación dentro del Proyecto Tierras Bajas del Este, en Santa Cruz (Bolivia), Muzilli y Carreño (1994) consideraron un conjunto mínimo de parámetros que debía ser monitoreado, siguiendo el esquema que aparece a continuación.

En cada período o gestión agrícola, utilizando un libro de campo para registro y ordenamiento de datos, se recolectó la información siguiente:

1. La identificación de la prueba, incluyendo el título o el tema, la localización, el nombre del productor cooperador, el nombre del técnico encargado y la gestión agrícola.
2. La descripción de los sistemas, indicando sobre un croquis los arreglos espacial y cronológico de los cultivos en el sistema tradicional y en el propuesto, y las principales características de los modelos tradicional y modificado, entre ellas: los rubros, los arreglos y combinaciones de cultivos, los cambios realizados durante el establecimiento de las pruebas y luego en cada época.
3. El cronograma de actividades, donde se registraron los datos relativos a cada actividad realizada en las parcelas de validación, iniciando por la fecha de preparación del suelo hasta la cosecha de los diferentes cultivos. En cada época de cultivo se registró el resumen cronológico de los sistemas para conocer el período de tiempo en cada cultivo bajo los diferentes modelos en evaluación. Esta información indica el arreglo cronológico de los rubros dentro de

cada modelo durante la gestión agrícola.

4. Los datos de fertilidad y características físicas del suelo, al inicio de las pruebas y cada 2 años. La fertilidad del suelo se evaluó tomando muestras compuestas de 10 a 15 submuestras entre 0 y 10 cm y de los horizontes inferiores hasta 40 cm de profundidad en el suelo.

Además de estos datos se recomienda la recolección de información agronómica y económica, como se detalla a continuación.

### **Información agronómica**

**Índices de ocupación y uso de la tierra.** Se proponen los parámetros de Zandstra et al. (1981), cuya estimación ayuda en los cálculos y posterior comparación económica de los sistemas, en relación con la eficiencia de uso de la tierra.

La superficie ocupada de la tierra (SOT) es una estimación del área de las parcelas en cada cultivo durante un período. Para cultivos temporales asociados y sembrados en hileras, la SOT (en porcentaje) se puede estimar multiplicando el número total de ellas por las distancias compartidas y dividiendo por el ancho total de la parcela. Por ejemplo, en una parcela con un ancho total de 7 m, ocupada por hileras dobles de yuca que comparten un ancho de 1 m, intercaladas con hileras dobles de maíz que comparten 1.5 m y distanciadas 1 m de las hileras de yuca, la SOT estimada para cada uno de los cultivos será la siguiente:

$$\text{Yuca} = \text{Dos hileras} \times (1 \text{ m} / 7 \text{ m}) \times 100 = 28.6\%, \text{ y}$$

$$\text{Maíz} = \text{Cuatro hileras} \times (0.75 \text{ m} / 7 \text{ m}) \times 100 = 42.9\%$$

El espacio libre en la parcela será:  $100 - (28.6\% + 42.9\%) = 28.5\%$ . En el caso de monocultivos en secuencia o rotación, la SOT del respectivo cultivo será igual al 100%.

En cultivos arbóreos, la SOT se estima multiplicando el número de árboles existentes en la parcela por el promedio del radio de la proyección de las copas y transformando los datos en porcentaje. Por ejemplo, en una parcela con un área útil de 20,000 m<sup>2</sup> (200 m largo x 100 m ancho) existe una hilera central con 50 árboles distantes 4 m entre ellos, con un radio promedio de proyección de la copa —medido por muestreo al azar en 15 árboles— de 2.40 m. En este caso, la SOT estimada para los cítricos será igual a:

$$[50 \times 3.1416 \times ((2.40)^2 / 2000) \times 100] = 45.2\%$$

El índice de uso de la tierra (IUT) sirve para estimar el espacio ocupado en el tiempo por los cultivos en la parcela. Se estima multiplicando la SOT de cada cultivo por el número de días que ha ocupado la parcela desde la siembra hasta la cosecha y dividiendo el resultado por 365 días. Tomando como ejemplo el cultivo de maíz anteriormente mencionado (SOT = 42.9%) y suponiendo un período de ocupación de 168 días, el IUT para este cultivo es igual a  $(168 \times 42.9) / 365 = 19.7$ . Para un monocultivo de soya (SOT = 100%) sembrado en secuencia con sorgo, cuyo ciclo desde la siembra hasta la cosecha es de 117 días, el IUT será igual a  $(117 \times 100) / 365 = 32.1$ .

**Cobertura del suelo con abonos verdes.** La inclusión de abonos verdes para cobertura del suelo tiene como propósitos principales reducir la incidencia de malezas mediante la competencia por luz o por efectos alelopáticos, además de conservar la humedad y reciclar nutrientes, mejorando la fertilidad del suelo.

Los principales parámetros incluyen la tasa o celeridad de cobertura del suelo durante el período de uso, y el rendimiento y la calidad de la fitomasa. Los resultados se correlacionan posteriormente con la cantidad de mano necesaria para el control de malezas, el rendimiento de los cultivos y la disponibilidad de nutrientes en la capa arable.

La tasa de cobertura del suelo por los abonos verdes se puede medir periódicamente, entre 10 y 15 días, según el procedimiento descrito por Arruda (1984). Con los datos obtenidos se construyen gráficos que indican la curva de desarrollo vegetativo de los abonos verdes a través del tiempo. Si los abonos verdes son gramíneas o especies de crecimiento rastrero como *Mucuna* sp., el método de medición no es seguro. En este caso, lo más recomendable es tomar muestras periódicas para estimar el desarrollo de las plantas sobre la base del peso seco.

El rendimiento de fitomasa de los abonos verdes se mide en la época de plena floración de las plantas, cuando es el mejor momento para el corte. Para ello, se cortan las plantas (hojas + tallos) a ras de suelo en cinco puntos de 1 m<sup>2</sup> en cada parcela. Con estas submuestras se determinan posteriormente los rendimientos de materia verde (M.V.) y materia seca (M.S.) por hectárea. Siempre que sea posible se debe determinar el rendimiento de M.S. mediante el secado en estufa a 70 °C por 24 h de una muestra compuesta. Con el objeto de calcular el reciclado de nutrientes también es importante determinar el contenido de nutrientes en el abono verde.

**Incidencia de malezas.** Esta medición tiene por finalidad conocer la cantidad de malezas presentes en las parcelas para posterior análisis y comparación con otros parámetros

agronómicos —arreglos espaciales y cronológicos de los cultivos, desarrollo y cobertura del suelo por abonos verdes, rendimiento de los cultivos— y económicos —número de jornales gastados en limpieza, costos por uso de herbicidas. En este caso, se puede utilizar un marco de 50 x 50 cm, el cual se coloca al azar en 10 ó 20 puntos de cada parcela, dependiendo de la heterogeneidad de la incidencia de malezas. En cada uno de estos puntos se determina el peso de malezas y, cuando es posible, se hace su clasificación botánica o, por lo menos, la distribución porcentual en términos de hojas anchas y angostas. Las evaluaciones se pueden realizar entre 2 y 3 semanas después de la siembra de los cultivos temporales y antes de la primera limpieza, y la época de cosecha. En todos los casos, los datos de producción se deben expresar en kg por hectárea de M.S.

**Desarrollo de pastos y cultivos perennes.** Para medir el desarrollo de los pastos se deben tomar muestras de la acumulación de forraje de la parte aérea en tres épocas del año (al inicio, en la mitad y al final de la época lluviosa). En las pasturas se recomienda aislar del pastoreo dos parcelas de 2 m<sup>2</sup> por hectárea. Antes del aislamiento, en cada parcela se deben cosechar dos submuestras de 1 m<sup>2</sup> con el fin de medir la producción de M.S. La altura de corte y el tiempo entre cortes dependerán de las características de desarrollo de las especies; por ej., en especies rastreras, el corte puede ser a 10 cm, en semierectas a 20 cm y en cespitosas a 30 cm de altura sobre el suelo. El tiempo entre cortes varía generalmente entre 25 y 35 días.

Este procedimiento permitirá realizar comparaciones relativas de capacidad productiva, vigor, calidad y nivel de producción en el tiempo de las pasturas y entre parcelas de cultivo

tradicional y modificado. En sistemas de pastoreo rotacional con intervalo de descanso entre 28 y 35 días, es posible seleccionar una parcela de referencia, en la cual se hacen cortes de medición del forraje acumulado antes del pastoreo y de uniformización posterior a éste.

El desarrollo de los cultivos perennes se debe evaluar en épocas secas y lluviosas. En frutales se deben tomar datos promedio de 8 a 10 plantas en hileras útiles de cada parcela, relacionándolos con la altura de plantas, el diámetro de copa y del tallo a 50 cm sobre el suelo. Para especies maderables se sugiere tomar mediciones del diámetro del fuste, la altura comercial y el diámetro de la copa. Cuando la altura del árbol sea menor que un DAP (diámetro a la altura del pecho) de 1.30 m, se recomienda medir el diámetro del fuste a 30 cm del suelo. La altura comercial se mide sin dificultad hasta una altura aproximada de 2 m. A mayores alturas, es necesario utilizar clinómetro o el método de proporción geométrica. El diámetro de la copa se mide en la proyección que da la sombra en el suelo en horas del mediodía; también se podrán utilizar clinómetro, regla telescópica, altímetro, hipsómetro o relascopio de Biterlich, según la disponibilidad de estos equipos.

**Ciclo y rendimiento de los cultivos.** Se recomienda llevar un registro del número de días desde la siembra hasta la floración y cosecha, y de los rendimientos de los principales cultivos temporales y perennes. El primer parámetro es útil para calcular el IUT. Los rendimientos se expresan en las unidades de medida usadas por el productor, pero posteriormente se transforman en kg por hectárea de producto procesado y se relacionan con la SOT del respectivo cultivo en el agroecosistema. La información sobre rendimiento es fundamental para

estimar los ingresos financieros según los precios de mercado de cada cultivo.

### **Mediciones con animales.**

Lascano y Avila (1991) sugieren como parámetros para evaluar la producción de leche en pasturas: el número de días de lactancia (al inicio de cada fase de medición), la producción de leche (kg por vaca por día) y el cambio periódico de peso vivo de las vacas. En explotaciones dedicadas a la ceba de ganado, el principal parámetro es el cambio de peso vivo de los animales, el cual se debe medir al inicio y cada determinado tiempo, por ej., cada 28 días. En los sistemas pecuarios es indispensable la presencia de zootecnistas o veterinarios dentro de los equipos multidisciplinarios encargados del monitoreo de las pruebas de validación.

### **Información económica**

El análisis económico-financiero —costos de producción, ingresos, relaciones beneficio/costo e índices de utilidad— generalmente proporcionan las informaciones que más motivan a los productores en la toma de decisiones.

Los análisis económico y financiero de los sistemas agrícolas bajo validación, incluyen las acciones y mediciones siguientes:

1. La evaluación del beneficio o ventajas financieras de las innovaciones en relación con el sistema tradicional en uso por el productor.
2. La verificación de costos, ingresos y eficiencia económica de los sistemas en prueba y los tradicionales.
3. La comprobación de la demanda de recursos de tierra, trabajo y capital de cada sistema, frente a su



- disponibilidad (espacial y cronológica) en la finca.
4. El establecimiento de indicadores de utilidad relacionados con los factores de producción (tierra, trabajo y capital).
  5. La comparación de la eficiencia de los sistemas agrícolas modificados vs. sistemas tradicionales practicado por el productor.

El estudio económico se debe iniciar con el registro de los antecedentes del productor, anotando entre otras características, su origen, el año de migración a la zona, la experiencia en la actividad y en la finca (León, 1992).

El inventario de los recursos en la finca se debe hacer al inicio de cada gestión agrícola, incluyendo la superficie y uso de la tierra, los equipos y herramientas, y la infraestructura disponible. El uso de mano de obra e insumos se debe registrar semanalmente durante el tiempo que dure la prueba, con el objeto de mantener un control financiero en cada uno de los sistemas. Esta información puede ser tomada en formularios previamente elaborados o en una libreta de apuntes.

En cada visita, el técnico local encargado del seguimiento de la prueba debe recopilar la información del productor para el posterior registro y ordenamiento en los formularios correspondientes. Los datos más importantes que debe anotar son los siguientes:

1. Cada actividad u operación realizada durante la semana, desde la última visita.
2. Las fechas de ejecución de cada actividad.
3. La categoría de mano de obra (familiar, contratada, comunal) y su género y valor.

4. El tiempo empleado (en equivalente-hombre/categoría) para ejecutar la actividad.

En cada actividad realizada, además del uso de mano de obra, se deben especificar:

1. El sistema agrícola al cual corresponde.
2. El tamaño de la superficie respectiva. Si no corresponde a una sola parcela o sistema, es necesario estimar la mano de obra utilizada en cada uno de ellos, en forma separada.
3. Los tipos de equipos, herramientas e insumos empleados.

**Costos variables.** Se refieren a los gastos totales en mano de obra familiar, contratada o comunal; insumos y servicios como transporte, procesamiento, acopio y alquiler de equipos, los cuales varían según la dimensión y los componentes técnicos empleados en cada agroecosistema. Los costos variables son los que más afectan los valores de ingresos netos de cada actividad y, en consecuencia, el margen de ganancia de la explotación, mientras que los costos fijos representados en tierra, equipos y maquinaria no sufren variaciones significativas.

Al final de cada ciclo de cultivo se revisan y registran los datos tomados en cada operación, con el fin de estimar los gastos en mano de obra como equivalente-hombre por hectárea o número de jornales por hectárea en cada sistema. De la misma manera, se registran los gastos en insumos y las inversiones en el establecimiento de cultivos y pasturas, los que se utilizan para calcular los promedios de costos fijos y variables (CV) e inversiones por año o ciclo de cultivo en cada sistema agrícola.

**Ingresos brutos.** Se registran en términos de cantidad de producto y valor de mercado de los rubros, incluyendo los de subsistencia, en cada sistema. Los precios, tanto para los costos como para los ingresos, se deben referir a valores reales o constantes y no deben estar sometidos a fuertes cambios o variaciones por las tasas de inflación. Se sugiere convertirlos a dólares americanos.

**Utilidad de los factores de producción.** Son estimaciones realizadas teniendo en cuenta la relación entre el margen bruto (MB) —diferencia entre el ingreso bruto y los costos variables— y el factor de producción utilizado para la obtención de los ingresos en un tiempo determinado. Estos indicadores sirven para comparar los sistemas modificados entre ellos y con el sistema tradicional del productor. De los indicadores presentados por Piñare y Fuentes (1984) y Soldatelli y Machaca (1992), los más útiles son los siguientes:

1. Utilidad del capital (C), se relaciona con el capital circulante y se estima por la relación entre el MB y los CV.
2. Utilidad del trabajo (L), se estima por los MB de los sistemas agrícolas y su relación con el costo total de mano de obra y servicios.
3. Utilidad de la tierra (T), se estima por el valor de los MB de los sistemas en relación con el IUT.

**Eficiencia comparativa de los agroecosistemas.** Es un índice útil para comparar la eficiencia económica de los sistemas. El cálculo de la eficiencia comparativa (EfC) se realiza mediante la relación entre el MB del sistema modificado y el MB del sistema tradicional.

Este índice permite evaluar la eficiencia de la actividad o sistema

modificado y compararla con la del sistema tradicional del productor cooperador; igualmente, permite comparar la eficiencia entre los distintos sistemas probados para cada ámbito de la recomendación.

El sistema tradicional tiene una EfC igual a uno. El sistema modificado es más eficiente cuando la EfC presenta un valor mayor que uno. Una EfC negativa indica un mal desempeño del sistema, por tanto, se deben analizar los componentes para identificar el sitio o punto problema.

Los cálculos finales de cada gestión, consistentes en el manejo de los datos de campo y en el desarrollo de indicadores de eficiencia, se deben efectuar con la asesoría de economistas, sociólogos y estadísticos participantes del equipo multidisciplinario.

## Evaluación con Productores

En las pruebas de validación, el productor finalmente es quien decide si la nueva tecnología es útil o no para sus propósitos y condiciones. Esto quiere decir que, si de un lado son necesarias las evaluaciones agronómicas y económicas para la comprobación técnica de los resultados de las pruebas en fincas, es la evaluación con los productores la que proporcionará la oportunidad de elegir y tomar decisiones acerca de la factibilidad de la innovación tecnológica.

La participación activa de los productores en la evaluación de las pruebas de validación permite sistematizar y comprender sus percepciones acerca de los resultados obtenidos mediante la libre expresión de sus opiniones, perspectivas, sugerencias y criterios.

El objetivo de las entrevistas de evaluación es conocer los comentarios espontáneos del productor cooperador y analizarlos como indicadores. Algunas recomendaciones a los técnicos encargados de las evaluaciones en fincas de productores son las siguientes (Ashby, 1992):

1. Deben estar motivados para ofrecer innovaciones a los productores bajo una óptica optimista, o sea, visualizando soluciones y no problemas, obstáculos o fracasos.
2. Deben ser cuidadosos para no imponer sus propias opiniones.
3. No deben temer al rechazo o a las críticas a la innovación propuesta. En tales circunstancias deben aclarar que se trata de opciones para prueba, que pueden o no ser mejores que las tecnologías en uso, y que su deseo es conocer lo que piensan los productores sobre las innovaciones presentadas.
4. Deben colocar al productor en el papel de enseñar, respetando su experiencia y práctica.

La entrevista de evaluación no es una simple charla con el productor. El proceso debe incluir una secuencia de entrevistas durante las distintas etapas de desarrollo de los cultivos. Después de analizar cada entrevista, se debe informar al productor acerca de las conclusiones generales y programar las acciones futuras. Antes de iniciar las entrevistas, se recomienda hacer un listado de lo que el técnico cree que es importante registrar, como son la oportunidad de las épocas de siembra y el manejo de las plagas y malezas.

La evaluación de la aceptabilidad sociocultural de las innovaciones propuestas se debe centrar en las opiniones de los productores, mientras que las evaluaciones agronómica y económica, para estimar la

sostenibilidad agroecológica y la rentabilidad económica, deberán estar basadas en los criterios y procedimientos anteriormente presentados. Cuando no es posible hacer ambas evaluaciones en forma independiente, es mejor, primero, realizar la entrevista con el productor cooperante y, luego, proceder a hacer la toma de datos y las observaciones en el campo.

Ashby (1992) sugiere utilizar un formulario de entrevistas que incluye los temas siguientes:

1. La identificación del productor cooperador, la ubicación de la finca, el nombre del entrevistador, la fecha de entrevista y el agroecosistema.
2. Comentarios espontáneos, para consignar las reacciones e informaciones del productor sobre cada punto de la tecnología en evaluación. Después de que el productor realice espontáneamente sus comentarios, el entrevistador podrá buscar informaciones complementarias mediante preguntas en búsqueda de informaciones o de aclaraciones. Es importante registrar los comentarios del productor lo más exacto posible y en sus propias palabras.
3. Las preguntas directas se deben hacer solamente al final de la evaluación y después de los comentarios espontáneos. Las respuestas se consignan en una sección específica del formulario. Las preguntas directas sólo se hacen en el caso de requerir más detalles sobre las opiniones del productor en un comentario específico.
4. Una vez terminada la evaluación, el entrevistador puede anotar comentarios adicionales acerca de

los aspectos que merecen ser destacados para mejorar la evaluación, entre ellos, el estado de desarrollo de los cultivos, las condiciones de clima prevalentes durante el ciclo de cultivo y la incidencia de plagas y enfermedades.

Ashby (1992) presenta algunas recomendaciones para realizar las entrevistas de evaluación; entre ellas, se debe evitar:

- Iniciar la entrevista sin explicar los objetivos y aclarar las expectativas.
- Enseñar y hacer recomendaciones acerca de la evaluación del productor.
- Evaluar de las opiniones con productores o técnicos que no parezcan usuarios potenciales o que no tengan experiencia relevante acerca del tema.
- Imponer criterios personales en la evaluación.
- Criticar los criterios del productor y discutir o contradecirlo.
- Rechazar la hospitalidad y abusar del tiempo del productor.
- Interrumpir y apresurar al productor durante la evaluación.
- Tomar más tiempo en preguntar que en escuchar.
- Terminar la entrevista sin estar seguro de haber comprendido las razones del productor por preferir una alternativa sobre otra.
- Interpretar opiniones y preferencias del productor sin verificar su propia interpretación.
- Reprimir la iniciativa y creatividad del productor a través del control rígido de la innovación a evaluar.

Quirós et al. (1992) recomiendan la utilización de varios tipos:

- Abiertas, las cuales permiten una amplia gama de respuestas sin sugerir las esperadas.
- De búsqueda de información, para facilitar la comprensión de un hecho específico. Son complementarias a las preguntas abiertas y sólo se hacen cuando se necesita información más específica para conocer mejor la opinión de productor.
- De aclaración, destinadas a explorar más a fondo el significado de términos y opiniones expresadas por el productor, así como estimular su juicio y lograr más detalles sobre la opinión.
- De inducción, que sugieren respuestas esperadas y no deben ser realizadas por restringir la expresión libre y espontánea del productor.

Una vez se concluye la entrevista, se procede a una codificación de los comentarios espontáneos del productor. A cada información se le asignan símbolos positivo (+) o negativo (-) para identificar el tipo de opinión manifestada por el productor. Esta codificación ayudará a comprender cómo y por qué el productor acepta o rechaza la tecnología.

Ashby (1992) también señala otros criterios de evaluación en las entrevistas, entre ellos:

- Evaluación absoluta, para identificar lo que el productor acepta o rechaza según sus opiniones.
- Ordenamiento de alternativas, destinado a obtener un orden de preferencia global de las alternativas bajo prueba, por parte del productor.

- Matriz de ordenamiento, una técnica que consiste en solicitar al productor una relación de los varios tratamientos con base en parámetros específicos elegidos conjuntamente con él.
- Comparación entre pares, aplicada a las alternativas cuando los temas por comparar son claramente diferenciables.

Al final de cada ciclo de cultivo, los técnicos elaboran una síntesis de los principales resultados, consignando en el resumen aspectos positivos y negativos destacados por el productor cooperador durante las entrevistas de evaluación. Cuando se comparan las opiniones del productor con los parámetros agronómicos y económicos seleccionados, es posible verificar hasta qué punto los efectos evaluados bajo la óptica técnico-científica coinciden con la lógica y experiencia del usuario.

Los productores, al igual que los investigadores, no desean comprometerse sobre la base de una prueba. Más bien, desean estar seguros de que los resultados observados podrán repetirse en otras circunstancias. Por esta razón, tratarán de seleccionar varias opciones promisorias para futuras pruebas. Además, podrán expresar dos o tres opciones atractivas. Por tanto, los investigadores deberán adoptar y mantener la actitud neutral y ser receptivos frente a las críticas honestas del productor.

## Consideraciones Finales

Para el ajuste y la comprobación de la sostenibilidad, la rentabilidad y la aceptación de las innovaciones tecnológicas ofrecidas por la investigación agrícola, es necesario establecer y monitorear pruebas de validación en fincas de referencia. Estas pruebas deben ser planeadas y

ejecutadas de acuerdo con los problemas y limitaciones previamente diagnosticados y teniendo en cuenta las características prevalentes en el ámbito de la recomendación y la existencia de la necesidad y el interés en la adopción de las nuevas tecnologías.

El ajuste y validación de las ofertas tecnológicas se debe realizar en agroecosistemas a nivel de fincas, con la participación activa de los productores cooperadores y con el apoyo formal de los extensionistas y asistentes técnicos locales.

Mediante el adecuado monitoreo y evaluación, será posible escoger las tecnologías que sean más apropiadas a los diferentes objetivos y necesidades del productor y de su área de influencia. Por tanto, es necesario adoptar procedimientos y criterios que permitan el adecuado registro y ordenamiento de los parámetros de evaluación.

El éxito en las evaluaciones con productores requiere, ante todo, establecer una relación de confianza, amistad y respeto a lo largo de todo el proceso de validación. Esto exige actitudes de sencillez y sinceridad por parte de los investigadores para establecer una buena relación con el productor.

## Referencias

- Arruda, F. B. 1984. Determinação da cobertura do solo durante o ciclo das culturas. Rev. Bras. Cien. Solo 8:145-50.
- Ashby, J. A. 1992. Manual para la evaluación de tecnologías con productores. Proyecto Investigación Participativa con Agricultores (IPRA), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 101 p.

- Bojanic, H. 1988. El enfoque de sistemas y su aplicación al caso de la soya en Santa Cruz. En: Ramakrishna, B. (ed.). Quinto Seminario de Manejo de Suelos en Sistemas de Producción de Soya. IICA-BID/Prociandino, Quito, Ecuador.
- Hart, R. D. 1980. Agroecosistemas: Conceptos básicos. Serie Materiales de Enseñanza CATIE no 1. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba Costa Rica. 211 p.
- Lascano, C. E. y Avila, P. 1991. Potencial de producción de leche en pasturas solas y asociadas con leguminosas adaptadas a suelos ácidos. *Pasturas Tropicales* 13(3):2-10.
- León, C. J. 1992. Sistemas agroforestales para el Departamento de Santa Cruz: Establecimiento de pruebas de validación. Inf. Tec. 9. Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), Santa Cruz, Bolivia. 21 p.
- Muzilli, O. y Thiele, G. 1992. Conceptos y procedimientos para la estrategia de investigación en sistemas de producción. Inf. Tec. 4. Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), Santa Cruz, Bolivia. 33 p.
- \_\_\_\_\_ y Carreño, B. 1994. Investigación en sistemas de producción: Monitoreo de las pruebas de validación. Inf. Tec. 12. Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), Santa Cruz, Bolivia. 66 p.
- Piñare, A. G. V. y Fuentes, C. O. W. 1984. Pequeños agricultores. II: Métodos de avaliação economica e financeira. Documentos, 25. EMBRAPA/CPATSA, Petrolina, Brasil. 97 p.
- Quirós, C. A.; Gracia, T.; y Ashby, J. A. 1992. Evaluaciones de tecnología con productores: Metodología para la evaluación abierta. Unidad de Instrucción no. 1. Proyecto Investigación Participativa con Agricultores (IPRA), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 95 p.
- Soldatelli, D. y Machaca, C. A. 1992. Guía para la planificación de parcelas para la colonia Yucumo-Rurrenbaque. Acción Luterana Mundial, La Paz, Bolivia. 39 p.
- Zandstra, H. G.; Price, E. C.; Ltsinger, J. A. y Morriz, R. A. 1981. A methodology for on-farm cropping systems research. International Rice Research Institute (IRRI), Los Baños, Laguna, Filipinas. 147 p.

## CAPITULO 8

# Transferencia de Tecnología: El Caso del Sistema Barreirão en Goiás, Brasil<sup>1</sup>

*J. de C. Gomide\**

## Contenido

Resumen	107
Abstract	108
Introducción	108
Modelo Tradicional de Transferencia	109
Modelo de Transferencia en el Sistema Barreirão	110
Principales Resultados Económicos	112
Estrategias de Divulgación	112
Conclusiones	113
Referencias	113

## Resumen

Los sistemas de producción agrícola representan actualmente un reto a las estrategias de transferencia de tecnología. Los modelos tradicionales implican una secuencia de acciones que se inician con el diagnóstico del problema por el investigador, pasando por la elaboración de proyectos y la ejecución de la investigación, y terminando con el proceso de transferencia de resultados experimentales a los asistentes técnicos. La propuesta del 'Sistema Barreirão' es más amplia y requiere que todo el sistema se transfiera a través de un mayor esfuerzo en las fases de validación y transferencia propiamente dicha con la participación de investigadores, productores, políticos, cooperativas y técnicos en extensión. Para tener éxito en el proceso es necesario utilizar la palabra 'sistema' como una

---

1. Adaptado de la publicación del mismo nombre distribuida por Embrapa Arroz e Feijão.

\* Técnico Especializado, B.Sc., Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, 75375-000 Santo Antônio de Goiás, Brasil.

clave para la adopción de toda la tecnología, el desarrollo de maquinaria para preparar el suelo y sembrar, la obtención de financiamiento para el sistema y ganar el apoyo de políticos, la realización de eventos como días de campo, y la divulgación del sistema a través de los medios de comunicación. Los resultados obtenidos en el Sistema Barreirão indican que es exitoso en relación con: (1) los costos, que fueron cubiertos por la venta de los granos producidos; (2) el desarrollo de una serie de arados y sembradoras adaptados al Sistema; y (3) el financiamiento por parte del sistema bancario para la recuperación y renovación de pasturas. Con el uso de este sistema, el área recuperada de pasturas aumentó de cerca de 2000 ha en el período 1990/91 a 400,000 ha en el período 1993/94, lo cual es un indicativo de su adopción y uso por los productores.

## **Abstract**

Agricultural production systems present a challenge in the development of strategies for technology transfer. Traditional models follow a sequence of actions, starting with problem diagnosis by the researcher, followed by project design and execution, and finishing with the transfer of experimental results to technical assistants. The "Barreirão System" is broader in concept, requiring that a whole system be transferred through a major effort of validation and transfer and involving researchers, farmers, extension workers, policymakers, and cooperatives. For transfer to be successful, the word "system" is key to the farmer adopting the whole technology package, to developing machinery for plowing and planting, to obtaining financial support for the system and thus win policymakers' support, to conducting field days, and to promoting the system through communication media. The "Barreirão System" was successful in terms of (1) costs, which were recovered through sale of crop grains; (2) adapting a series of plows and planters for the system; and (3) funding from banks to reclaim and renew pastures. The area of recovered pastures grew from about 2,000 ha in 1990/91 to 400,000 ha in 1993/94, thus indicating the success of the "Barreirão System" strategy.

## **Introducción**

En los países en desarrollo, la evolución tecnológica en el sector de la producción agropecuaria es limitada, entre otros factores, por el empirismo de los productores y su bajo poder económico. Esto dificulta el proceso de transferencia de tecnología, lo que constituye una barrera para el desarrollo sostenible. Históricamente, las nuevas variedades liberadas en las regiones tropicales han tenido una adopción más o menos razonable por los productores. Por tanto, la difusión de sistemas de producción que involucran prácticas e insumos

fundamentales para mejorar la fertilidad los suelos, en general pobres, es compleja.

Esta situación se vuelve aún más compleja cuando existen dificultades para la expansión del área agrícola, en detrimento de la productividad; por ej., en algunos países de América del Sur, principalmente en la región Central del Cerrado de Brasil, el 62% del área está ocupada por explotaciones superiores a 1000 ha y 0.5% tienen menos de 100 ha (Teixeira et al., 1986, citados por Seguy et al., 1989). En este ámbito, el incremento de la productividad es de máxima importancia para los pequeños



y medianos productores; no obstante, debido a la deficiencia en recursos e información, ellos casi siempre tienen un acceso limitado a mecanización y al uso de insumos.

Aunque el servicio de extensión rural oficial tiene como filosofía básica la de actuar junto al pequeño productor, transfiriendo conocimientos y tecnologías, esa relación no siempre presenta resultados que conducen a una mejor productividad y al desarrollo sostenible de las regiones productoras. Por otro lado, la baja adopción de tecnologías por los productores desmotiva a los asistentes técnicos, llegando inclusive a perder credibilidad en la sociedad (Mussoi, 1993). Aun más, la no-adopción de las innovaciones tecnológicas como uso de insumos y mecanización agrícola, genera un mercado cada vez menos competitivo, principalmente por la relación de precios entre los productos primarios y los bienes e insumos necesarios para la producción.

Por considerar que la solución para los factores limitativos de la producción se encuentra en el mercado, muchos productores no se preocupan por la sostenibilidad del potencial productivo del ecosistema, siendo cada vez menos utilizadas prácticas como el control de la erosión y la conservación de la materia orgánica. Adicionalmente, en las regiones tropicales existen aún problemas de costo de producción, que se vuelven más elevados por la necesidad de aplicaciones frecuentes de fertilizantes y agroquímicos para el control de malezas, plagas y enfermedades; y por la adopción de prácticas culturales específicas para la preparación del suelo y la siembra de cultivos (Kluthcouski et al., 1991). Además, el productor no tiene incentivos para invertir en tecnología, debido a que la liberación de los recursos para el financiamiento agrícola es inoportuno e insuficiente.

Con excepción de las nuevas variedades y algunas tecnologías específicas, generalmente de costo reducido, el servicio parcial de transferencia de tecnología no ha influido, hasta ahora, en los rendimientos agrícolas. Por esta razón, se considera que esta actividad debe incluir un conjunto de técnicas interrelacionadas con los sistemas agrícolas, con el fin de garantizar un efecto en la productividad y en el mejoramiento socioeconómico del productor.

## **Modelo Tradicional de Transferencia**

Teniendo en cuenta algunos de los factores limitativos para la adopción de las tecnologías generadas por la investigación, se admite que la forma de transferencia de las mismas puede contribuir en forma significativa al cambio de mentalidad de los productores e influir en el sector de crédito y en la implementación de programas de desarrollo generados por la clase política. El modelo usual que relaciona los procesos de generación y de transferencia de tecnología implica una secuencia de acciones, iniciadas con el diagnóstico del problema en la finca por parte del investigador, pasando por la elaboración de proyectos y la ejecución de la investigación, y terminando con el proceso de transferencia de los resultados experimentales a los asistentes técnicos mediante capacitación o medios escritos (Figura 1). A partir de ese momento, la responsabilidad de la difusión de la tecnología generada pasa a ser de los técnicos, quienes no siempre poseen el suficiente conocimiento de la misma.

Este modelo da buenos resultados cuando se trata de temas aislados como el uso de productos químicos y distancias de siembra, entre otros,

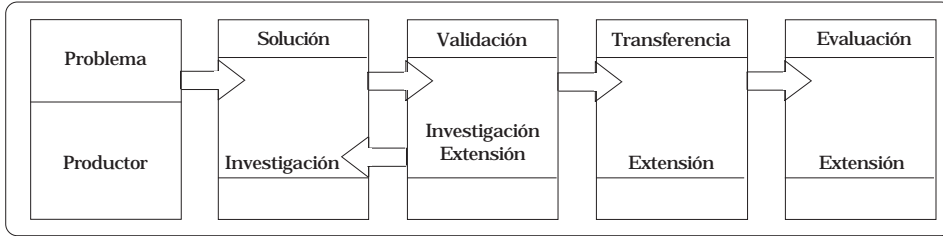


Figura 1. Flujo del modelo convencional de transferencia de tecnología.

siendo inadecuado para la difusión de sistemas agrícolas. Entre sus limitaciones se destacan la actuación aislada del técnico en difusión, a quien le corresponde, también, la responsabilidad de desarrollar tecnologías para alimentar nuevamente la investigación.

## Modelo de Transferencia en el Sistema Barreirão

Este Sistema consiste en una tecnología que incluye un conjunto de prácticas —técnicas avanzadas de preparación de suelos, siembra de precisión y utilización de insumos modernos— que posibilitan la recuperación de pasturas degradadas mediante la asociación de forrajeras con cultivos como arroz, maíz, sorgo, *Pennisetum* sp. y girasol (Kluthcouski et al., Capítulo 15, este libro). Debido a las interrelaciones de las prácticas recomendadas, es fundamental que todas ellas sean aplicadas, para no comprometer la eficiencia del Sistema. En esta tecnología se adoptó un método distinto de difusión y transferencia, el cual desde su concepción ha venido sufriendo un proceso de mejoramiento continuo en el seguimiento de los procesos agropecuarios.

Partiendo del supuesto que la transferencia de este Sistema ocurriría especialmente entre ganaderos, se consideraron, entre otros factores, los siguientes:

- La necesidad de utilizar maquinaria y equipos diferentes a los que tradicionalmente venían empleando los productores y de ajustar los que ya existían.
- La posibilidad de que el uso de arroz de secano, cultivo pionero en la implementación del Sistema, no estimularía al productor.
- La necesidad de aplicar insumos en la cantidad y calidad que requería el Sistema.
- La necesidad de implementar y observar numerosas unidades demostrativas, lo que implicaba una alta demanda de recursos humanos, materiales y capital financiero.
- Algunos de los equipos disponibles en el mercado no eran adecuados para la realización de las prácticas agronómicas que exige el Sistema.
- La falta de crédito para el establecimiento de cultivos asociados que incluyen plantas forrajeras.
- Debido a lo complejo del Sistema Barreirão, la capacitación de los asistentes técnicos no debía restringirse sólo a la realización de cursos y publicaciones.
- En el Cerrado brasileño, de un total de 130 millones de hectáreas de pasturas, cerca del 80% se

encontraban degradadas, siendo económicamente viable la recuperación de ellas.

En el proceso de transferencia de la tecnología se adoptaron las estrategias siguientes:

- Denominar "Sistema" a la tecnología generada con el fin de inducir el uso de todas las prácticas, eliminando el término "arroz de secano" que era de baja aceptación por los productores.
- Promover el Sistema en todo el país, a través de medios masivos como prensa, radio y televisión.
- Acordar estrategias con empresas productoras de maquinarias, implementos e insumos, buscando apoyo para divulgación del Sistema, y la cesión de los equipos utilizados en la realización de las actividades específicas y las modificaciones necesarias en los productos ofrecidos.
- Estimular a las empresas de asistencia técnica, cooperativas y otros segmentos del sector agrícola para que participaran de manera efectiva en la implementación y en el seguimiento de las unidades demostrativas del Sistema, desde el momento de la selección del municipio y del área para la prueba.
- Invitar a los representantes de entidades financieras, autoridades políticas locales y nacionales, y representantes de aseguradoras agrícolas, a todos los eventos promocionales del Sistema.
- Ofrecer entrenamiento teórico y práctico continuado a los extensionistas de las redes de asistencia técnica oficial y privada.

Con estas estrategias se inició en el Cerrado el proceso de transferencia del

Sistema Barreirão. Esta región tiene aproximadamente 200 millones de hectáreas, lo que equivale al 25% del territorio de Brasil. Durante el primer año de divulgación se implantaron varias unidades demostrativas representativas, que permitieron evaluar los métodos convencionales de recuperación de pasturas y los efectos de diferentes técnicas de preparación de suelos, en comparación con las prácticas agronómicas recomendadas en el Sistema Barreirão. Desde el inicio, los productores interesados y, particularmente, los asistentes técnicos, estuvieron en contacto permanente con el desarrollo de las unidades demostrativas. A partir del segundo año, con el fin de reducir costos, el monitoreo de las nuevas unidades instaladas se hizo a nivel nacional en explotaciones particulares de mayor extensión.

Se debe reconocer que el éxito obtenido durante todo el proceso es el resultado de un trabajo conjunto y multidisciplinario, siendo necesario enfatizar:

- La participación conjunta de biólogos, economistas y extensionistas.
- La contribución efectiva de los socios en la promoción de eventos con políticos, representantes del gobierno y de las industrias.
- La responsabilidad de los técnicos locales en la organización de días de campo.

Cuando en algunas de las localidades no existía asistencia técnica oficial, la responsabilidad en los trabajos dentro del Sistema Barreirão fue asumida por los técnicos de las cooperativas, de la municipalidad o de otras instituciones comprometidas.

## Principales Resultados Económicos

La eficiencia del modelo de transferencia utilizado para el Sistema Barreirão puede ser comprobado por las tasas de retorno directas obtenidas en 4 años de cultivos agrícolas (Cuadro 1).

Estas tasas representan la retribución por venta de granos, que tiene un retorno inmediato al capital empleado. En este caso no se consideraba la retribución debida a la pastura renovada, la cual está determinada por la ganancia de peso vivo de los animales y por el incremento de la producción de carne y leche, principalmente en el período seco. También se debe tener en cuenta que la calidad de la pastura renovada proporciona una mayor productividad animal —mayor índice de natalidad, menor índice de mortalidad, reducción en el tiempo al destete y más rendimiento de carne— y una mejor cobertura de los suelos que ayuda a reducir la erosión y el uso de agroquímicos.

## Estrategias de Divulgación

El Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Arroz e Feijão) implantó el Sistema Barreirão e hizo el seguimiento en 37 unidades demostrativas. Esta labor fue coordinada conjuntamente con el Servicio de Extensión Rural en 35 unidades adicionales.

A través del tiempo, se utilizó una gama diversificada de medios de divulgación, entre ellos: videos y reportajes para programas de televisión nacional, regional y local; artículos en revistas, periódicos y cuadernos agrícolas; e informativos de cooperativas y empresas privadas. Además de difundir la tecnología, con este trabajo se motivó a numerosos productores a participar en días de campo demostrativos sobre el Sistema. Para alcanzar grupos específicos, se utilizaron medios dirigidos como conferencias y capacitación; y consultorías y establecimiento de correo directo con los productores,

Cuadro 1. Productividad y tasas de retorno directas obtenidas en las unidades demostrativas del Sistema Barreirão, establecidas en cuatro periodos agrícolas en diferentes municipalidades y estados de Brasil.

Periodo de cultivo	Cultivo asociado	Municipalidad	Estados	Productividad, promedio del cultivo (kg/ha)		Tasa de retorno directa (promedio)
				Sistema convencional <sup>a</sup>	Sistema Barreirão <sup>b</sup>	
1987/88	Arroz	5	2	—	2063	—
1990/91	Arroz	11	1	889	2001	1.27
1991/92	Arroz	15	5	1080	2248	1.09
1992/93	Arroz	8	3	—	1853	0.96
1992/93	Maíz	3	1	—	3994	1.06

a. Rastra-arado y fertilización de 50 kg/ha de  $P_2O_5$  y 30 kg/ha de  $K_2O$ .

b. Arado-vertedera y fertilización de 12, 90, 45, 30 y 20 kg/ha de N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , FTEBR-12 y  $ZnSO_4$ , respectivamente.

empresas privadas e instituciones públicas.

## Conclusiones

Como principales resultados del método utilizado para la transferencia de tecnología en el Sistema Barreirão, se pueden mencionar los siguientes:

1. La evolución del área de pasturas recuperadas pasó de cerca de 2000 ha en el período 1990/91, a 10,000, 50,000 y 400,000 ha en los períodos agrícolas 1991/92, 1992/93 y 1993/94, respectivamente.
2. Las modificaciones importantes que hicieron más eficientes los equipos de labranza, entre ellas, vertedera con desarme automático, sembradoras adaptadas, fertilizantes con fórmulas balanceadas, e incremento en el número y disponibilidad de modelos de arados de vertedera.
3. La aprobación por el Gobierno Federal de crédito y seguro agrícola suficientes, incluyendo el respaldo total de los costos y favoreciendo al Sistema Barreirão en relación con la explotación de otros cultivos.
4. La entrega de subsidios al programa nacional de seguro agrícola, para perfeccionar el proceso de seguridad de monocultivos.
5. El fortalecimiento de las relaciones con entidades privadas, las cuales asumieron los costos de divulgación y transferencia y proveyeron vehículos, maquinarias y equipos.
6. La obtención de ayudas para investigación, evitando los gastos públicos.
7. La participación de líderes técnicos y políticos a nivel nacional, comprometidos con la continuidad del proceso de difusión del Sistema.
8. La producción de un programa nacional de divulgación, conocido como 'Programa Verde y Amarillo', patrocinado por un grupo de empresas para la divulgación y capacitación durante todo el proceso de transferencia de tecnología.
9. La formación de equipos multidisciplinarios de investigación local y nacional, involucrando centros de investigación y universidades.
10. La realización de 23 días de campo en siete estados de la federación, en los cuales participaron, en promedio, por evento, entre 50 y 4000 productores; extensionistas; investigadores; estudiantes y personas del gobierno, la banca y la empresa privada.
11. La demanda de los productores por otras innovaciones tecnológicas, lo que contribuyó a la realimentación del proceso de investigación, culminando con la creación de nuevas tecnologías y, consecuentemente, con el fortalecimiento del Sistema Barreirão.

## Referencias

- Kluthcouski, J.; Pacheco, A. R.; Teixeira, S. M.; y Oliveira, E. T. de. 1991. Renovação de pastagens de Cerrado com arroz. 1. Sistema Barreirão. Documento no. 33. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), Goiânia, Goiás, Brasil. 20 p.

Mussoi, E. M. 1993. Necessidade de novos paradigmas de desenvolvimento e um repensar das instituições de pesquisa, extensão e ensino, a partir das demandas concretas da sociedade. En: Seminário de Extensão Rural das Regiões Sul e Sudeste, Vitória-ES, 12 a 14 de abril de 1993. 9 p.

Seguy, L.; Bouzinac, S.; Pacheco, A.; Carpenedo, V.; y Silva, V. da. 1989. Perspectiva de fixação da agricultura na Região Centro-Norte do Mato Grosso. 2. ed. EMPA-MT/EMBRAPA-CNPAF/CIRAD-IRAT, Cuiabá, Brasil. 52 p.

**PARTE 3**

**Cultivos y Forrajes como  
Componentes de Sistemas  
Agropastoriles**

## CAPITULO 9

# Alternativas Genéticas para Sistemas de Producción en Sabanas de Suelos Acidos de la Orinoquia Colombiana

R. A. Valencia R. y D. Leal M.\*

## Contenido

Resumen	116
Abstract	116
Introducción	117
Cultivos Alternativos para Suelos Acidos	117
Arroz ( <i>Oryza sativa</i> L.)	117
Soya ( <i>Glycine max</i> L. Merrill)	119
Sorgo ( <i>Sorghum bicolor</i> )	120
Maíz ( <i>Zea mays</i> )	121
Manejo agronómico de cultivos anuales	122
Gramíneas y Leguminosas Forrajeras	123
<i>Andropogon gayanus</i> Kunth cv. Carimagua-1	123
<i>Stylosanthes capitata</i> cv. Capica	124
<i>Centrosema acutifolium</i> Benth cv. Vichada	124
<i>Brachiaria dictyoneura</i> cv. Pasto Llanero	124
<i>Arachis pintoi</i> cv. Maní Forrajero Perenne	125
Sistemas de Producción	125
Conclusiones	127
Referencias	127

---

\* Respectivamente: Ing. Agrónomo, M.Sc., Genetista; e Ing. Agrónomo, Ph.D., Coordinador del Grupo Regional Agrícola, Corpoica, C.I. La Libertad, Apartado Aéreo 3129, Villavicencio, Colombia.



## Resumen

Las sabanas de la Orinoquia Colombiana se caracterizan por tener suelos de baja fertilidad con bajos contenidos de fósforo (P), calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y azufre (S); bajo pH, alta concentración de aluminio (Al) intercambiable, elevada saturación de Al y baja estabilidad de la estructura física. Sin embargo, estos suelos ácidos tienen algunas características que favorecen sistemas de agricultura sostenible, entre ellas: (1) abundante y adecuada distribución de lluvias entre abril y noviembre, (2) topografía relativamente plana, (3) buenas características físicas, y (4) una alta disponibilidad de tierra. La Orinoquia Colombiana comprende cerca de 26 millones de hectáreas, de las cuales el 53% son bien drenadas y subutilizadas en sistemas de ganadería extensivos en pasturas manejadas con baja tecnología y escasa productividad. Para el manejo racional de estos suelos se requieren tecnologías altamente eficientes y de bajo costo. Los componentes tecnológicos necesarios para el desarrollo de esta región incluyen especies y cultivares que toleren altas concentraciones de Al y sean eficientes en la absorción de nutrimentos. Asimismo, se requieren prácticas que incrementen la estabilidad estructural en los agregados y que disminuyan la erosión y la escorrentía del suelo. La investigación en sistemas de producción de cultivos para incorporar estas áreas a la producción de alimentos ha sido liderada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), a través de la generación de variedades con alto potencial genético y el desarrollo de prácticas tecnológicas de manejo de suelos adecuadas para la solución de los problemas edáficos. Los logros de la investigación en sistemas de producción sostenible son el resultado de la integración de los grupos multidisciplinarios. Las variedades de arroz *Oryzica Sabana 6* y *Oryzica Sabana 10*, la variedad de soya *Soyica Altillanura 2*, las variedades de sorgo *Sorghica Real 40*, *Sorghica Real 60* e *Icaravan 1*, y la variedad de maíz *Sikuani V-110*, todas ellas tolerantes a suelos ácidos han sido el resultado de la investigación cooperativa entre el ICA, Corpoica y centros internacionales como el CIAT, Intormil y el CIMMYT. Para la producción pecuaria se han desarrollado diferentes alternativas de gramíneas y leguminosas forrajeras de alto potencial genético como *Brachiaria* sp., *Andropogon gayanus*, *Stylosanthes capitata*, *Arachis pintoi* y *Centrosema acutifolium*, entre otros.

## Abstract

The savannas of the Colombian Orinoquia are characterized by low fertility soils that are poor in essential nutrients, particularly phosphorus, calcium, magnesium, potassium, and sulfur. They also have low pH, high exchangeable aluminum (Al), high Al saturation, and fragile soil structure. Nevertheless, they offer certain advantages for sustainable agriculture such as abundant and adequate rainfall distribution between April and November, flat topography, and large tracts of available land. The entire region comprises about 26 million hectares, of which 53% are well drained and underused. The predominant land use is extensive cattle-raising, with low technology and productivity. The efficient use of these soils require highly viable and cheap technology, including crop species and cultivars that can tolerate high concentrations of Al while efficiently absorbing nutrients. Also needed are land preparation practices that increase stability of soil aggregates and minimize erosion and runoff. The search for suitable food crop production systems has been led by the Colombian Institute of Agriculture and Livestock (ICA) and the Colombian Corporation for Research on Agriculture and Livestock (CORPOICA), who have made progress by integrating multidisciplinary research groups. Collaborative research with international centers such as CIAT (rice), INTSORMIL (sorghum), and

CIMMYT (maize) has led to the release of crop and forage species that tolerate acid soils: rice varieties *Oryzica Sabana 6* and *Oryzica Sabana 10*; soybean variety *Soyica Altillanura 2*; sorghum varieties *Sorghica Real 40*, *Sorghica Real 60*, and *Icaravan 1*; maize variety *Sikuani V-110*; grass species *Brachiaria sp.* and *Andropogum gayanus*; and legume species *Arachis pintoii*, *Stylosanthes capitata*, and *Centrosema acutifolium*.

## Introducción

Los Llanos Orientales de Colombia abarcan cerca de 26 millones de hectáreas, de los cuales un 53% pertenecen a la Orinoquia bien drenada que comprende terrazas aluviales y las altillanuras plana y disectada. De esta área, cerca de 4.6 millones de hectáreas en terrazas y altillanura plana tienen un alto potencial agrícola y pecuario, que se encuentran actualmente subutilizadas en sistemas de ganadería extensiva, con pasturas de baja calidad nutritiva.

La producción en estos ecosistemas es limitada por factores agroecológicos como la baja fertilidad de los suelos debida a la deficiencia de P, Ca, Mg, K y S; elevada acidez; alta saturación de Al y fragilidad estructural. Otros factores limitativos, que han retrasado el desarrollo sostenible de la región, son la falta de adopción de tecnología y la ausencia de estudios socioeconómicos. Aún se utiliza germoplasma no-adaptado y prácticas agronómicas que modifican de manera negativa el ambiente —exceso de laboreo; uso excesivo de enmiendas, fertilizantes químicos y pesticidas— lo cual se traduce en altos costos de producción, escasos incentivos al productor, baja rentabilidad y competitividad de los productos.

No obstante, la región tiene ciertas ventajas, entre ellas, suelos de topografía plana de fácil mecanización, y suficiente y adecuada distribución de las lluvias entre abril y noviembre.

Con estos antecedentes y considerando el gran potencial

agropecuario de la Orinoquia colombiana, el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) han liderado la investigación en la región con un enfoque multidisciplinario, con el fin de generar tecnologías que permitan el desarrollo de sistemas de producción eficientes, sostenibles y competitivos. La generación tecnológica está orientada hacia la obtención de especies y genotipos mejorados adaptados a suelos ácidos altamente saturados de Al, eficientes en la utilización de los recursos de producción y en la generación de prácticas agronómicas conservacionistas.

## Cultivos Alternativos para Suelos Ácidos

La mayoría de los cultivos no toleran las condiciones de fertilidad prevalentes en suelos ácidos y requieren la aplicación de dosis altas de enmiendas y fertilizantes para producir satisfactoriamente. Teniendo en cuenta esta situación, las entidades antes mencionadas han desarrollado germoplasma adaptado a estos ecosistemas, tolerante a Al y con alto potencial de producción (Cuadro 1).

### Arroz (*Oryza sativa L.*)

La investigación sobre mejoramiento genético de arroz para suelos ácidos de la Orinoquia colombiana se inició en 1982 mediante el Convenio ICA-CIAT. En un principio se evaluaron 1360

Cuadro 1. Variedades de cultivos liberadas para suelos ácidos de la Orinoquia colombiana.

Especie	Variedad	Tolerancia Al (% de sat.)	Convenio	Año
Arroz	Oryzica Sabana 6	90	ICA-CIAT	1991
Arroz	Oryzica Sabana 10	90	ICA-Corpoica-CIAT	1995
Soya	Soyica Altillanura 2	70	ICA-Corpoica-FFA	1994
Sorgo	Sorghica Real 40	40	ICA-Intsormil	1991
	Sorghica Real 60	60	ICA-Intsormil	1991
	Icaravan 1	40	ICA-Intsormil-Alcaravan	1993
Maíz	Sikuani V-110	55	ICA-Corpoica-CIMMYT	1994

materiales introducidos que se usaron para identificar progenitores con alto potencial genético por adaptación y reacción a enfermedades. A partir de 1985, mediante hibridaciones realizadas en el CIAT y selección y evaluación de líneas por el ICA, se desarrolló la primera variedad de arroz para sabanas ácidas, conocida como *Oryzica Sabana 6*.

*Oryzica Sabana 6*, que tiene como progenitores: TOx 1780-2-1-1-1P-4/Col1 x M312A//IAC 47, fue liberada en 1991 como la primera variedad de arroz de secano de alto rendimiento para suelos ácidos. La tolerancia de este genotipo a suelos ácidos parece deberse a exudados orgánicos de las raíces, entre ellos el ácido cítrico. Estos ácidos establecen enlaces con el Al, al cual se ligan fuertemente e inactivan, a la vez que liberan el P fijado.

Esta variedad mejorada de arroz es precoz —tiene un periodo vegetativo entre 110 y 115 días— tolera altas saturaciones de Al (> 90%); presenta hojas anchas; tallos gruesos y fuertes; y es resistente al volcamiento. Tiene un promedio de altura de 100 cm y produce granos largos y delgados con poco centro blanco. Se caracteriza por raíces profundas, lo que le permite tomar más fácilmente el agua y los nutrientes de las capas inferiores del suelo.

*Oryzica Sabana 6* es resistente a las enfermedades y plagas prevalentes

en la región, lo que permite reducir o eliminar el uso de agroquímicos, ayudando a la conservación del medio ambiente. Esta variedad se puede sembrar en asociación con pastos y leguminosas, lo cual permite así el establecimiento en corto tiempo de una pastura mejorada (Leal et al., 1991).

En pruebas regionales en suelos con saturaciones de Al entre 81% y 92%, esta variedad produjo, en promedio, 3.22 t/ha, mientras que la variedad mejorada IAC-165 (de Brasil), utilizada como testigo tolerante, produjo 2.21 t/ha, y las variedades susceptibles presentaron rendimientos aun inferiores (Cuadro 2).

Otra alternativa genética desarrollada para suelos ácidos y que presenta granos de mejor calidad es la nueva variedad de arroz *Oryzica Sabana 10*, que fue desarrollada en 1986 mediante el cruzamiento Colombia 1 x M 312A//IRAT 124//RHS 107-2-1-2TB-1-1M, realizado en el

Cuadro 2. Rendimiento de variedades de arroz en suelos ácidos de los Llanos Orientales, entre 1989 y 1990.

Variedad	Rendimiento (kg/ha) <sup>a</sup>
<i>Oryzica Sabana 6</i>	3220
IAC-165	2212
<i>Oryzica Llanos 5</i>	878

a. Promedio de 18 pruebas.

CIAT y a partir del cual se generó, por selección individual, la Línea 3, que posteriormente recibió el nombre de Oryzica Sabana 10.

En 1994, en pruebas realizadas por Corpoica en las localidades de Yopal y Puerto López, y en los centros experimentales La Libertad y Carimagua (Llanos Orientales de Colombia), la Línea 3 produjo, en promedio, 3.6 t/ha en tres pruebas regionales y 2.9 t/ha en cuatro siembras semicomerciales, siendo estos rendimientos similares a los obtenidos con la variedad Oryzica Sabana 6 (Cuadro 3) (Aristizábal et al., 1995).

La variedad Oryzica Sabana 10 presenta una mayor producción de biomasa como materia seca (M.S.), en comparación con Oryzica Sabana 6; y tiene excelente habilidad para competir en sistemas asociados arroz-pasturas. Además es resistente al volcamiento, posee un mayor nivel de resistencia a la Piricularia en la hoja y en el cuello de la panícula. La apariencia del grano (longitud y relación largo:ancho) le dan una ventaja adicional para el sector molinero, mejorando, en consecuencia, las condiciones de mercado para el arroz de sabana (Aristizábal y Leal, 1995).

El mejoramiento genético del arroz para suelos ácidos actualmente está

orientado hacia la búsqueda de materiales precoces de alto rendimiento, calidad y adaptación, con resistencia a Piricularia, que puedan ser introducidos en sistemas integrados de producción en sabanas tropicales, en las cuales la rotación y las asociaciones de cultivos son elementos fundamentales de sostenibilidad.

### Soya (*Glycine max L. Merrill*)

En 1984 se inició en el CI. La Libertad (Villavicencio, Meta) el programa de Mejoramiento Genético de Soya para Suelos Ácidos, con el fin de desarrollar genotipos tolerantes a altas saturaciones de Al en el suelo.

Inicialmente se evaluaron 1089 accesiones de la colección mundial de soya (421 de Brasil, 226 de Taiwán y 422 de otros países) y 407 poblaciones entre segregantes y líneas avanzadas del CI. Palmira (Valle del Cauca). Como producto de fuertes presiones de selección intra e interfamiliar se obtuvieron las primeras líneas de soya tolerantes al 70% de saturación de Al, las que recibieron la denominación de Litas (líneas tolerantes a Al) (Valencia, 1994).

La línea Lita 09, caracterizada por su buena adaptación y alto potencial genético, fue liberada con el nombre de Soyica Altillanura 2 como la primera

Cuadro 3. Rendimiento promedio (t/ha) de las variedades Oryzica Sabana 6 y Oryzica Sabana 10 en pruebas regionales y semicomerciales en suelos ácidos de la Orinoquia colombiana.

Localidad	Oryzica Sabana 6		Oryzica Sabana 10	
	Tipo de prueba			
	Regional	Semicomercial	Regional	Semicomercial
El Yopal	4.5	3.2	4.5	3.9
La Libertad	3.4	2.0	2.5	2.1
Puerto López	3.0	3.0	2.7	2.7
Carimagua	—	3.5	—	3.2
Promedio	3.6	2.9	3.2	2.9

variedad de soya para suelos ácidos de la Altillanura colombiana. La variedad fue desarrollada por el ICA en período de transición a Corpoica. El número 2 hace referencia a la segunda variedad de soya obtenida en los Llanos Orientales, después de la variedad Soyica Ariari 1, que fue desarrollada para zonas de vega del Piedemonte llanero.

Soyica Altillanura 2 es producto del cruzamiento simple de la línea 109 (actual Soyica N-21) y la línea 124. La primera tiene como uno de sus progenitores la introducción PI274954 que presenta tolerancia a crisomélidos, y la segunda cuenta con genes de la variedad Davis para resistencia a *Cercospora* (*Cercospora sojina*), combinados con genes de las variedades Hill y Mandarin para alto potencial de rendimiento.

Esta variedad se caracteriza por tolerar hasta un 70% de saturación de Al y utilizar eficientemente los recursos de producción, siendo una alternativa potencial para los sistemas de producción sostenible de los suelos ácidos de sabanas tropicales. Presenta crecimiento indeterminado, flores de color púrpura, pubescencia café y semillas amarillas. Es precoz, con un período vegetativo entre 85 y 95 días, con 13 a 26 vainas por planta y dos a tres granos en cada una de ellas (Caicedo et al., 1984).

En suelos ácidos con 70% o más de saturación de Al, la variedad Soyica Altillanura 2 alcanza rendimientos, en promedio, de 1.5 t/ha, mientras que en suelos con niveles inferiores de saturación aquellos aumentan significativamente (Cuadro 4). En la medida en que se logre aumentar el contenido de materia orgánica en los suelos de la región, mediante rotación de cultivos, incorporación de abonos verdes y manejo eficiente del recurso suelo, se reducirán los efectos nocivos del Al y, consecuentemente, se

Cuadro 4. Rendimiento de Soyica Altillanura 2 y Soyica Ariari 1 en suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia.<sup>a</sup>

Localidad	Al (%)	M.O. (%)	Soyica Altillanura 2 (t/ha)	Soyica Ariari 1 (t/ha)
Villavicencio	63	3.9	2.1	1.8
San Martín	82	3.2	1.4	1.1
Puerto López	81	6.5	1.2	0.8
Promedio			1.6	1.2

a. Promedio de 15 pruebas regionales.

incrementará el potencial productivo de estos agroecosistemas de una manera sostenible y competitiva.

Con el propósito de desarrollar una variedad de soya de mayor adaptación y alto rendimiento, Corpoica adelanta investigación en evaluación y selección de progenitores de alto potencial genético para involucrarlos en planes de hibridación dirigida. De este proceso se han generado líneas avanzadas altamente promisorias para suelos ácidos, las cuales son precoces y resistentes a las principales enfermedades presentes en la región.

### **Sorgo (*Sorghum bicolor*)**

En 1983 se inició en el Centro de Investigaciones La Libertad la selección de materiales de sorgo tolerantes a suelos ácidos. En un principio se evaluaron 4362 cultivares introducidos a Colombia por el Instituto de Sorgo y Millo (Intsormil). Como producto de selecciones por precocidad, altura de planta y estabilidad en rendimiento, realizadas dentro del Convenio ICA-Intsormil, se obtuvieron las primeras variedades adaptadas a este ecosistema. Estas variedades fueron liberadas como Sorghica Real 40 y Sorghica Real 60, las cuales toleran hasta 40% y 60% de saturación de Al en el suelo, respectivamente (ICA, 1990).

Sorghica Real 40 es una selección de la introducción Serere 1, que tiene entre 59 y 62 días a floración, una altura de planta entre 1.5 y 1.7 m, excursión de la panoja de 5 a 7 cm, hojas lisas, panojas semiabiertas y semicompactas. Presenta buen comportamiento en los dos semestres del año, con rendimientos superiores en el primero (Cuadro 5).

Sorghica Real 60 es una selección de la introducción MN 4508 y tiene: tolerancia a plagas y enfermedades, buena adaptación y estabilidad en rendimiento en suelos con saturaciones de Al entre 40% y 60% (Cuadro 5). Para la selección de esta variedad se tuvieron en cuenta la precocidad y la altura de la planta (Ruiz y Rendón, 1991).

Ambas variedades son tolerantes a las principales enfermedades (*Colletotrichum* y *Gloeocercospora*) que afectan el sorgo en los Llanos Orientales de Colombia; y aunque en el primer semestre no tienen problemas de plagas, en el segundo se deben hacer liberaciones de *Trichogramma* para reducir los ataques de *Diatraea*.

Cuadro 5. Rendimiento (t/ha) de variedades de sorgo de grano en pruebas regionales en suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia.<sup>a</sup>

Variedad	Pruebas regionales	
	Semestre A	Semestre B
Sorghica Real 40	3.40	2.79
ICAIMA	0.71	2.17
Sorghica Real 60	3.22	2.99
ICA Nataima	0.53	0.89

a. Los rendimientos de Sorghica Real 40 e ICAIMA corresponden a datos de siete localidades en el semestre A y 13 en el B. Los rendimientos de Sorghica Real 60 e ICA Nataima fueron obtenidos en 13 localidades.

FUENTE: ICA (1990).

Otra alternativa para suelos ácidos es la variedad de sorgo Icaravan 1 que fue obtenida a partir del material introducido IS 3071, originario de Uganda y resultante de la investigación realizada por Intsormil dentro del Convenio entre la estación experimental El Alcaraván y el ICA. Se adapta bien a suelos de vega y vegones con 60% de saturación de Al, tiene un período vegetativo de 110 días y 73 días a floración. La altura de la planta es de 1.6 m y tiene una panoja semiabierta con granos café-claro. Presenta tolerancia a enfermedades del follaje y a los hongos *Fusarium* y *Curvularia* que causan pudrición del grano. En pruebas regionales y siembras comerciales realizadas en el segundo semestre en la zona de Arauca, presentó rendimientos promedio de 2.48 t/ha, siendo éstos iguales o ligeramente superiores a los de la variedad comercial Sorghica Real 60, utilizada como testigo (Muñoz et al., 1993).

Actualmente existen otros convenios, entre ellos, el de Corpoica con el International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT, por su sigla en inglés) para la investigación en variedades de sorgo de grano y forrajeras con mejor adaptación a suelos ácidos que las variedades antes mencionadas.

### Maíz (*Zea mays*)

El ICA y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), en colaboración con Corpoica, desarrollaron la variedad mejorada de maíz Sikuaní V-110. Esta variedad tolera hasta 55% de saturación de Al y contenidos de P tan bajos como 8 ppm en el suelo. Por lo anterior, se recomienda sembrarla en suelos mejorados de la Altillanura y el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia. Es resistente a volcamiento, alcanza, en promedio, 2 m de altura, la

aparición de flores femeninas ocurre a los 57 días y la cosecha se puede hacer 2 meses más tarde. Los granos son amarillos, de textura cristalina y una ligera capa harinosa. En pruebas regionales realizadas en suelos ácidos con un pH promedio de 4.7, 8 ppm de P y 56% de saturación de Al, la variedad rindió 2.9 t/ha de grano, siendo este rendimiento 53% superior al testigo susceptible (Cuadro 6). En suelos sin problemas por Al, de fertilidad media a alta, la variedad puede alcanzar un rendimiento, promedio, de 7.1 t/ha (Torres et al., 1994).

Con el fin de incrementar la productividad del maíz en suelos de sabana, el Convenio Corpoica-CIMMYT ha desarrollado una serie de híbridos con buen vigor, que superan significativamente en rendimiento a la variedad Sikuaní V-110. Estos

materiales se encuentran en proceso de evaluación bajo diferentes prácticas agronómicas antes de su liberación.

### **Manejo agronómico de cultivos anuales**

Además de la identificación de variedades adaptadas a suelos ácidos, fue necesario desarrollar técnicas de manejo agronómico adecuadas para optimizar los recursos existentes, en ellas se incluyen: la selección del terreno; la preparación de suelos con implementos adecuados para minimizar las pérdidas por erosión y mejorar la aireación y la actividad biológica; épocas y densidades de siembra; la fertilización y el manejo integrado de plagas. En los Cuadros 7 y 8 se resumen algunas de las recomendaciones para el manejo de los cultivos anuales en suelos ácidos.

Cuadro 6. Rendimiento (t/ha) de las variedades de maíz Sikuaní V-110 y Tuxpeño en suelos ácidos de diferentes regiones, entre 1992-93.

Variedad	Llanos Orientales (18 sitios)	Otros países (dos sitios)	Valles interandinos (cinco sitios)
Sikuaní V-110	2.93	3.11	7.14
Tuxpeño	1.92	2.67	6.45

FUENTE: Torres et al. (1994).

Cuadro 7. Densidades, épocas de siembra y período vegetativo de especies y variedades de cultivos para suelos ácidos.

Especie	Variedad	Semilla (kg/ha)	Épocas		Período vegetativo (días)
			Primer semestre	Segundo semestre	
Arroz	Oryzica Sabana 6	80-100	15 abril-31 mayo	—	115
Arroz	Oryzica Sabana 10	80-100	15 abril-31 mayo	—	115
Soya	Soyica Altillanura 2	100	25 abril-25 mayo	15 ago.-15 sept.	100
Sorgo	Sorghica Real 40	17	15-30 abril	15 ago.-15 sept.	117
	Sorghica Real 60	17	15-10 abril	15 ago.-15 sept.	120
	Icaravan 1	12	—	15 ago.-15 sept.	110
Maíz	Sikuaní V-110	25	15 mar.-15 abr.		

FUENTES: Leal et al. (1991); Ruiz y Rendón (1991); Torres et al. (1994).

Cuadro 8. Fertilización (kg/ha) recomendada para suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia.

Especie	Variiedad	Cal	N	P	K	Mg	Zn
Arroz	Oryzica Sabana 6	300-500	80-120	22-50	49-100	15-30	2-4
Arroz	Oryzica Sabana 10	300-500	80-120	22-50	49-100	15-30	2-4
Soya	Soyica Altillanura 2	500-600	—	35-43	25-50	15-30	—
Sorgo	Sorghica Real 40	300-600	100	35-43	50-75	—	—
Maíz	Sikuani V-110	500-700	100	43	50	—	—

FUENTES: Leal et al. (1991); Ruiz y Rendón (1991); Torres et al. (1994).

## Gramíneas y Leguminosas Forrajeras

En las sabanas de suelos ácidos de los Llanos Orientales de Colombia, la alimentación animal está basada en la utilización de biomasa forrajera de gramíneas nativas e introducidas de calidad baja o moderada, lo que repercute negativamente en la producción animal. Con el objeto de mejorar esta situación, el ICA, Corpoica y el CIAT han unido esfuerzos en la generación de alternativas forrajeras de amplia adaptación, buena calidad y con potencial para producción en la región. Para ello, se han venido desarrollando programas de introducción, selección y desarrollo de germoplasma.

Las leguminosas son componentes importantes de las pasturas tropicales, ya que fijan nitrógeno atmosférico que es aprovechado por las gramíneas en

sistemas asociados para aumentar la producción y la calidad nutritiva, contribuyendo de esta manera en forma significativa a la ganancia de peso de los animales en pastoreo. En el Cuadro 9 se incluye un listado de especies forrajeras promisorias en regiones tropicales con suelos ácidos.

### ***Andropogon gayanus* Kunth cv. Carimagua-1**

Originario de Africa Occidental fue introducido por el CIAT a Colombia en 1973. Crece bien en suelos ácidos. Es de polinización cruzada y responde a días de corta longitud, siendo su periodo de cosecha de 36 a 44 días desde el inicio de la floración. En condiciones comerciales produce entre 65 y 125 kg/ha de semilla limpia.

La producción anual de peso vivo animal en sabanas con pasturas de cv. Carimagua-1 en monocultivo varía

Cuadro 9. Pastos y leguminosas forrajeras para suelos ácidos.

Cultivar	Nombre científico	Convenio	Año
Carimagua -1	<i>Androgon gayanus</i>	ICA-CIAT	1981
Capica	<i>Stylosanthes capitata</i>	ICA-CIAT	1983
Centrosema Vichada	<i>Centrosema acutifolium</i>	ICA-CIAT	1987
Pasto Llanero	<i>Brachiaria dictyoneura</i>	ICA-CIAT	1987
Maní Forrajero Perenne	<i>Arachis pintoi</i>	ICA-CIAT	1992

FUENTE: ICA (1983; 1987; 1990).



entre 90 y 119 kg/año. La introducción de leguminosas en estas pasturas permite alcanzar ganancias de peso vivo de 150 kg/año con cargas moderadas hasta de 2 animales/ha. A las 12 semanas de rebrote produce entre 3 y 6 t/ha de M.S. en épocas seca y lluviosa, respectivamente (Belalcázar et al., 1995).

### ***Stylosanthes capitata* cv. *Capica***

Esta leguminosa resistente a la antracnosis y adaptada a suelos ácidos, permite obtener buena productividad animal y aceptables retornos económicos. Por el fácil establecimiento y manejo, tolerancia a las sequías prolongadas y abundante producción de semilla, es ideal para aumentar y mantener la producción de las pasturas. Otra ventaja es su persistencia bajo condiciones de pastoreo y su compatibilidad con gramíneas como el cv. Carimagua-1 (*A. gayanus*). En pruebas agronómicas con pastoreo controlado y en asociación con el cultivar anterior, produce anualmente entre 2 y 3 t/ha de M.S. Los rendimientos de semilla en vaina varían entre 75 y 300 kg/ha, si la cosecha es mecanizada; y 50% mayor con cosecha manual. En ambos casos, la pureza de la semilla alcanza 98% y la germinación, una vez escarificada, es de 95%. El contenido de proteína cruda de las hojas en la época seca es de 12% y en la lluviosa de 18%, siendo la digestibilidad de 55% a 60% (ICA, 1983).

### ***Centrosema acutifolium* Benth. cv. *Vichada***

Esta especie es originaria de la Orinoquía colombiana y fue recolectada en 1979 en el departamento del Vichada. En condiciones experimentales se ha mostrado como una leguminosa bien adaptada a suelos

ácidos de baja fertilidad, tolerante a la sequía y de mejor calidad que otras leguminosas adaptadas a la región, con potencial para establecimiento en asociación con gramíneas forrajeras como *A. gayanus* cv. Carimagua-1 y *B. decumbens*. En las condiciones de los Llanos Orientales, con período de rebrote de 12 semanas, se han obtenido producciones de 0.9 a 2 t/ha de M.S. en épocas seca y lluviosa, respectivamente.

Es una planta de días cortos que se reproduce por autofecundación. La floración se inicia a mediados de noviembre y tiene una duración entre 4 y 5 semanas, variando los rendimientos de semilla entre 30 y 80 kg/ha.

Su contenido de proteína puede llegar a 25% con una digestibilidad de 60%. En el CI. Carimagua, después de 2 años de pastoreo, la asociación de *A. gayanus* cv. Carimagua-1 con esta leguminosa ha producido ganancias de peso vivo de 670 g/animal por día en época de lluvia y de 115 g/animal por día en época seca (ICA, 1987).

### ***Brachiaria dictyoneura* cv. *Pasto Llanero***

Es el resultado del esfuerzo interinstitucional ICA-CIAT. Este cultivar fue evaluado y seleccionado como alternativa para el Piedemonte y la Altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia. Es originario de África y fue introducido a Colombia por el CIAT en 1978.

Se caracteriza por su buena adaptación y producción en suelos ácidos de baja fertilidad; es tolerante a la sequía y se recupera bien después de las quemadas; tolera el ataque del mión de los pastos y se recupera rápidamente; no tolera encharcamiento prolongado; se propaga por estolones, cepas o carióspside; las semillas presentan latencia prolongada y difícil

de romper; de buena palatabilidad y buena capacidad de carga. En el Piedemonte, la producción de forraje fluctúa entre 0.6 y 0.7 t/ha de M.S. en época seca y entre 0.9 y 1.7 t/ha de M.S. en época de lluvias. La capacidad de carga del cv. Llanero en pasturas asociadas con leguminosas varía entre 3 y 6 animales/ha en sistemas de pastoreo alterno. La ganancia de peso vivo es de 179 kg/animal y de 537 kg/ha por año, con un contenido de proteínas de 8.6% y una digestibilidad de 59% (ICA, 1987).

### **Arachis pintoi cv. Maní Forrajero Perenne**

El Maní Forrajero Perenne es originario de Brasil, se adapta bien a condiciones de suelos tropicales de textura entre franco y arcilloso, en suelos ácidos con altos contenidos de Al intercambiable. Tiene buena persistencia y compatibilidad con gramíneas, facilidad de propagación vegetativa o por semilla. Por su hábito estolonífero soporta bien el pastoreo con carga animal alta. Presenta moderada tolerancia a la sequía y es ideal para cultivos de cobertura y control de la erosión en asociación con cultivos perennes. En la Altillanura, esta leguminosa ha alcanzado producciones de M.S. hasta de 1.4 t/ha por año, mientras que en el Piedemonte llanero produce entre 3.8 y

5.5 t/ha. El nivel de proteína cruda en las hojas varía entre 13% y 18% en las épocas seca y lluviosa, respectivamente. El promedio de digestibilidad es de 62% a 67%. En el Piedemonte, en pastoreo alterno y carga fija de 3 animales/ha, la producción anual de peso vivo en pasturas solas y asociadas con Maní Forrajero Perenne varía entre 134 y 200 kg/animal en *B. decumbens*, y entre 131 y 168 kg/animal con *B. dictyoneura* (Rincón et al., 1992).

En el Cuadro 10 se presentan algunas recomendaciones técnicas para el manejo de especies forrajeras adaptadas a suelos ácidos.

### **Sistemas de Producción**

La fragilidad de los suelos en las sabanas ácidas de la Orinoquia colombiana, la pérdida de estructura por la aplicación de prácticas inadecuadas de preparación y la pérdida de suelo por erosión, demandan la aplicación de prácticas conservacionistas que permitan la sostenibilidad del sistema, tanto en el aspecto productivo como de preservación. Entre estas prácticas se tienen los sistemas rotativos de cultivos anuales de gramíneas y leguminosas de grano, las asociaciones de estos cultivos con gramíneas y leguminosas forrajeras para el

Cuadro 10. Densidades y métodos de siembra de pastos y leguminosas forrajeras en los Llanos Orientales de Colombia.

Cultivar	Densidad		Método	
	Semilla (kg/ha)	Vegetativo (t/ha)	Semilla	Vegetativo (distancia, m)
Pasto Llanero	2-3	6-7	Voleo o surco	0.6-0.8
Capica	3-4		Voleo	
Maní Forrajero	8-10	0.5-1	Voleo o surco	
Vichada	3-4		Voleo o surco	0.8
Carimagua-1	8-12		Voleo o surco	

establecimiento de pasturas mejoradas, o los cultivos de cobertura para minimizar las pérdidas de suelo por erosión y compactación.

Con la liberación de la variedad de arroz *Oryzica Sabana 6*, para uso en asociación con gramíneas como *B. dictyoneura* cv. Pasto Llanero y *A. gayanus* cv. Pasto Carimagua-1 y leguminosas forrajeras como *S. capitata* cv. Capica se inició una etapa clave en el desarrollo de sistemas agropecuarios sostenibles para la Altillanura colombiana. El sistema arroz-pasturas fue propuesto como una alternativa para el establecimiento de pasturas mejoradas o para su recuperación en sabanas nativas. La tecnología disponible incluye: la selección del campo, la preparación del suelo utilizando implementos adecuados para minimizar las pérdidas por erosión, el mejoramiento de la aireación y la actividad de los microorganismos en el suelo, el uso de especies y variedades adaptadas, la siembra con densidades y métodos apropiados, la utilización mínima de enmiendas y fertilizantes, el manejo de plagas y enfermedades, y la incorporación de germoplasma forrajero tolerante al ecosistema con el fin de reducir o eliminar la aplicación de agroquímicos y preservar el medio ambiente (Leal, 1994).

Algunas experiencias con la rotación de cultivos anuales para establecer pasturas mejoradas en las sabanas ácidas de la Orinoquia

colombiana, indican que es posible incrementar los rendimientos de los cultivares, mejorar las condiciones fisicoquímicas de los suelos y reducir los costos de establecimiento. Por ejemplo, la variedad *Oryzica Sabana 6* produjo 3.9 t/ha de arroz cuando se sembró en forma consecutiva, mientras que cuando se sembró después de un cultivo de soya produjo 4.2 t/ha.

Aunque la variedad *Oryzica Sabana 6* representa actualmente la mejor alternativa genética para suelos ácidos, su producción en monocultivo puede traer como consecuencia la degradación acelerada de los suelos. Por ello, la rotación o asociación de cultivos con pasturas y leguminosas forrajeras constituyen el principio básico y fundamental para la producción sostenible en las sabanas ácidas de la Orinoquia colombiana.

En el Cuadro 11 se presentan los resultados obtenidos en producción animal bajo el sistema arroz-pasturas. Las ganancias de peso vivo animal son similares a las obtenidas con el uso de otras tecnologías de producción propuestas para suelos de mediana a alta fertilidad en el Piedemonte de los Llanos Orientales de Colombia.

Con el enfoque sistémico de la investigación se espera incorporar a la producción nacional en forma sostenible y económica una extensa área de las sabanas ácidas de la Orinoquia colombiana, mediante prácticas de rotación y asociación de

Cuadro 11. Carga animal y ganancias de peso vivo en pasturas establecidas en asociación arroz-pastos, en Puerto López, Colombia.

Epoca	Carga (animal/ha)		Ganancia de peso (g/animal por día)	
	<i>A. gayanus</i>	<i>B. dictyoneura</i>	<i>A. gayanus</i>	<i>B. dictyoneura</i>
Lluviosa	2.04	1.93	835	692
Seca	1.16	1.13	546	521

cultivos, incorporación de abonos verdes y racionalización en el uso de maquinaria e insumos. Para ello se han elaborado proyectos de investigación multidisciplinaria que permitan establecer las ventajas comparativas de diferentes sistemas de producción de cultivos y pasturas. Con esta tecnología se busca mantener o mejorar el potencial productivo de estos ecosistemas, para satisfacer las necesidades del presente, sin comprometer el bienestar de las futuras generaciones.

Los sistemas de producción que se encuentran en proceso de investigación en esta región incluyen la rotación de cultivos arroz-soya-maíz utilizando variedades tolerantes a Al, la incorporación de abonos verdes y su integración con pasturas mejoradas. Adicionalmente, en estos sistemas se están evaluando los efectos de diferentes intensidades de uso de la tierra sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

## Conclusiones

De esta revisión sobre los sistemas de producción en sabanas ácidas de la Orinoquia colombiana, se puede concluir lo siguiente:

1. Actualmente existe una base genética de germoplasma de cultivos anuales y especies forrajeras para los sistemas integrados de producción en la región.
2. Se dispone de un acervo de tecnologías apropiadas para producción, que está de acuerdo con los principios de sostenibilidad y conservación del medio ambiente.
3. Se deben utilizar sistemas de rotación y asociación de gramíneas y leguminosas que permitan un uso eficiente de los recursos de producción.
4. Independientemente del sistema de producción y de las especies utilizadas, se debe desarrollar y mantener una cobertura sobre el suelo para reducir la erosión, la compactación y las pérdidas de nutrimentos.

## Referencias

- Aristizábal, D. y Leal, D. 1995. Resultados de investigación de la línea 3 de arroz recomendada como variedad para la asociación arroz-pastos en suelos ácidos de la altillanura. Informe técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Regional 8.
- \_\_\_\_\_; Rincón, A.; Delgado, H.; Baquero, J.; y Valencia, C. 1995. Oryzica Sabana 10. Nueva alternativa para obtener praderas mejoradas en los sistemas de producción agropastoriles. Plegable divulgativo. Instituto Colombiano Agropecuario, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Centro Internacional de Agricultura Tropical (ICA-Corpoica-CIAT). Corpoica Regional 8, Villavicencio (Meta), Colombia.
- Belalcázar, D.; Lemus L.; y Durán C. 1995. Capacitación en tecnología de producción de pastos. Especies forrajeras tropicales de interés para pasturas en suelos ácidos de Colombia. Manual técnico. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 337 p.
- Caicedo, G. S.; Valencia, R. R.; y Carmen, C. H. 1984. Soyica Altillanura 2. Primera variedad de soya para suelos ácidos. Plegable divulgativo no. 268. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). Regional 8.

- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1983. Capica (*Stylosanthes capitata* Vog.). Boletín técnico no. 103. 12 p.
- \_\_\_\_\_. 1987. Vichada (*Centrosema acutifolium* Benth.). Boletín técnico no. 152. 13 p.
- \_\_\_\_\_. 1987. Pasto Llanero (*Brachiaria dictyoneura*). Boletín técnico no. 151. 12 p.
- \_\_\_\_\_. 1990. Informe técnico sobre las variedades Sorghica Real 40 y Sorghica Real 60. Programa de Sorgo, C.I. La Libertad, Villavicencio, Colombia. 81 p.
- Leal, D. 1994. Guía general para el establecimiento de praderas mejoradas a través del sistema arroz-pastos. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Regional 8. Corpoica Comunica (1)2.
- \_\_\_\_\_; Sarkarung, S.; Sanz, J. I.; Aguirre, R. H.; y Delgado, H. 1991. Oryzica Sabana 6, variedad mejorada de arroz para sistemas sostenibles de producción en suelos ácidos de sabana. Plegable de divulgación no. 238. Instituto Colombiano Agropecuario, Centro Internacional de Agricultura Tropical, Federación de Arroceros de Colombia (ICA-CIAT-Fedearroz).
- Muñoz, A. G.; Vigoya, J. A.; Rendón, L. W.; y Ramírez, R. 1993. Icaravan-1, Variedad de sorgo para los suelos ácidos de Arauca. Plegable de divulgación. Granja Alcaraván, Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Intsormil.
- Rincón, C. A.; Cuesta M. P.; Pérez, B. R.; Lascano E. C.; y Ferguson, J. 1992. Maní Forrajero Perenne (*Arachis pintoii* Krapovickas y Gregory): Una alternativa para ganaderos y agricultores. Boletín técnico no. 219. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 23 p.
- Ruiz, G. C. y Rendón, W. 1991. Sorghica Real 60, variedad de sorgo para suelos ácidos con 60% de saturación de Al. Plegable de divulgación no. 227. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Intsormil.
- \_\_\_\_\_. 1989. The physiology of aluminum tolerance. En: Metal ions in biological systems. Marcel Dekker, Inc. (24):165-198.
- Torres, A. L.; Navas, A. A.; Pandey, S.; y León, L. A. 1994. Sikuaní V-110, primera variedad de maíz en Colombia tolerante a suelos ácidos. Plegable de divulgación no. 274. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT).
- Valencia R., R. 1994. Mejoramiento genético de soya para suelos ácidos. Revista ICA 29(1):1-10.

## CAPITULO 10

# Investigación en Variedades de Maíz para Suelos Acidos

L. Narro, S. Pandey, A. León, J. C. Pérez y F. Salazar\*

## Contenido

Resumen	129
Abstract	130
Introducción	131
Mejoramiento Genético	131
Desarrollo de germoplasma	131
Mejoramiento de germoplasma	132
Desarrollo de cultivares	134
Estudios Fisiológicos	135
Estudios Agronómicos	136
Ensayos de fertilización en campos de productores	136
Uso de enmiendas	141
Establecimiento de pasturas en asociación con maíz	142
Referencias	143

## Resumen

El maíz (*Zea mays*) se cultiva en 130 millones de hectáreas en el mundo, de las cuales el 60% se encuentran en los países en desarrollo donde es básico para la alimentación de la población humana o como alimento para animales, principalmente aves. Debido a que la demanda por maíz es mayor que el incremento en la producción, las importaciones en estos países están creciendo a un ritmo de 1.5 millones de toneladas por año, siendo urgente incrementar la producción de este cultivo. Para ello, se requerirán tecnologías que aseguren

---

\* Investigadores del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), Lisboa 27, Apartado Postal 6-641, 06600 México, D.F., México.

buenos rendimientos en suelos marginales, ya que las zonas de mayor fertilidad serán ocupadas por cultivos más rentables. Los suelos disponibles para la expansión de la frontera agrícola son generalmente de baja fertilidad, siendo la acidez una de sus principales características. Para aumentar la producción en estos suelos se puede mejorar la fertilidad utilizando enmiendas, o se pueden generar cultivares que crezcan en estas condiciones. Aunque la primera opción tiene algunas limitaciones prácticas para la adopción por el pequeño agricultor, ambas son complementarias. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), con sede en México, conjuntamente con varios programas nacionales de investigación, han optado la segunda estrategia, o sea, la obtención de cultivares tolerantes a suelos ácidos. Para ello se formaron poblaciones base a partir de las cuales por selección se generaron, primero variedades de libre polinización y, luego, líneas sintéticas e híbridos. Se ha venido trabajando con dos poblaciones amarillas (SA-3 y SA4) y dos blancas (SA-6 y SA-7), que son heteróticas entre sí. El incremento en rendimiento en las variedades generadas ha sido significativo, si se considera que en suelos ácidos el rendimiento de los materiales que constituyeron las poblaciones base fue menor que 0.4 t/ha, mientras que el promedio de rendimiento de las nuevas variedades de libre polinización es 3 t/ha, y el de los híbridos de 4.5 t/ha. Estos mismos cultivares tienen, también, buen rendimiento en suelos de media a alta fertilidad, existiendo híbridos que producen más de 11 t/ha. En el campo de la fisiología se está trabajando para explicar los mecanismos fisiológicos responsables de la tolerancia a suelos ácidos. En el germoplasma existente en el CIMMYT se ha identificado que la exudación de ácido cítrico por las raíces es un mecanismo de esta tolerancia. Simultáneamente, se trabaja en la agronomía del cultivo para encontrar las alternativas que contribuyan al incremento de la productividad de los elementos que componen los sistemas del cultivo de maíz y, a la vez, mantengan la sostenibilidad del ambiente en el que desarrollan las actividades.

## Abstract

Maize (*Zea mays*) is grown throughout the world, on about 130 million hectares. Of these, 60% are in developing countries where maize is both a staple food and animal feed, especially for poultry. Because demand for maize is greater than its production, developing countries import at an increasing rate of 1.5 million tons per year, and thus urgently need to increase their maize production. Because the best lands are occupied by cash crops, marginal environments with acid, low-fertility, soils must be developed. Such soils can be improved by using amendments, complemented by planting adapted cultivars. Because the first option is usually out of reach of the resource-poor farmer, the Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), based in Mexico, in collaboration with several national agricultural research programs, has developed four maize populations that tolerate acid soils. These populations, two yellow (SA-3 and SA-4, both heterotic) and two white (SA-6 and SA-7, also heterotic), are being improved and used to develop cultivars. Grain yield of cultivars already developed from these populations has increased dramatically from less than 400 kg/ha for the cultivars used to form the base populations to 3.0 t/ha for open-pollinated cultivars, and 4.5 t/ha for hybrids. Yield of these same materials is also very high in medium to highly fertile soils, with some hybrids yielding more than 11 t/ha. One physiological mechanism found as contributing to acid-soil tolerance is the release of citric acid from roots. Also being studied are alternatives for crop management that would help improve the productivity of maize cropping systems while preserving the environment.

## Introducción

El maíz es el tercer cultivo más importante en el mundo, después del arroz y el trigo. Se cultiva en aproximadamente 130 millones de hectáreas, de las cuales más del 60% se encuentran en países en desarrollo. Este cereal provee el 10% de la proteína y el 8% de las calorías para la alimentación humana, siendo básico para millones de habitantes en América Latina y el Caribe, Asia y África.

El incremento anual de la producción de maíz (3%) es menor que el de la demanda mundial (4%), siendo este déficit mayor en países en desarrollo, lo que determina que las importaciones crezcan a un ritmo de 1.5 millones de toneladas por año. El incremento de la producción de maíz en nuevas áreas significa utilizar suelos de márgenes de baja fertilidad y que están expuestos a otros tipos de estrés abióticos. Una de las principales causas de la baja fertilidad de estos suelos es la acidez, que está relacionada con bajo pH, alta saturación de Al y baja absorción de fósforo, principalmente. Estos suelos se encuentran en el trópico, especialmente en el ecosistema de sabana que es considerado de alta importancia para producir alimentos en el futuro próximo; más aun, si se tiene en cuenta que a comienzos del milenio entrante se necesitarían unas 200 millones de hectáreas adicionales para alimentar la población mundial, asumiendo que el consumo per-cápita actual no aumentará.

Para poder utilizar estos suelos se requiere el desarrollo de tecnologías adecuadas. Entre ellas, las más frecuentes son la modificación de las condiciones edáficas para permitir el desarrollo de cultivos, y la manipulación de la estructura genética de la planta para conseguir que los

individuos crezcan favorablemente en estas condiciones. El CIMMYT, en colaboración con varios programas nacionales de investigación, decidió trabajar con la segunda opción a fin de desarrollar cultivares —variedades de libre polinización e híbridos— que se desarrollen bien en condiciones de suelos ácidos y, de esta forma, contribuir con una solución permanente, ecológicamente limpia y económicamente factible, a la generación de tecnologías de fácil adopción por parte de los agricultores.

En la primera parte de este escrito se tratará sobre la manipulación genética de las plantas de maíz, y en la segunda se hace una revisión de los mecanismos responsables de la tolerancia de la planta que le permiten crecer en suelos ácidos. Un mejor entendimiento de estos mecanismos es fundamental para conseguir mayor eficiencia en el esquema de mejoramiento genético. Adicionalmente se están desarrollando materiales genéticos necesarios para marcar genes y estimar mecanismos de tolerancia relacionados con el rendimiento de maíz en suelos ácidos. Finalmente se presentan algunos avances de la investigación agronómica realizada por el CIMMYT como un complemento fundamental en el proceso de adopción de tecnología por parte de los productores en diferentes regiones del mundo.

## Mejoramiento Genético

### *Desarrollo de germoplasma*

El paso inicial dentro del desarrollo de germoplasma de maíz para suelos ácidos consistió en la formación de poblaciones básicas para el programa de mejoramiento. La SA-3 de granos amarillos semicristalinos (Granados et al., 1993) fue la primera población de



maíz tolerante a suelos ácidos. La segunda fue SA-8 derivada del ciclo 2 de hermanos completos (HC) de la población SA-3 (Granados et al., 1995).

Para responder a las exigencias de los programas nacionales y a las necesidades futuras para la producción de híbridos, fue necesario formar otras poblaciones. Se decidió, entonces, formar poblaciones heteróticas entre sí, dos amarillas (SA-4, dentada, y SA-5, cristalina) y dos blancas (SA-6, dentada, y SA-7, cristalina). La metodología para la formación de estas poblaciones fue descrita por Granados et al. (1995) y Pandey et al. (1995).

La prioridad actual es orientar el programa de mejoramiento hacia la producción de líneas, tanto para la formación de sintéticos (variedades de libre polinización) como de híbridos. En consecuencia, se está reuniendo el germoplasma en dos grupos heteróticos, uno para maíces amarillos y otro para blancos (Narro et al., 1997). De acuerdo con la heterosis interpoblacional, las poblaciones SA-3 y SA-5 fueron reunidas en una sola (nueva SA-3) y la población SA-7 fue unida con la población SA-8 (nueva SA-7). Luego se adoptó un programa de selección recurrente recíproca para el grupo amarillo que incluye las poblaciones SA-4 y nueva SA-3, y para el grupo blanco que incluye las poblaciones SA-6 y nueva SA-7.

### **Mejoramiento de germoplasma**

**Ambientes y métodos de selección.** En el programa se han utilizado diferentes métodos de selección recurrente, entre ellos: Mazorca Hilera Modificado (MHM), HC y selección basada en familias  $S_1$  ( $S_1$ ) con pruebas internacionales de progenie en todos los casos. En suelos de alta fertilidad en Palmira (Colombia) se recombinan y generan las progenies que se evaluarán

posteriormente en tres o más localidades dentro del país. Las evaluaciones se realizan en el CI. Carimagua en suelos con 55% de saturación de Al y 10 ppm de P (Bray-II), Santander de Quilichao en condiciones similares a las de Carimagua, y en Villavicencio en dos suelos con 10 ppm de P y 55% y 65% de saturación de Al. Adicionalmente, si es posible, las progenies son evaluadas en Brasil, Filipinas, Indonesia, Perú, Tailandia y Venezuela. La selección de las progenies de mejor comportamiento a través de localidades y su recombinación han permitido mejorar los niveles de tolerancia de las poblaciones de maíz a las condiciones de acidez en el suelo.

Una vez formadas las poblaciones base, se inició el proceso de selección intrapoblacional con el fin de incrementar la frecuencia de genes favorables en cada una de las poblaciones.

La población SA-3 ha sido sometida a un proceso de selección intenso (Granados et al., 1993) durante 16 ciclos de selección utilizando el método MHM (Pandey et al., 1984). En la población SA-8 se completaron tres ciclos de selección de HC y  $S_1$ . Actualmente está en progreso un programa de selección recurrente recíproca en las poblaciones amarillas y blancas.

**Criterios de selección.** El principal criterio de selección en el Programa es el alto rendimiento en condiciones tanto de suelos ácidos como fértiles. La selección indirecta, es decir aquella que considera características de más fácil o más rápida evaluación, es útil cuando existe una alta correlación genética entre las dos características incluidas en el proceso de selección, y cuando la heredabilidad del carácter sobre el cual se está haciendo la selección indirecta es

mayor que la heredabilidad del carácter principal. Para la población SA-3, la eficiencia fue sólo de 88.7%, cuando se consideró el número de mazorcas por planta como carácter para mejorar rendimiento (Pandey et al., 1994).

La selección utilizando soluciones nutritivas o macetas con suelo ha sido menos eficiente para mejorar el rendimiento de maíz en suelos ácidos, en comparación con la selección evaluando el rendimiento directamente en parcelas experimentales (Kasim et al., 1990; Magnavaca et al., 1987).

**Ganancia por selección.** En cada una de las poblaciones se ha cumplido un número variable de ciclos de selección (Cuadro 1). Inicialmente, desde mediados de la década de los 70, el método de selección fue MHM en la población SA-3 y, posteriormente, se utilizaron los métodos HC y  $S_1$  o una combinación de ellos en todas las poblaciones, incluyendo la SA-3. Otro aspecto importante de la metodología de selección utilizada consiste en que la evaluación de progenies y de ciclos se hace indistintamente en ambientes con suelos ácidos o fértiles.

El progreso de selección, medido en suelos ácidos para la población SA-3,

dio una ganancia, promedio en 14 ciclos, de 40 kg/ha utilizando el método MHM, y de 310 kg/ha (promedio de dos ciclos) con el método HC. Para las demás poblaciones (SA-4, SA-5, SA-6 y SA-7) se han cumplido dos ciclos de selección con el método HC, con ganancias de 48, 7, 119 y 185 kg/ha por ciclo, respectivamente.

Cuando la evaluación se hizo en suelos fértiles, la ganancia promedio por ciclo con el método MHM en la población SA-3 fue de 47 kg/ha, después de 14 ciclos; y de 145 kg/ha después de dos ciclos con el método HC. Para las poblaciones SA-4, SA-6 y SA-7, las ganancias fueron de 263, 360 y 703 kg/ha por ciclo, respectivamente. En la población SA-5 se presentó una reducción en rendimiento de 131 kg/ha por ciclo. En la interpretación de estos resultados se deben tener en consideración el número de ciclos y de localidades en que se hicieron las evaluaciones.

Las conclusiones más importantes en la evaluación de ciclos de selección son las siguientes:

- La metodología de selección utilizada permitió incrementar simultáneamente el rendimiento tanto en suelos ácidos como en

Cuadro 1. Rendimiento de grano de variedades e híbridos no convencionales de maíz, evaluados en seis localidades con suelos ácidos y tres con suelos no ácidos.

Material	Suelos ácidos		Suelos no ácidos	
	t/ha	%	t/ha	%
Var. Sikuaní	3.07	100	3.65	100
Var. Tuxpeño	2.51	82	3.86	106
Testigo 1	3.10	101	4.81	132
Testigo 2	3.64	118	5.54	152
Promedio variedades	2.47	80	2.67	73
Mejor variedad	3.18	104	3.77	103
Promedio híbrido	3.84	125	4.70	129
Mejor híbrido	4.53	148	5.48	150

suelos fértiles. Las poblaciones que dieron los mejores rendimientos en suelos ácidos, también dieron altos rendimientos en condiciones de suelos fértiles. Una tendencia similar se observó en las poblaciones de menores rendimientos.

- Cuando el método de selección incluyó la evaluación de progenies en ensayos con repeticiones, como ocurre con el método de HC, las ganancias por selección fueron mayores.
- La ganancia por selección depende de la población en estudio y de la precisión con que se realizan la selección y la evaluación de progenies.

### **Desarrollo de cultivares**

Las variedades experimentales pueden ser utilizadas inmediatamente por los programas nacionales de investigación; en consecuencia, en diferentes localidades del mundo se realizan ensayos con repeticiones para evaluar el comportamiento de aquellas que se forman en el Programa, en comparación con los mejores testigos disponibles en cada programa nacional.

Desde 1992 se han venido estableciendo diferentes tipos de ensayos (I, II, III, IV y V) en suelos ácidos en los que se puede observar la evolución de los cultivares obtenidos en el Programa. En el período 1992-93, el ensayo en suelos ácidos II se estableció en 24 localidades —cuatro en suelos fértiles y 20 en suelos ácidos. Los resultados indican que en condiciones de suelos ácidos, el rendimiento de las variedades de maíz CIMMYT-CIAT (CIMCALI's), aproximadamente de 2.8 t/ha, es ligeramente superior al de los mejores testigos regionales (aproximadamente de 2.5 t/ha).

El ensayo tipo III fue sembrado en 13 localidades con suelos ácidos y en dos sin problema de acidez. Los resultados indican que a través de los ambientes con suelos ácidos, la mejor variedad (var.) CIMCALI rindió 3.51 t/ha, mientras que el mejor testigo rindió 3.67 t/ha y la var. Tuxpeño rindió 2.31 t/ha. Como logro en esta serie de trabajos, se destacan las liberaciones de variedades experimentales por programas nacionales de Indonesia (Antasena) y Colombia (ICA-Sikuani V 110).

En el ensayo tipo IV para suelos ácidos, se inició la evaluación de ocho híbridos no convencionales (línea x variedad), conjuntamente con ocho variedades de libre polinización (CIMCALI's 95) y cuatro testigos (Sikuani y Tuxpeño y dos testigos locales). El ensayo se sembró en seis localidades con suelos ácidos y tres con suelos no-ácidos. Los resultados muestran claramente que el rendimiento del mejor híbrido supera en 50% el de las variedades de libre polinización (Cuadro 1). En suelos ácidos, los rendimientos de las var. Sikuani, Tuxpeño y la mejor CIMCALI fueron 3.07, 2.51 y 3.18 t/ha, respectivamente, mientras que el rendimiento del mejor híbrido fue de 4.53 t/ha.

Los resultados en 13 ensayos tipo V, seis en suelos ácidos y siete en suelos no-ácidos, muestran que el rendimiento de los mejores híbridos es aproximadamente 50% mayor que el de la variedad de libre polinización (Cuadro 2). En suelos ácidos, el rendimiento de Sikuani fue de 1.9 t/ha y el del mejor híbrido fue 44% mayor (de 3 t/ha). Obviamente, las condiciones de estrés fueron muy severas, razón por la cual los rendimientos fueron muy bajos.

Lo que se pretende mostrar con esta serie de resultados es que un

Cuadro 2. Rendimiento de grano de variedades e híbridos de maíz evaluados en seis sitios con suelos ácidos y en igual número de sitios con suelos no ácidos.

Material	Suelos ácidos		Suelos no ácidos	
	t/ha	%	t/ha	%
Var. Sikuaní	1.90	100	3.54	100
Testigo 1	2.11	111	5.35	163
Testigo 2	1.72	90	4.87	138
Promedio híbrido	2.27	119	4.74	134
Mejor híbrido simple	2.50	132	5.98	169
Mejor híbrido triple	2.74	144	5.30	150

sistema de producción que incluya el cultivo de maíz como uno de sus componentes es ampliamente beneficiado cuando se utiliza la mejor tecnología disponible, siendo la variedad (cultivar o genotipo en general) un factor clave que puede, en muchos casos, decidir la adopción de una tecnología.

## Estudios Fisiológicos

La toxicidad del Al es el factor limitativo más importante y más ampliamente distribuido en los suelos ácidos; por tanto, la búsqueda de genotipos tolerantes a esta condición es un paso previo fundamental para la adaptación de cultivos. En los cultivos de cebada y trigo se ha encontrado que la adaptación a suelos ácidos y la tolerancia a Al están estrechamente correlacionadas (Reid et al., 1969); un hecho similar parece que ocurre con el maíz. El Al afecta principalmente el sistema radicular de la planta, produciendo un efecto tóxico e inhibiendo la absorción de P y agua. La disminución en el crecimiento del sistema radicular se puede medir algunas horas después del inicio del estrés (Horst et al., 1992), no obstante, existen otros indicadores más sensibles de la toxicidad de Al, entre ellos, la formación de callos en la raíz (Schreiner et al., 1994; Wissemeyer et

al., 1987) y la inhibición del flujo neto de K (Cakmak y Horst, 1991; Sawasaki y Furlani, 1987).

Los mecanismos responsables de la tolerancia de la planta a la toxicidad de Al son aún menos conocidos. Debido a que este fenómeno se manifiesta principalmente en el sistema radicular, es posible que exista una estrecha relación entre la concentración de Al en el ápice de la raíz y la cantidad de crecimiento radicular (Rincón y Gonzáles, 1992).

Actualmente existen evidencias que indican que la toxicidad y la tolerancia a Al se pueden manifestar en el ámbito celular. Esto hará posible desarrollar métodos de evaluación usando cultivos de células y tejidos, lo que permitirá disponer de importantes ayudas para identificar individuos tolerantes a este elemento, tomando como base una planta individual o, quizá, una célula. Esta metodología prepararía el camino para la aplicación de técnicas no convencionales de mejoramiento en la adaptación de plantas de maíz a suelos con problema de acidez.

El P es otro elemento importante en suelos ácidos y su utilización depende de la capacidad de absorción por la planta, el transporte a la superficie foliar, y el metabolismo y

crecimiento de la planta. Como se sabe, este nutrimento se mueve muy poco en el suelo y, como resultado, las plantas con sistema radicular bien desarrollado tienen mayor acceso a él. De igual manera, las plantas con mayor capacidad para segregar enzimas hidrolíticas, ácidos orgánicos y  $\text{CO}_2$ , que incrementan la descomposición de la materia orgánica, también hacen un mayor uso del P disponible en el suelo.

Para identificar individuos tolerantes a suelos ácidos se han ensayado diversas técnicas de evaluación, tomando en consideración las características de la raíz de la planta. En 1987 se evaluaron 17 poblaciones de maíz con diferentes grados de tolerancia a toxicidad de Al, tomando como criterio la longitud seminal neta de la raíz (longitud seminal final menos longitud seminal inicial). Las plantas crecieron en soluciones nutritivas con 0, 4.5, 6 y 8 ppm de Al. En materiales tolerantes a suelos ácidos, por ej., la var. CMS-36, la longitud de la raíz seminal (19.9 cm) fue casi el doble de la de los materiales susceptibles (Tuxpeño = 9.9 cm), aunque algunos materiales que fueron altamente tolerantes en el campo no mostraron superioridad en soluciones nutritivas (Pandey, 1991).

En suelos ácidos de las estaciones CIAT Carimagua y Quilichao se evaluó la tolerancia de genotipos de maíz a suelos ácidos bajo condiciones de campo, macetas en invernadero y solución nutritiva (Urrea, 1994). Las plántulas crecieron por 2 semanas, durante las cuales se midieron características morfológicas que se utilizaron para separar genotipos susceptibles y tolerantes. El primero fue un experimento dialéctico de ocho progenitores (seis tolerantes y dos susceptibles a Al) y sus posibles combinaciones. El segundo consistió en la evaluación de 10 variedades, 2 de las

cuales eran susceptibles. Los resultados sugieren que la técnica de macetas permite distinguir eficientemente genotipos tolerantes y susceptibles. Las correlaciones entre las mejores características en la evaluación en macetas y el rendimiento en campo variaron entre 0.45 y 0.55.

## Estudios Agronómicos

La liberación de la var. Sikuaní por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) en 1974, creó la necesidad de obtener información agronómica complementaria relacionada con fertilización, uso de enmiendas y la factibilidad de incorporar el cultivo de maíz en sistemas agropastoriles. Para tal fin, se iniciaron ensayos en campos experimentales y en fincas de productores en coordinación con los programas nacionales. A continuación se incluyen los avances en estos trabajos.

### **Ensayos de fertilización en campos de productores**

En fincas de los Llanos Orientales de Colombia con tradición en el cultivo de maíz se instalaron dos ensayos en lotes donde tradicionalmente se siembra maíz. Los suelos en los sitios experimentales (Guacavía y Guamal) tienen baja saturación con Al; por tanto, no se aplicó cal. Se utilizaron la variedades de maíz Sikuaní con cinco niveles de N, P y K, y la variedad del agricultor con un nivel alto de fertilización (N = 100, P = 100 y K = 120). Se incluyó, además, un tratamiento representativo del manejo del agricultor —variedad local, sembrada a una densidad de aproximadamente 40,000 plantas/ha, con una fertilización muy baja, deshierba manual y sin control de plagas. Los resultados mostraron un

mayor rendimiento (más de 3 t/ha) de la var. Sikuaní vs. la variedad local. El rendimiento de ésta con la tecnología propia del agricultor fue de 1.9 t/ha y de 2.3 t/ha con alta fertilización. El mayor beneficio neto se obtuvo con la var. Sikuaní y la aplicación de 100, 60 y 60 kg/ha de N, P y K, respectivamente (Cuadro 3).

En la misma región, en campos de agricultores localizados en Pachaquiario, Santa Cruz y La Esperanza, donde antes no se había sembrado maíz por la alta saturación de Al que no permitía el crecimiento de las variedades disponibles no tolerantes a suelos ácidos, se evaluó la var. Sikuaní. Los suelos tenían una

saturación de Al superior a 60%; en consecuencia, fue necesario aplicar 400 kg de cal dolomítica para reducir a 55% esta saturación. Se aplicaron cuatro niveles de N, P y K (Cuadro 4). Los resultados mostraron diferencias en rendimiento entre localidades, pero no en la respuesta a dosis de fertilización en una misma localidad. Lo más importante en estos ensayos fue el rendimiento y la respuesta a la fertilización de la var. Sikuaní (> 4.5 t/ha) en Pachaquiario, donde el nivel de saturación de Al era de 55%.

En el CI. Carimagua (Llanos Orientales de Colombia) se evaluó la respuesta de los cultivares de maíz Sikuaní, CIMCALI 93 SA3, CIMCALI

Cuadro 3. Rendimiento y beneficios netos (Col\$/ha) obtenidos con la variedad mejorada de maíz Sikuaní y la variedad del agricultor, con diferentes sistemas de manejo del cultivo en las localidades Guacavía y Guamal, Colombia. 1994. US\$1 = Col\$900.

Beneficios	Variedad del agricultor		Var. Sikuaní ICA V-110	
	Manejo del agricultor	N (100), P (100), K (120)	N (50), P (100), K (60)	N (100), P (60), K (60)
Costo de producción	115,125	262,815	238,125	241,365
Rendimiento de maíz (t/ha)	1.9	2.3	3.3	3.5
Valor del maíz	349,100	425,500	556,750	595,000
Beneficio neto	233,975	162,685	318,625	353,635

Cuadro 4. Producción (t/ha) de la variedad Sikuaní con la aplicación de N, P y K en campos de agricultores de los Llanos Orientales de Colombia. 1994.

Finca	Tratamiento			Localidad		
	N	P	K	Pachaquiario	Santa Cruz	La Esperanza
1	100	100	120	4.58	2.62	3.07
2	100	100	60	4.27	2.45	2.68
3	100	60	60	4.10	2.85	2.98
4	50	100	60	4.01	2.02	2.20
Promedio				4.24	2.46	2.73
C.V. (%)				11.95	13.21	11.66
DMS (5%)				1.01	0.68	0.64*

\* P < 0.01.

Cuadro 5. Producción de grano (t/ha) de maíz con aplicación de P y K en un Oxisol de los Llanos Orientales de Colombia.

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O (kg/ha)				Promedio <sup>a</sup>
	0	40	80	120	
0	1.52	1.54	1.27	1.20	13.80
40	2.87	3.10	3.22	3.16	3.09
80	3.45	4.47	4.18	4.58	4.17
120	3.83	4.20	5.07	4.55	4.41
Promedio <sup>b</sup>	2.92	3.33	3.44	3.37	

a. DMS<sub>0.05</sub> para dosis de P = 0.29 t/ha.

b. DMS<sub>0.05</sub> para dosis de K= 0.27 t/ha.

93 SA6 y un híbrido experimental a la fertilización con P y K (0, 40, 80 y 120 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O) más 120 kg/ha de N. En general, se observó una ligera respuesta a la aplicación de K, especialmente cuando se aplicaron 40 kg/ha de K<sub>2</sub>O (2.92 t/ha con el testigo vs. 3.33 t/ha con 40 kg/ha de K<sub>2</sub>O). Por el contrario, la respuesta a la aplicación de P fue mayor, siendo los rendimientos de 1.38, 3.09, 4.17 y 4.41 t/ha con 0, 40, 80 y 120 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente (Cuadro 5). No se encontraron diferencias en las respuestas de los cultivos a la aplicación de P y K.

Para estudiar el efecto residual de los tratamientos en este ensayo, se sembraron los mismos cultivos en las parcelas que correspondieron a cada uno de ellos el año inmediatamente anterior y se aplicaron en forma uniforme 80 kg/ha de N. El promedio del rendimiento fue de 2.02 t/ha vs. 3.26 t/ha del año anterior cuando se aplicaron P y K. Esto indica que la inversión en fertilizantes es rentable si el valor de la producción adicional (1.24 t) es mayor que el costo en fertilización, lo que era en esa época una inversión altamente rentable en Colombia. Es posible que esta rentabilidad sea mayor en la medida en que se utilicen las mejores alternativas

tecnológicas disponibles en términos de cultivar, dosis y forma de uso de fertilizantes. En este caso no se observaron diferencias por efecto residual de las dosis de K, pero sí por las dosis de P, siendo los rendimientos de 1.46, 1.99, 2.24 y 2.38 t/ha para los efectos residuales de 0, 40, 80 y 120 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, respectivamente (Cuadro 6).

En los Llanos Orientales de Colombia se hizo un ensayo con el objeto de estudiar la respuesta del maíz a la aplicación de microelementos. Se incluyeron B, Zn, Mn y Cu en las dosis de 1.2, 8.8, 7.2 y 5.2 kg/ha, respectivamente, aplicados como sulfatos y quelatos. Los resultados

Cuadro 6. Efecto residual de la aplicación de P y K en el rendimiento de grano (t/ha) de cultivos de maíz, en los Llanos Orientales de Colombia.

K (kg/ha)	P (kg/ha)				Promedio
	0	40	80	120	
0	1.61	1.86	2.08	2.12	1.92
40	1.43	2.00	2.34	2.86	2.16
80	1.45	1.96	2.30	2.35	2.02
120	1.34	2.13	2.26	2.17	1.98
Promedio <sup>a</sup>	1.46	1.99	2.24	2.38	2.02

a. DMS<sub>0.05</sub> para dosis de P = 0.83 t/ha.

mostraron una clara respuesta a la aplicación de Zn. En el tratamiento que contenía todos los microelementos, el rendimiento de maíz fue de 2.13 t/ha; cuando sólo se incluyó Zn, el rendimiento fue de 1.78 t/ha; cuando no se incluyó Zn, pero sí los otros microelementos, el rendimiento fue de 0.29 t/ha (Cuadro 7). No se observaron diferencias entre las formas quelatos y sulfatos.

A continuación se resumen los principales resultados de ensayos en fincas de agricultores, realizados con la colaboración de instituciones nacionales de Colombia, Ecuador y Perú.

En zonas de vega y en las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia, se estudió el comportamiento de la var. Sikuaní y la del agricultor bajo dos tecnologías de manejo —recomendada y tradicional. La tecnología recomendada incluyó básicamente una fertilización (kg/ha) con N (100), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (60) y K (60); una densidad de siembra

de 50,000 plantas/ha y dos aplicaciones de agroquímicos para el control de plagas. La tecnología del agricultor incluyó la aplicación de la mitad de la dosis de la fertilización anterior, 37,500 plantas/ha y una aplicación para el control de plagas. En ambos casos se aplicaron herbicidas para el control de malezas. Se encontró una respuesta significativa, tanto para el uso de tecnología como para la adopción de la variedad. La tecnología recomendada significó un incremento, promedio, de 0.7 t/ha de maíz en relación con la tradicional, siendo este incremento mayor en el sitio de vega que en sabana. De igual manera, la sola adopción de la variedad mejorada, en este caso Sikuaní, significó un mayor rendimiento de grano, equivalente a 0.6 t/ha. La adopción de esta variedad en condiciones de vega significó más de 1 t/ha en comparación con el rendimiento de la var. local (Cuadro 8). En el Cuadro 9 se incluyen los resultados de cuatro ensayos conducidos en las localidades de Castilla, Granada, Yopal y Aimaral (Llanos Orientales de Colombia) con la var. Sikuaní, un híbrido comercial y la variedad del agricultor, cultivados con el uso de las tecnologías recomendada y tradicional similares a las descritas anteriormente. Los resultados muestran un mayor rendimiento con el uso de la tecnología recomendada frente a la tecnología tradicional (3.4 vs. 2.2 t/ha, respectivamente). Con los tres cultivares se obtuvo, en promedio, más de 1 t adicional de grano con la adopción de la tecnología recomendada, aunque esta diferencia fue mayor cuando se utilizó el híbrido comercial. Por otro lado, la adopción de un nuevo cultivar (Sikuaní) o el híbrido comercial significó un incremento de, por lo menos, 0.6 t de maíz. Este incremento fue mayor con el híbrido comercial en la tecnología recomendada. El análisis económico en el caso de la adopción de la var. Sikuaní mostró una tasa de retorno marginal de 60%, en

Cuadro 7. Rendimiento de maíz (t/ha) con la aplicación de diferentes microelementos (B, Zn, Mn, Cu), en los Llanos Orientales de Colombia.

Tratamiento <sup>a</sup>	Rendimiento (t/ha)
C	2.13
C - B	1.82
C - Zn	0.29
C - Mn	1.78
C - Cu	2.02
B	0.21
Zn	1.78
C - Mn	0.17
C - Cu	0.32
DMS <sub>0.05</sub>	0.32

- a. C = Incluye B, Zn, Mn y Cu;  
 C - B = Incluye Zn, Mn y Cu;  
 B = Incluye sólo B. Similar nomenclatura para los demás tratamientos.



Cuadro 8. Rendimiento (t/ha) de las variedades de maíz Sikuani y local cultivadas con dos tecnologías en sitios de vega y sabana de los Llanos Orientales de Colombia.

Tecnología	Vega		Sabana		Promedio
	Sikuani	Local	Sikuani	Local	
Recomendada	3.45	2.35	2.20	1.65	2.41
Tradicional	2.40	1.80	1.40	1.15	1.68
Promedio	2.92	2.07	1.80	1.40	

Cuadro 9. Rendimiento (t/ha) de cultivares e híbridos de maíz evaluados, cultivados con dos tecnologías en campos de agricultores de los Llanos Orientales de Colombia.

Material	Tecnología <sup>a</sup>		Promedio
	Recomendada	Tradicional	
cv. Sikuani	3.53	2.42	2.98
Híbrido comercial	3.85	2.51	3.18
	2.93	1.82	2.38
Promedio	3.44	2.25	

a.  $DMS_{0.05}$  para tecnologías = 0.34.

comparación con la tecnología utilizada por el agricultor.

En Ecuador se evaluaron cuatro cultivares en cuatro ambientes de la Provincia del Napo con diferentes niveles de saturación de Al. En todos los casos, el rendimiento de la var. Sikuani fue mayor que el de los

testigos locales INIAP 526, una variedad mejorada por el programa nacional de investigaciones de Ecuador para suelos tropicales sin problemas de acidez, y el cultivar nativo Tusilla. El promedio de rendimiento de la var. Sikuani fue de 2.2 t/ha, lo que significa 48% más que el rendimiento del mejor testigo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Rendimiento (t/ha) de cultivares de maíz en ambientes de suelos ácidos de Ecuador.

Variedad	Localidades				Promedio
	El Heno	La Punta	San Carlos	Payamino	
CIM. 93 SA5	1.00	3.01	1.80	1.58	1.78
Sikuani	1.59	3.26	1.54	2.17	2.20
INIAP 526	0.49	2.45	1.36	1.92	1.41
Tusilla	0.69	1.89	1.06	1.75	1.49
Mejor testigo (%)	231	133	133	113	

En Perú, los ensayos fueron establecidos en campos de agricultores en el departamento de San Martín (Alto Mayo). Se evaluaron las variedades Sikuaní y la del agricultor —una generación avanzada de Marginal 28 tropical, que es una variedad derivada de la población 28 del CIMMYT— utilizando las tecnologías recomendada y la del agricultor. La diferencia principal entre tecnologías fue la aplicación de fertilizantes; en la tecnología del agricultor no se aplicó fertilizante, mientras que en la recomendada se aplicaron (kg/ha) de N (90) y P (90 como  $P_2O_5$ ), sin K. Los resultados indican un mayor rendimiento de la var. Sikuaní (1.81 t/ha) en comparación con el rendimiento del cultivar local (1.22 t/ha) (Cuadro 11).

Aunque en estos ensayos se evaluaron diferentes alternativas tecnológicas, cultivares y prácticas agronómicas para identificar variedades de maíz con potencial en sistemas de producción en fincas de productores, también es cierto que este cultivo debe jugar un rol importante en el manejo de los sistemas agropastoriles en sabanas con suelos ácidos de América Latina tropical. En consecuencia, el mejoramiento gradual de germoplasma orientado a la búsqueda de cultivares con mayor rendimiento para estas condiciones

Cuadro 11. Rendimiento (t/ha) de dos cultivares de maíz evaluados bajo dos tecnologías en campos de agricultores del Alto Mayo, Perú.

Cultivar	Tecnología		Promedio
	Recomendada	Agricultor	
Sikuaní	2.00	1.62	1.81
Local	1.24	1.20	1.22
Promedio	1.62	1.41	

contribuirá al mejor uso de estos ambientes. Actualmente, las variedades mejoradas poseen mayor rendimiento y mejores características agronómicas que los cultivares nativos. La evidencia de que el vigor híbrido debe ser explotado para incrementar los rendimientos en suelos ácidos, permite acelerar los trabajos de hibridación para obtener líneas útiles para la formación de sintéticos e híbridos superiores para estos ambientes. Igualmente son muy importantes los resultados que muestran la respuesta a la aplicación de P, principalmente en la dosis 80 kg/ha de  $P_2O_5$ . La alta respuesta a la aplicación de Zn es también un logro importante que se debe tener en cuenta en la formulación de recomendaciones para los sistemas de producción.

### Uso de enmiendas

En la estación CIAT Quilichao (Colombia) se evaluó el efecto de la aplicación de cal dolomítica y su interacción con fósforo en las variedades de maíz Sikuaní (tolerante a suelos ácidos) y Tuxpeño Sequía (susceptible a suelos ácidos). Los efectos se midieron en una fase del cultivo y en un cultivo siguiente sin aplicación de P. Las saturaciones de Al en el suelo fueron 65%, 50% y 35%; y los niveles de  $P_2O_5$  fueron 0, 45, 90 y 135 kg/ha.

En promedio, la var. Sikuaní produjo 22% más grano que la var. Tuxpeño (4.71 vs. 3.87 t/ha); esta diferencia fue mayor cuando el estrés de la planta por la alta saturación de Al o por la deficiencia de fósforo era también mayor. Así, la var. Sikuaní rindió 80% más que Tuxpeño cuando la saturación de Al fue de 64% y no se aplicó fósforo en el suelo (3 vs. 1.7 t/ha). Ambas variedades respondieron a la aplicación de P, siendo la respuesta mayor entre 0 y 45 kg/ha de  $P_2O_5$ . Con esta última dosis, el promedio del

rendimiento de las variedades fue de 1.12 t/ha.

Para evaluar el efecto residual de la cal y el P, se utilizó el arreglo experimental del ensayo anterior, sin aplicación de fertilizantes. Se observó claramente una reducción en el rendimiento en las variedades Sikuaní (1.68 t/ha) y Tuxpeño (0.89 t/ha), siendo más drástica en Tuxpeño a medida que el estrés fue mayor; no obstante, cuando la saturación de Al fue de 64% no se observó un efecto negativo de la ausencia de aplicación de P. La producción en este caso también fue mayor cuando en el cultivo anterior se habían aplicado 45 kg/ha de  $P_2O_5$ ; mientras que en el testigo sin P la producción fue de 0.68 t/ha, con la aplicación de 45 kg/ha de  $P_2O_5$  fue de 1.27 t/ha.

En un Oxisol arenoso de los Llanos Orientales de Colombia se evaluó la aplicación de enmiendas en el suelo. Se utilizaron como fuentes cal dolomítica (57%  $CaCO_3$  y 35%  $MgCO_3$ ) y Sulcamag (25% CaO, 12% MgO y 8% S) en la var. Sikuaní. Se utilizaron los métodos de aplicación: a golpe, a voleo, en banda y una combinación de los dos últimos. Se aplicaron 1.03 t/ha de cal dolomítica y 1.3 t/ha de Sulcamag más

una fertilización constante con 120, 80 y 80 kg/ha de N,  $P_2O_5$  y  $K_2O$ , respectivamente. Cuando se aplicó Sulcamag, el rendimiento de maíz fue dos veces mayor que con cal dolomítica (3.45 vs. 1.59 t/ha). No se observaron diferencias entre métodos de aplicación ni para la interacción métodos x fuentes (Cuadro 12). En consecuencia, la aplicación de Sulcamag a voleo es una buena alternativa en suelos arenosos de los Llanos Orientales de Colombia. Cuando se evaluó el efecto residual de la aplicación de estas enmiendas, se observaron tendencias similares a las observadas en el primer ensayo, no obstante, los rendimientos fueron menores.

### Establecimiento de pasturas en asociación con maíz

En los Llanos Orientales de Colombia se evaluó el establecimiento de pasturas utilizando maíz var. Sikuaní como cultivo asociado. Los tratamientos consistieron en maíz en monocultivo, maíz-gramínea, maíz-gramínea-leguminosa. La gramínea utilizada fue *Brachiaria dictyoneura* y las leguminosas fueron *Stylosanthes capitata*, *Centrosema acutifolium* y *Arachis pintoi*.

Cuadro 12. Efecto en la primera cosecha y residual del método de aplicación de cal y Sulcamag en maíz var. Sikuaní en los Llanos Orientales de Colombia.

Método de aplicación	Enmiendas			
	Primer año		Efecto residual	
	Cal	Sulcamag	Cal	Sulcamag
Golpe (o mateado)	1.20	3.43	0.96	1.41
Banda	1.36	3.00	0.76	1.30
Voleo	1.68	3.67	0.49	1.24
Banda + voleo	2.14	3.71	0.87	1.63
Promedio	1.59	3.45	0.84	1.40

$DMS_{0.05}$  entre enmiendas = 0.54 t/ha.

$DMS_{0.05}$  entre métodos de aplicación = 0.25 t/ha.

Cuadro 13. Beneficio neto (Col\$/ha) de tres sistemas de producción que incluyen maíz y pastos, en los Llanos Orientales de Colombia. 1994. US\$1 = Col\$900.

Variables	Maíz monocultivo	Maíz + gramínea	Maíz-gram.-leg.
Costo de producción (Col\$)	380,000	416,000	670,000
Rendimiento de maíz (t/ha)	2.9	3.1	2.7
Valor del maíz (Col\$)	493,000	527,000	459,000
Valor de la pastura (Col\$)	—	175,000	400,000
Beneficio neto (Col\$)	113,000	286,000	189,000

Los resultados obtenidos (Cuadro 13) indican lo siguiente:

- Un cambio significativo en el rendimiento de maíz por efecto de las pasturas asociadas, bien sea de sólo gramínea o gramínea más leguminosa.
- El valor comercial de la producción de maíz cubre los costos de establecimiento de la pastura asociada. Este resultado es clave para el aprovechamiento más intensivo de las pasturas en la región.
- El costo de establecimiento de la asociación maíz-gramínea-leguminosa se incrementa por el alto costo de la semilla de la leguminosa y de la mano de obra para la siembra de maíz y la pastura. En este ensayo, *A. pinto* se sembró entre dos 'golpes' de maíz y la gramínea en forma paralela y distante 15 cm de las hileras de maíz.
- El mayor beneficio neto por hectárea, equivalente a Col\$286,000 (US\$358), se obtuvo con el sistema maíz-gramínea.

El establecimiento de sistemas de producción que incluyan cultivos anuales y pasturas mejoradas en las sabanas con suelos ácidos de los Llanos

Orientales de Colombia es una alternativa económicamente viable, ya las especies nativas tienen una capacidad de carga tan baja como 1 animal/10 ha, con ganancias de peso vivo de 300 g/día por animal. Esta situación significa un ingreso aproximado de US\$110/10 ha por año. Con pasturas mejoradas se puede incrementar la carga animal a 2 animales/ha y la ganancia de peso vivo puede llegar a 500 g/día por animal, lo que incrementa el ingreso anual por hectárea a US\$365. Si se considera que con la mezcla de gramíneas y leguminosas es posible aumentar entre 10% y 15% la ganancia de peso de los animales, el productor podría obtener un ingreso anual por hectárea de US\$400. Consecuentemente, este ecosistema es propicio para el establecimiento de sistemas agrosilvopastoriles rentables en los que los cultivos anuales, las pasturas mejoradas y los sistemas de explotación arbórea deben ser partes de un sistema de producción que permita el uso racional y sostenible de los recursos naturales disponibles.

## Referencias

- Borrero, J. C.; Pandey, S.; Ceballos, H.; Magnavaca, R.; y Bahia Filho, A. F. 1995. Genetic variances for tolerance to soil acidity in a tropical maize population. *Maydica* 40:283-288.

- Cakmak, I. y Horst, W. J. 1991. Effect of aluminium on net efflux of nitrate and potassium from root tips of soybean (*Glycine max* L.) J. Plant Physiol. 138:400-403.
- Duque-Vargas, J.; Pandey, S.; Granados, G.; Ceballos, H.; y Knapp, E. 1994. Inheritance of tolerance to soil acidity in tropical maize. Crop Sci. 34:50-54.
- Granados, G.; Pandey, S.; y Ceballos, H. 1993. Response to selection for tolerance to acid soils in a tropical maize population. Crop Sci. 33:936-940.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; y \_\_\_\_\_. 1995. Registration of acid soil tolerant maize populations SA-3 and SA-8. Crop Sci. 35:1236.
- Horst, W. J.; Asher, C. J.; Cakmak, J.; Szulkiewicz, P.; y Wissemeier, A. H. 1992. Short-term responses on soybean roots to aluminium. J. Plant Physiol. 140:174-178.
- Kasim, F.; Haag, W. L.; y Wassom, C. E. 1990. Genotypic response of corn to aluminium stress. II. Field response of corn varieties in acid soils and its relationship with performance at seedling state. Indonesian J. Crop Sci. 5:53-65.
- Magnavaca, R.; Gardner, C. O.; y Clark, R. B. 1987. Inheritance of aluminium tolerance in maize. En: Gabelman, W. H. y Loughman, B.C. (eds.). Genetic aspects of plant mineral nutrition. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, Holanda. p. 201-212.
- Narro, L.; Pandey, S.; León, C. De; Pérez, J. C.; Salazar, F.; y Arias, M. P. 1997. Integración de un programa de selección recurrente y de producción de híbridos en maíz (*Zea mays* L.) para suelos ácidos. En: León, C. De et al. Memorias de la IV Reunión Latinoamericana y XVII Reunión de la Zona Andina de Investigadores en Maíz. Cereté y Cartagena, Colombia. p. 333-343.
- Pandey, S. 1991. Desarrollo de germoplasma de maíz tolerante a suelos ácidos: Una investigación colaborativa con participación de los programas nacionales de Suramérica y el CIMMYT. En: Reunión de Coordinadores Suramericanos de Maíz. Cali, febrero 14 y 15 de 1991.
- \_\_\_\_\_; Ceballos, H.; y Granados, G. 1994. Development of soil acidity tolerant maize cultivars for the tropics. Proc. 15th World Soil Sci. Congress, 10-16 July, 1994, Acapulco, México. vol. 5a, p. 579-592.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 1995. Registration of four tropical maize populations with acid-soil tolerance: SA-4, SA-5, SA-6, SA-7. Crop Sci. 34:1230-1231.
- \_\_\_\_\_; Vsal, S. K.; León, C. De; Ortega, A.; Granados, G.; y Villegas, E. 1984. Development and improvement of maize populations. Genetika 16:23-42.
- Reid, A.; Jones, G. D.; Arminger, W. H.; Foy, C. D.; Koch, E. J.; y Starling, T. M. 1969. Differential aluminium tolerance to winter barley varieties and selection in associated greenhouse and field experiments. Agron. J. 61:218-222.
- Rhue, R. D.; Grogan, C. O.; Stockmeyer, E. W.; y Everett, H. L. 1978. Genetic control of aluminium tolerance in corn. Crop Sci. 18:1063-1067.
- Rincón, M. y Gonzáles, R. A. 1992. Aluminium partitioning in intact roots of aluminium-sensitive wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Plant Physiol. 99:1021-1028.
- Sawasaki, E. y Furlani, P. R. 1987. Genética da tolerancia ao alumínio em linhagens de milho cateto. Bragantia 46:269-278.
- Schreiner, K. A.; Hoddinott, J.; y Taylor, G. J. 1994. Aluminium-induced deposition of (1,3)-B-glucans (callose) in *Triticum aestivum* L. Plant and Soil 162:273-280.

Urrea, R. 1994. Desarrollo de una técnica para evaluar la tolerancia en maíz a suelos ácidos y estudio de su herencia. Tesis MS. Universidad Nacional de Colombia.

Wissemeier, A. H.; Klotz, F.; y Horst, W. J. 1987. Aluminium induced callose synthesis in roots of soybean (*Glycine max* L.). J. Plant Physiol. 129:487-492.

## CAPITULO 11

# Germoplasma Promisorio para Sistemas Agropastoriles en los Llanos Orientales de Venezuela

*T. Rodríguez, L. Navarro y D. Sanabria\**

## Contenido

Resumen	146
Abstract	147
Introducción	147
Utilización de la Tierra	148
Pasturas y Actividad Ganadera	148
Germoplasma Forrajero	149
Germoplasma de Arroz	151
Sistemas Agropastoriles	152
Conclusión	152
Referencias	152

## Resumen

La explotación de las sabanas de los Llanos Orientales de Venezuela es una alternativa potencial para incrementar la producción de granos, carne y leche. Sin embargo, el ecosistema presenta suelos con características químicas y físicas que limitan su utilización; por tanto, se requieren tecnologías adecuadas y adaptadas a una explotación sostenible. El Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) está trabajando para desarrollar y adaptar las tecnologías disponibles en la región; para ello ha hecho introducciones de germoplasma de forrajeras que está evaluando a través de localidades. En el caso del cultivo de arroz, desde de 1990, cuando se inició el programa arroz, se vienen identificando líneas tolerantes a

---

\* Investigadores del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP), Venezuela.

suelos ácidos y sequía. Actualmente existen varias líneas adaptadas a las condiciones de suelos ácidos de Venezuela que se están evaluando asociados con pasturas en sistemas agropastoriles. Los avances de estos sistemas se resumen en este capítulo.

## Abstract

Exploiting the savannas of the Venezuelan Plains provides an alternative for increasing the country's grain, meat, and milk production. However, the soils of this ecosystem have physical and chemical limits that require suitable technology for sustainable exploitation. The Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) is developing and adapting available technology for the region, such as introducing forage germplasm and evaluating it locally. Since 1990, when the rice program was established, several lines adapted to acid soils and drought have been identified. Some of these lines are now being evaluated in association with pastures, destined for agropastoral systems. Progress on the research of these systems is summarized in this chapter.

## Introducción

La superficie del ecosistema sabana en Venezuela es de aproximadamente 260,000 km<sup>2</sup> (Ramia, 1967), que equivalen a 29% del territorio nacional. El 70% de esta superficie (189,000 km<sup>2</sup>) corresponde a los Llanos en los Estados Monagas, Anzoátegui, Apure, Barinas, Portuguesa, Cojedes, Guárico y parte del Estado Bolívar. Los Llanos Orientales, con una superficie de 3,395,000 ha, ocupan casi la totalidad del Estado Monagas y el centro-sur de Anzoátegui; en ellos se localizan las formaciones: altiplanicies de mesas, planicies aluviales, valles y superficies onduladas. Las mesas representan 82% del área ocupada por los Llanos Orientales, y se tipifican como mesa de Piedemonte, llanas y disectadas. En las dos primeras se ha desarrollado principalmente la actividad agropecuaria regional (MARN, 1982).

Los Llanos Orientales de Venezuela están localizados dentro de la zona de vida bosque seco tropical, caracterizada por precipitaciones erráticas y de alta intensidad, con un promedio anual de 1600 mm hacia el noreste (dos períodos lluviosos y uno seco) y de 850 mm hacia al sur (un

período lluvioso y uno seco). Entre septiembre y octubre ocurren períodos secos de 5 a 10 días con una probabilidad de ocurrencia de 50%, mientras que aquellos con más de 10 días tienen una probabilidad de 20% (Carballo et al., 1994).

La vegetación es típica de sabana, representada por las gramíneas: *Trachypogon plumosus*, *T. vestitus*, *T. ligularis*, *Axonopus purpusii*, *A. anceps*, *Axonopus pulcher*, *Andropogon bicornis*, *A. selloanus* y algunas especies arbustivas como *Curatella americana*, *Birsonima crassifolia*, *B. cocolobaefolia* y *Bowdichia virgilioides*.

En la formación de mesas predominan Entisoles, Ultisoles y Oxisoles (Quartzipsamments, Kandiusults, Haplustox). Estas zonas tienen algunas ventajas para uso agrícola, entre ellas, topografía plana que no requiere de costosas inversiones en adecuación de tierras; suelos livianos y profundos, de fácil mecanización; buen drenaje que facilita el ingreso de maquinaria poco tiempo después de las lluvias; disponibilidad de agua subterránea abundante y de buena calidad.



Caraballo et al. (1994) consideran que las limitaciones principales de este ecosistema son las siguientes:

1. Textura predominantemente arenosa en sus primeros horizontes, lo que implica bajo contenido de nutrimentos esenciales como Ca, Mg, K y P.
2. Suelos de reacción ácida y de baja capacidad de retención de humedad, lo que disminuye la eficiencia de la fertilización.
3. Ocurrencia de períodos secos en la época de lluvias y alta capacidad de evaporación debido a las condiciones del clima.
4. Suelos frágiles y de bajo contenido de materia orgánica, que sufren procesos de endurecimiento, escurrimiento, erosión hídrica y eólica.
5. Escasa penetración de las raíces de las plantas, como consecuencia de la acidez y la baja disponibilidad de nutrimentos en las capas inferiores del suelo.
6. Susceptibilidad a compactación en el subsuelo por el uso excesivo de maquinarias y la presencia de grava en horizontes cercanos a la superficie.

En los Llanos Orientales, el Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) desarrolla trabajos en los centros de investigación de los Estados Anzoátegui y Monagas, mediante un plan estratégico tendiente a la utilización racional del ecosistema sabana. Este plan de trabajo se inició parcialmente en 1993 y se propone entre sus objetivos la identificación de tipos de utilización de la tierra, sus limitaciones y sus causas; la generación de tecnologías para la explotación de cultivos mediante prácticas dirigidas al mejoramiento y conservación del suelo (labranza,

rotación de cultivos); la selección de germoplasma forrajero adaptado a condiciones de estrés hídrico, acidez y suelos de baja fertilidad; la selección de clones promisorios de marañón y yuca, cultivos con un alto potencial para su explotación en condiciones de sabana; y la evaluación del comportamiento agronómico de materiales genéticos promisorios con prácticas de manejo adecuadas.

## Utilización de la Tierra

En la región se pueden identificar diversos tipos de utilización de la tierra. En las formaciones mesas planas y onduladas se distinguen la agricultura de secano (sorgo de grano, marañón, frijol, piña, maíz, batata y yuca); pasturas de *Brachiaria brizantha*, *B. dictyoneura*, *B. decumbens*, *B. humidicola*, *Digitaria swazilandensis* y asociaciones de gramíneas y leguminosas; agricultura de riego (sorgo semilla, maracuya, melón, mango, sandía, guayaba, lima tahití). Además, se desarrolla en el área una intensa actividad forestal con especies de pino caribe y eucaliptus, lo que ha generado conflictos por el uso de la tierra.

## Pasturas y Actividad Ganadera

En Venezuela existen aproximadamente 13,182,000 ha en pasturas; de éstas, 7,597,000 ha son naturales y 5,585,000 ha son introducidas. La mayor proporción de ellas se encuentra en regiones con sistemas de explotación ganadera intensiva y de doble propósito, que no pertenecen a la región de sabanas. Del total de pasturas naturales, aproximadamente el 52% (5,915,000 ha) corresponden a sabanas bien drenadas y el resto (48%) son sabanas mal drenadas (Chicco y Linares, 1992).

La producción de carne y leche bovinas constituye una opción para el país, ya que existen grandes superficies de pasturas nativas y cultivadas aptas para esta actividad. Las pasturas nativas no suministran los requerimientos suficientes para la producción de los animales, especialmente en la época seca. Chacón y Arriojas (1989) encontraron que la vegetación de sabana de *Trachypogon* en zonas bien drenadas constituye un recurso de bajo potencial productivo, con producciones de MS entre 0.4 y 20 kg/ha por día en sabanas sin quemar, y entre 5.8 y 22 kg/ha por día en sabanas no-quemadas.

El 73% de la superficie del Estado Monagas se encuentra en pastos naturales de baja capacidad productiva, donde pasta el 43.3% de la población animal; la superficie restante (27%) se encuentra en pasturas introducidas (Alcalá, 1990). En esta región, los pastos introducidos, cuando se manejan adecuadamente, mejoran la producción y productividad animal, pero los costos de su establecimiento y mantenimiento son elevados, debido principalmente a la necesidad de aplicar insumos para corregir las deficiencias de nutrientes en el suelo. No obstante, en la mayoría de los casos se evidencian problemas de manejo, como la excesiva carga animal en algunas fincas y excedentes de producción de biomasa en la época lluviosa. Esta situación demanda la generación de estrategias apropiadas para la producción y manejo de las pasturas con el fin de garantizar el suministro de alimentos suficientes en cantidad y calidad para los requerimientos de la población animal.

## Germoplasma Forrajero

El Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) de Venezuela en los centros de investigación en los Estados

Anzoátegui y Monagas, conjuntamente con la Universidad de Oriente, han venido realizando estudios para seleccionar especies de leguminosas forrajeras adaptadas a las condiciones del ecosistema sabana. Se busca que estas especies tengan buena capacidad de producción de materia seca (M.S.) en la época seca y sean eficientes en la fijación del nitrógeno.

En el proceso de evaluación de germoplasma forrajero se ha contado con la colaboración de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT). En el proceso de recolección, evaluación agronómica y multiplicación de especies de gramíneas y leguminosas forrajeras con potencial para las sabanas bien drenadas, se han seleccionado algunos materiales promisorios de los géneros *Brachiaria*, *Digitaria*, *Stylosanthes*, *Centrosema*, *Gliricidia* y *Alysicarpus*. La productividad de varias especies de estos géneros está limitada por factores climáticos, baja retención de humedad y baja disponibilidad de nutrientes en el suelo.

En trabajos realizados por el FONAIAP en la Mesa de Guanipa se encontró que los rendimientos de M.S. de *B. humidicola* durante la época lluviosa fueron de 1.38, 2.49, 3.18 y 3.89 t/ha, mientras que en el período de menor precipitación (septiembre-noviembre) las producciones fueron 0.38, 0.47, 0.56 y 0.65 t/ha de M.S., cuando se aplicaron 0, 37.5, 75 y 112.5 kg/ha de nitrógeno, respectivamente (Navarro et al., 1992). Esos investigadores, en un trabajo similar con *D. swazilandensis*, encontraron en el período lluvioso, producciones de M.S. de 1.10, 1.61, 2.08 y 2.51 t/ha con aplicaciones de 0, 37.5, 75 y 112.5 kg/ha de nitrógeno, respectivamente. En el período septiembre-noviembre, el rendimiento fue de 0.81, 1.17, 1.48 y 1.76 t/ha de M.S., respectivamente.

Actualmente, el Centro de Investigación de Anzoátegui cuenta con un Banco de Germoplasma de las especies forrajeras evaluadas en años anteriores, enriquecido con especies procedentes del CIAT, EMBRAPA, CIRAD y de colecciones nacionales. Entre los materiales considerados como promisorios se encuentran *Cratylia argentea*, *C. rotundifolium*, *Galactia striata*, *Chamaecrista rotundifolia*, *S. humilis*, *S. scabra* y *S. capitata*.

*Cratylia argentea* (*Cratylia*) presenta un rápido establecimiento, tolerancia a la sequía y rebrote vigoroso después de la defoliación. Esta especie arbustiva se ha extendido rápidamente entre los productores por su facilidad de integración en sistemas mixtos de producción y en bancos de proteínas. También sobresale su alta producción de semillas. En parcelas del Centro de Investigación de Anzoátegui se han obtenido rendimientos hasta de 650 g/planta (Rodríguez, 1996). Esta característica de *Cratylia* la presentan como una alternativa para el suministro de proteína a los animales y, eventualmente, como un sustituto de *Leucaena leucocephala* (*Leucaena*), cuya adaptación a los suelos ácidos de la región no está bien definida (Sanabria, 1989).

El uso de *Leucaena*, a pesar de haber sido introducida en los Llanos Orientales de Venezuela hace más de 15 años, no se ha generalizado entre los productores de la región, lo que sí ha ocurrido con *S. capitata* cv. Capica (Fariñas, 1995). Esta última especie, fue introducida en la década de los 80, no obstante su alta susceptibilidad a antracnosis, tiene un alto potencial como forrajera. También Lascano et al. (1994) señalan que *Leucaena* puede crecer bien en una amplia variabilidad de condiciones ambientales en el trópico y subtropico, pero que tiene algunas limitaciones para su

adaptación a suelos ácidos con baja saturación de base, como es el caso de las mesetas orientales venezolanas.

*Glyricidia sepium* (Matarratón) bajo manejo con aplicación de riego produjo más M.S. y proteína cruda (PC) que *Leucaena*. De la misma manera, *C. macrocarpum* presentó un elevado potencial como fuente de proteína en sabanas bien drenadas, siendo persistente y fácil de cosechar en forma mecanizada. Esta última especie presentó rendimientos de M.S. y PC (12 t/ha por año y 15% de PC) comparables a los de la alfalfa (*M. sativa*) en zonas templadas (Fariñas, 1995). En el sistema Matarratón-Pangola, animales jóvenes en pastoreo han alcanzado promedios de incremento de peso vivo entre 600 y 785 g/día, durante el periodo septiembre-diciembre.

Actualmente se encuentra en evaluación *Pachecoa venezuelensis*, una leguminosa arbustiva, perteneciente a la subtribu Stylosanthineae, subfamilia Papilionoideae, que fue recolectada por primera vez en el Estado Guárico y que tiene perspectivas como fuente de proteína para ovinos y caprinos (González, 1995).

Actualmente se encuentran en evaluación varias accesiones de leguminosas herbáceas, entre ellas: *C. rotundifolium* CIAT 5260, 5283, 5521, 5721, 25120 y 25148. En evaluaciones en el campo, después de 12 semanas de crecimiento se destacaron las accesiones *C. rotundifolium* CIAT 25148 y 5260. En sabanas bien drenadas al sur del Estado de Monagas, se evaluaron 20 accesiones de leguminosas forrajeras, encontrándose a *C. macrocarpum* CIAT 5713 y 5224, *C. brasilianum* CIAT 5234 y *S. capitata* como especies de mayor potencial para la zona (FONAIAP, 1990). En la localidad de El Tigre, *C. macrocarpum*

CIAT 5713 y CIAT 5224, *C. brasilianum* CIAT 5234 y *S. capitata* produjeron, en promedio, a las 12 semanas de edad, 0.32 y 1.2 t/ha de M.S. durante las épocas seca y lluviosa, respectivamente (Flores, 1992).

## Germoplasma de Arroz

En 1990, FONAIAP inició en Monagas los trabajos con líneas avanzadas de arroz tolerantes a suelos ácidos procedentes del CIAT. Las primeras evaluaciones se hicieron en el campo experimental Santa Bárbara, caracterizado por una precipitación, promedio anual, de 1000 mm; 26 °C de temperatura; suelos con pH 5.6 y bajos contenidos de fósforo, potasio, magnesio y zinc, y un contenido moderado de calcio.

Los resultados preliminares, a pesar de las condiciones adversas, debido a la siembra tardía, mostraron la existencia de líneas con potencial para la región, entre ellas, la línea CT7072-43-1-4-1-1-M que produjo 2 t/ha. En 1991 se iniciaron trabajos en la localidad de San Agustín de La Pica, en condiciones de suelo distintos a los de Monagas y una precipitación de 1300 mm. Bajo esas condiciones se observaron líneas con rendimientos hasta 4.5 t/ha, pero no se encontró respuesta a la aplicación de 500 kg/ha de cal (Sanabria, 1994).

Los estudios de fertilización mostraron un comportamiento diferencial de los materiales. El 53.6% de ellos no mostró diferencias entre la aplicación de 65 y 100 kg/ha de  $P_2O_5$ , y 60 ó 100 kg/ha de  $K_2O$ . La línea CT1059-3-1-M-4 mostró la mayor respuesta a esta fertilización, con un aumento de 1.33 t/ha.

En 1993 se continuó con el proceso de introducción y evaluación de nuevas líneas de arroz procedentes del CIAT, lo que permitió identificar materiales

con potencial para producir hasta 7 t/ha. En 1994 se iniciaron la investigación con nuevas líneas de arroz en la estación FONAIAP-Anzoátegui. En estas pruebas con líneas introducidas de EMBRAPA y del CIAT cultivadas en condiciones de extrema deficiencia hídrica, se produjeron hasta 1.8 t/ha, destacándose los cultivares brasileños Araguaia, Guaraní, Río Paranaíba y Carajas, y la línea CT9992-22-2-4-M-16 del CIAT. Los rendimientos en este sitio, aunque inferiores a los obtenidos en Monagas, se consideran como promisorios (Rodríguez, 1995). A partir de estos resultados se ampliaron las investigaciones en Anzoátegui y en 1995 se iniciaron en FONAIAP-Amazonas.

Las investigaciones con el germoplasma de arroz y las evaluaciones preliminares utilizando la asociación arroz-pasturas, han despertado el interés de productores e instituciones. Así, se han iniciado relaciones con la Corporación Venezolana de Guayana, institución a la que se le ha suministrado semillas de los materiales promisorios en los trabajos en Monagas.

El estado actual de la investigación en arroz de secano permite concluir que:

1. El arroz de secano, cultivado con bajos insumos, es una alternativa válida en los sistemas de producción de las sabanas bien drenadas de los Llanos Orientales de Venezuela.
2. Por su comportamiento en condiciones experimentales, existen materiales de arroz de secano con potencial en sistemas de rotación con pasturas.
3. La siembra de arroz de secano, conjuntamente con pasturas, es una práctica posible en la región,

ya que contribuye a la reducción de costos de establecimiento de éstas y mejora la sostenibilidad del ecosistema.

No obstante, es necesario intensificar la investigación e iniciar la validación de esta tecnología en fincas de productores, con el objeto de hacer ajustes en las prácticas agronómicas y analizar las ventajas económicas como garantía de su sostenibilidad.

## Sistemas Agropastoriles

En los Llanos Orientales de Venezuela no existe tradición en sistemas agropastoriles. La agricultura es esencialmente del tipo monocultivo con utilización intensiva de abonos, plaguicidas y maquinismo, mientras que la ganadería se basa en pastos nativos o introducidos. No obstante, en los últimos años, con la eliminación de los subsidios y el cambio en las políticas fiscales ha ocurrido un cambio hacia la diversificación en las explotaciones agropecuarias en la región, incluyendo:

1. El establecimiento de pastos en forma simultánea con cultivos de sorgo y maíz.
2. La fabricación de bloques multinutricionales con residuos de cosecha.
3. El uso de maíz producido en la finca para raciones de vacas en ordeño.
4. La inclusión de los cultivos de yuca y batata en la alimentación animal.
5. El establecimiento de bancos de proteína a base de leguminosas forrajeras.
6. La siembra de marañón y de mango, intercalados con pasturas del género *Brachiaria*.

## Conclusión

Los trabajos sobre adaptación de germoplasma forrajero y de cultivos que actualmente se desarrollan en los Llanos Orientales de Venezuela, permiten identificar algunas accesiones con potencial en sistemas agropastoriles sostenibles para la región. Para la transferencia y adopción por parte de los productores es necesaria la colaboración de instituciones nacionales en Venezuela.

## Referencias

- Alcalá, C. 1990. Manejo integral de pastizales. Trabajo de ascenso. Universidad de Oriente, Venezuela. Núcleo Monagas. 341 p.
- Caraballo, L.; Rodríguez, T.; y Sindoni, M. 1994. Sabanas orientales: Características, ventajas y limitaciones para la producción agrícola. Memorias. Taller sobre Algunos Aspectos Físicos de los Suelos de las Sabanas Orientales y su Efecto sobre la Productividad. El Tigre, abril 5 a 8 de 1994.
- Chacón, E. y Arriojas, L. 1989. Producción de biomasa y valor alimenticio de pasturas naturales en Venezuela. En: Quinto Cursillo sobre Bovinos de Carne. Universidad Central de Venezuela. Maracay. p. 197-229.
- Chicco, C. y Linares, T. 1992. Avances en el estudio de la caracterización del Síndrome Parapléjico Bovino. Boletín no. 3, Serie C no. 31. Convenio de Cooperación Agrícola MAC/PDVSA. Caracas, Venezuela.
- Fariñas, J. 1995. Evaluación agronómica de leguminosas forrajeras como fuentes de proteína foliar en sabanas bien drenadas. Jornadas nacionales sobre uso de leguminosas forrajeras como fuente de proteína foliar para la alimentación animal. Convenio PALMAVEN-FONAIAP. Maturín, Venezuela. 30 p. (Manuscrito.)

- Flores, A. 1992. Evaluación de germoplasma forrajero en Venezuela durante el período 1987-92. Centro Nacional de Investigación en Sabana del FONAIAP. El Tigre. Edo. Anzoátegui, Venezuela. 17 p. (Manuscrito.)
- FONAIAP (Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias). 1990. Informe Anual 1990. Estación Experimental Monagas, Maturín, Venezuela. 197 p.
- González, C. 1995. Leguminosas forrajeras en sistemas de producción animal del nor-oriente de Venezuela. Universidad de Oriente. Escuela de Zootecnia, Venezuela. 40 p. (Manuscrito.)
- Lascano, C.; Mass, B.; Argel, P.; y Viquez, E. 1994. Leucaena opportunities and limitations. Proceedings of a workshop held in Bogor, Indonesia, 24-29 January 1994. En: Leucaena-opportunities and limitations. ACIAR Proc. p. 153-158.
- MARN (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables). 1982. Estudio preliminar de suelos Llanos Altos de Monagas. Serie Informes Técnicos Zona 12/IT/173. Maturín, Monagas, Venezuela.
- Navarro, L.; Vásquez, D.; y Torres, A. 1992. Efecto de la fertilización nitrogenada y la edad sobre la producción, tasa de acumulación y valor nutritivo de la materia seca del pasto *Digitaria swazilandensis*. Zoot. Trop. 10(2):131-155.
- Ramia, M. 1967. Tipos de sabanas en los llanos de Venezuela. Bol. Soc. Venez. Cien. Nat. 112:264-288.
- Rodríguez, I. 1996. Centro de Investigaciones del Estado Anzoátegui-FONAIAP. Informe del primer semestre 1996. El Tigre, Anzoátegui, Venezuela. (Manuscrito.)
- Rodríguez, T. 1995. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Anzoátegui. Informe Anual FONAIAP. El Tigre, Anzoátegui, Venezuela.
- Sanabria, D. 1989. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Monagas. Informe Anual FONAIAP. Maturín, Monagas, Venezuela.
- \_\_\_\_\_. 1994. Evaluación de líneas promisorias de arroz de sequía. Centro de Investigaciones Agropecuarias del Estado Monagas. Informe Anual FONAIAP. Maturín. Monagas, Venezuela.

## CAPITULO 12

# Potencial de los Sistemas Agropastoriles en el Manejo de Suelos Degradados en Santa Cruz, Bolivia

L. Martínez\*

## Contenido

Resumen	154
Abstract	155
Introducción	155
La Problemática del Uso de Suelos en Santa Cruz	157
Actividades de Investigación Agropastoril y Agroforestales	158
Asociación de cultivos anuales con pasturas	158
Rotaciones de cultivos anuales con pasturas	158
Uso de callejones en sistemas agrosilvopastoriles	159
Sistema silvopastoril	159
Acciones para reducir la degradación de los suelos mecanizados	160
Recuperación de tierras degradadas en sistemas ganaderos y cultivos mecanizados	160
Conclusiones	161
Referencias	161

## Resumen

En este capítulo se hace una descripción general del Departamento de Santa Cruz, caracterizando sus unidades fisiográficas más importantes y sus aspectos socioeconómicos predominantes. Se analizan la problemática del uso del suelo, bajo los sistemas de corte y quema (agricultura migratoria) y mecanizado, los procesos de degradación y las posibles soluciones y sus implicaciones

\* Ing. Agrónomo, M.Sc., encargado del Proyecto Pastos y Forrajes del Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), Santa Cruz, Bolivia.

posteriores. Se resalta, de manera general, la importancia de la investigación agropastoril, integrando cultivos anuales y pasturas, bien sea para recuperar o establecer pasturas o en programas de rotación. En la región es frecuente que los productores establezcan pasturas asociadas con arroz o maíz, aunque en algunos casos con fracasos atribuibles al mal manejo de ciertos componentes del sistema. El Centro de Investigación Agrícola Tropical en Santa Cruz (CIAT/SC), Bolivia, está trabajando en sistemas agropastoriles multiestrato mediante establecimiento de árboles en pasturas existentes. En callejones de potreros, el cultivo anual de forrajeras durante dos ciclos y la siembra inicial de *Leucaena leucocephala* seguida de estrato arbóreo con Mara (*Swietenia macrophylla*), Cerebó (*Schizolobium amazonica*) y *Flemingia congesta* asociados con *Brachiaria decumbens* o *B. brizantha* al final del segundo ciclo, son opciones promisorias. En potreros, se ha observado un buen desarrollo de *Erithrina fusca* (Gallito), *Samanea tubulosa* (Penoco) y *Prosopis* sp. (Cupesí). Se presentan los resultados de investigación en cultivos anuales-pasturas que está realizando el CIAT/SC tendientes a un manejo más sostenible de los suelos en la región. Se concluye que el uso del suelo con varios cultivos en tiempo y espacio, son alternativas promisorias para los productores y que es necesario incrementar la investigación en sistemas asociados cultivos-pasturas hasta su evaluación final con animales en pastoreo

## Abstract

This chapter describes the most important physiographic and socioeconomic conditions of the Department of Santa Cruz, Bolivia. Soil problems under slash-and-burn (or migratory) and mechanized agricultural systems are analyzed in terms of degradation, possible solutions, and final consequences. Also highlighted is the importance of research on agropastoral systems, which integrate annual crops and pastures, whether the pastures are renewed, established, or rotated. The farmers in the region frequently plant pasture in association with either rice or maize, even though these sometimes fail as a result of poor management of specific components. The Centro de Investigación Agrícola Tropical en Santa Cruz (CIAT-SC) has been conducting research on multistoried alley farming in which trees grow within pastures. First, annual crops are planted in alleys, alternating with shrubby or arboreal forage legumes such as *Leucaena leucocephala* or *Flemingia congesta*. After 2 years, when the trees are established, pastures—either *Brachiaria decumbens* or *B. brizantha*—replace crops. The arboreal alleys can be diversified by planting trees of high value such as mara (*Swietenia macrophylla*) or cerebó (*Schizolobium amazonica*). Other promising trees are *Erithrina fusca* (gallito), *Samanea tubulosa* (penoco), and *Prosopis* sp. (cupesí). CIAT-SC is also conducting research on the sustainable management of soils carrying annual crops and pastures. Results so far indicate that (1) soil managed with various annual crops across time and space is a promising alternative for farmers; and (2) more research must be conducted on the entire agropastoral system, including final evaluations with grazing animals.

## Introducción

El Departamento de Santa Cruz (Bolivia) tiene una extensión de 370,621 km<sup>2</sup> y representa aproximadamente la tercera parte del

territorio nacional. Según la clasificación de taxonomía de suelos de Estados Unidos, el Departamento de Santa Cruz se puede dividir en cuatro grandes unidades fisiográficas: Subandina, Escudo Chiquitano,



Llanura Chaco Beniana y Pantanal (Cordecruz, 1994), cuyas características aparecen a continuación.

**Unidad Subandina.** Se encuentra en el suroeste del departamento, con una topografía montañosa de colinas, serranías y valles sinclinales que son las últimas estribaciones de la Cordillera de los Andes; está entre 1000 y 2900 m.s.n.m. y comprende el 7% del departamento.

**Escudo Chiquitano.** Comprende el norte y noroeste del departamento y constituye aproximadamente el 65% de su superficie, con una topografía ondulada de colinas bajas, suelos en su mayoría de clases V y VII, ácidos, de baja fertilidad, susceptibles a lixiviación y aptos para ganadería y algunos cultivos permanentes. La vegetación se compone de bosques semihúmedos, secos y cerrados. En esta unidad se encuentra el mayor número de áreas protegidas (parques nacionales).

**Llanura Chaco Beniana.** Abarca toda la región Central del departamento, entre la Subandina y el Escudo Chiquitano; está dividida, a su vez, en otras Subunidades. En el noroeste se encuentran las llanuras onduladas de Yapacaní y Chore, que constituyen lo que se conoce como región Piedemonte. Tiene una temperatura, promedio anual, de 24 °C y una precipitación de 2000 mm. Aproximadamente, el 10% de esta Unidad tiene topografía plana (Penny, s.f.). Predominan productores campesinos que provienen de los valles y el altiplano, que practican la agricultura migratoria de corte y quema en cultivos de arroz y maíz. Por las características de este tipo de agricultura, cuando los rendimientos de los cultivos son bajos, muchos agricultores se trasladan a otras zonas de bosque virgen, donde inician un nuevo ciclo. Las tierras abandonadas para cultivo se dedican a la ganadería, que se considera como una actividad

económica menos riesgosa, más estable y 'sostenible' en el uso del recurso suelo (Penny, s.f.).

En la parte central de la Llanura se encuentran las áreas integradas y de expansión, y algunas colonias de campesinos. En esta zona se encuentran las cuencas de los ríos Grande, Pirai y San Julián. Los suelos son de origen aluvial, de clases II a IV, aptos para usos agropecuario intensivo y extensivo. En general son suelos profundos, de textura mediana, francos, franco-arcillosos, franco-arenosos, aunque también es posible encontrar otras categorías de acuerdo con la pendiente y depresión del terreno. Estos suelos son de reciente formación, con fertilidad natural de moderada a alta (Severiche, 1992). Los suelos en algunas partes tienen problemas de drenaje y lixiviación ocasionados por la tala descontrolada de bosques. La precipitación, promedio anual, en esta Unidad es variable desde 900 mm en la parte sur hasta 1300 mm hacia el norte, con una temperatura media anual de 24 °C.

El área integrada se encuentra cerca a la ciudad y es la más desarrollada en infraestructura de servicios (caminos, energía, fábricas y mercados), pero también es la más disturbada y con problemas de fertilidad y compactación de suelos. Está comprendida entre el río Grande al este, el río Pirai al oeste, Mora y Sanja Honda al sur, y Chané al norte.

El área de expansión tiene una extensión aproximada de 650,000 ha, se encuentra al este del río Grande y fue recientemente incorporada a la actividad agrícola por sus suelos de alta fertilidad (Guamán, 1980, citado por Barber y Romero, 1993).

Las colonias de campesinos están al norte del área integrada y de expansión y son, en su mayoría, pequeños productores que recibieron

del Gobierno entre 20 y 50 ha de tierra que se dedicaron inicialmente a la agricultura de corte y quema, y actualmente tienden a la mecanización por efecto de la apertura del mercado internacional de soya.

En el sur se encuentran las llanuras aluviales del Izozog, que son sedimentos del río Parapetí, caracterizadas por un clima seco semiárido. Esta zona se conoce como Chaco.

**Pantanal.** Esta Unidad está formada por el límite de Bolivia con Brasil y constituye la llanura de inundación del río Paraguay.

## La Problemática del Uso de Suelos en Santa Cruz

La Llanura Chaco Beniana, el sector noroeste, las áreas integradas y de expansión, las colonias de productores campesinos y el Escudo Chiquitano son las unidades fisiográficas de mayor importancia para la producción agrícola y pecuaria en el Departamento de Santa Cruz.

Las características de la agricultura migratoria y la etapa de la 'crisis del barbecho', al igual que el proceso de degradación de los suelos mecanizados, han sido ampliamente descritos por los técnicos del Centro de Investigación Agrícola Tropical y la Misión Británica en Agricultura Tropical en Bolivia (CIAT-MBAT, 1994). En la crisis del barbecho, la situación para el productor es insostenible por los bajos rendimientos de los cultivos, causados por la invasión de malezas, compactación y pérdida de fertilidad del suelo. Se considera que las alternativas para la solución de esta crisis se encuentran en la mecanización, la ganadería, los cultivos perennes y los sistemas agroforestales.

Se espera que estos sistemas de producción le permitan al productor la consolidación en su parcela, olvidándose de su retorno al lugar de origen o la migración a los centros urbanos para engrosar los cinturones de pobreza.

La mecanización en fincas de pequeños productores de la zona es una opción que sólo es posible mediante el uso de diferentes estrategias y cuando estén dadas ciertas condiciones económicas y de vías de comunicación. Con la mecanización se requieren más insumos y el productor debe enfrentar problemas típicos del sistema como la compactación del suelo por el uso de los implementos pesados, particularmente en suelos con alto contenido de limo o arena fina; la erosión eólica debida a las altas velocidades del viento en la región y la falta de cortinas de protección; el encostramiento y la erosión superficial del suelo.

La ganadería, otra opción para el pequeño productor en la zona, es una actividad menos riesgosa y más estable, aunque tiene impacto negativo en la degradación del ambiente por el uso de germoplasma inadecuado, mal manejo, compactación y pérdida de fertilidad.

Los sistemas agroforestales que involucran dos o más cultivos son de reciente introducción y tienen potencial para aliviar la crisis del barbecho. Están orientados hacia la diversificación de la producción, la recuperación de los barbechos y el mejoramiento de la fertilidad del suelo. Con las asociaciones de cultivos anuales y perennes con especies arbóreas de uso ganadero y forestal, además de mantener la productividad, se valorizan las fincas de los pequeños productores.

## **Actividades de Investigación Agropastoril y Agroforestales**

### **Asociación de cultivos anuales con pasturas**

La integración de cultivos como arroz y maíz con pastos, bien sea para establecer pasturas después de 2 ó 3 años de cultivos anuales o para recuperar pasturas degradadas, son alternativas para solucionar los problemas originados por la crisis del barbecho entre los pequeños productores. En el ecosistema Cerrado del Brasil (Kluthcouski et al., 1991) y en los Llanos Orientales de Colombia (Sanz et al., 1993) utilizando arroz de secano como cultivo asociado se han establecido con éxito pasturas de *Andropogon gayanus* y *Brachiaria decumbens*, solas o asociadas con leguminosas forrajeras.

En el Centro de Investigación Agrícola Tropical, en Santa Cruz (CIAT/SC) no se han realizado trabajos específicos de investigación en sistemas agropastoriles; sin embargo, se tiene información sobre las experiencias de los productores de Santa Cruz en la siembra de cultivos anuales asociados con arroz o maíz, bajo diferentes estrategias.

En el sistema 'Chaqueado', después de la siembra anual de arroz, y cuando el cultivo tiene una altura entre 10 y 15 cm, el productor siembra pastos. Después de la cosecha del cereal se deja que la pastura produzca semilla para permitir la resiembra espontánea. Un año más tarde, la pastura está completamente establecida. No obstante, debido a la baja calidad de la semilla comercial disponible o al uso de germoplasma no-adaptado, son frecuentes los casos de fracaso con este sistema. En ocasiones, por la falta de

maquinaria y de mano de obra, los productores no establecen grandes extensiones de arroz o maíz asociados con pastos.

### **Rotaciones de cultivos anuales con pasturas**

Desde el punto de vista técnico, la rotación de cultivos anuales con pasturas bien manejadas es un sistema más recomendable y más sostenible que las rotaciones de sólo cultivos anuales; así lo demuestran los trabajos realizados dentro del Convenio CIAT/MBAT (Barber y Navarro, 1991). En este tipo de rotación es importante manejar adecuadamente la pastura, utilizando la carga animal adecuada para evitar su degradación y permitiendo la recuperación de acuerdo con la especie y la época del año.

Barber y Romero (1993) consideran que el tiempo de uso de la pastura en el sistema de rotación debe ser de 5 a 8 años, antes de ser eliminado. Con esto se garantiza la recuperación de la productividad del suelo y se amortizan los costos del establecimiento. Después de la eliminación de la pastura, al final de la época seca (agosto-septiembre), se puede iniciar la rotación con la siembra de cultivos anuales de verano (por ej., soya) e invierno (por ej., girasol), cultivos que permiten el uso de gramínicas en preemergencia y postemergencia, con lo cual se garantiza el control del rebrote de la pastura.

El período óptimo en sistemas de cultivos anuales, antes del establecimiento nuevamente de pasturas, depende del sistema de labranza, siendo mayor en el sistema de labranza mínima que en el de labranza convencional. Finalmente, se vuelve al inicio del ciclo, o sea, establecer el pasto asociado con un cultivo anual el cual, dependiendo de la zona, puede ser arroz, soya, maíz o trigo.

Aunque la rotación cultivo anual-pasturas tiene muchas ventajas, sólo podrá ser adoptado por aquellos productores dedicados a la agricultura y a la ganadería y en fincas con la mayor parte del área en pasturas (50% a 80%). En fincas de agricultores, los aspectos más importantes que se deben tener en cuenta para esta rotación son la construcción de cercas y la disponibilidad de agua y animales. En el caso de fincas dedicadas a ganadería, se debe considerar la disponibilidad de implementos para las labores de cultivo.

### **Uso de callejones en sistemas agrosilvopastoriles**

El CIAT/MBAT está adelantando trabajos de investigación en sistemas agrosilvopastoriles. Uno de estos trabajos consiste en la evaluación del uso de callejones forrajeros multiestrato, consistente en la siembra inicial de un cultivo anual en forma paralela a los arbustos o árboles forrajeros. Después de 2 años se siembra la pastura, cuando los árboles han alcanzado el tamaño adecuado para ramoneo y pueden ser cosechados.

Se ha identificado que *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*) es útil para este propósito, siempre y cuando no existan problemas de acidez en el suelo. Otra alternativa es *Flemingia congesta*, aunque su valor forrajero es inferior al de *Leucaena*.

Los callejones forrajeros se pueden diversificar estableciendo árboles de alto valor como Mara (*Swietenia macrophylla*) o Cerebó (*Schizolobium amazonica*). La pastura puede ser de *Brachiaria decumbens*, *B. brizantha* u otra gramínea.

En la estación experimental agrícola de Saavedra, en Yapacaní y San Julián, se han establecido callejones forrajeros en parcelas de

productores que están actualmente en utilización (León y Adlard, 1994). Si bien el establecimiento de estos callejones no ha tenido problemas de tipo agronómico en su primera etapa, es aún necesario conocer los costos de siembra y las prácticas de manejo más apropiadas (Johnson et al., 1995; León y Adlard, 1994). En la estación Saavedra se está evaluando el efecto de tres alturas de corte en *Leucaena* (0.9, 1.2 y 1.5 m sobre el suelo), con el objeto de determinar la altura adecuada de uso por los animales en pastoreo y de corte para producir forraje verde. Se debe indicar que la época y frecuencia de pastoreo en los callejones depende del estado de la gramínea.

### **Sistema silvopastoril**

El Convenio CIAT/MBAT está evaluando la siembra de árboles de leguminosas en pasturas ya establecidas, como alternativa para mejorar su rendimiento. Este sistema tiene, entre sus ventajas, (1) el mejoramiento del ambiente para el ganado, ya que proporciona mayor sombra en los potreros, lo que reduce el estrés por exceso de radiación solar y estimula un mayor consumo de pasto; (2) los árboles reducen la evapotranspiración en el suelo, la velocidad de los vientos y el impacto de las gotas de lluvia; (3) los árboles en los potreros favorecen el reciclado de nutrientes debido a la profundidad de sus raíces, la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico y proveer forraje de ramoneo al ganado.

En la estación experimental Saavedra se tienen 80 ha de pasturas asociadas con árboles en diferentes estados de desarrollo de *Erythrina fusca*, *Samanea tubulosa* y *Prosopis* sp.

Existe un alto número de especies arbóreas que sirven para sistemas multipropósito, pero todavía no se conocen algunos aspectos relacionados

con su establecimiento (Wilkins, 1995); entre estos: (1) la distancia ideal entre árboles para evitar la competencia entre ellos y la pastura, y para el reciclado de nutrientes a través de la materia muerta de hojas; (2) la tolerancia de los árboles al pisoteo y el consumo por el ganado, y las quemas; (3) la edad que deben tener los árboles al momento de la introducción del ganado, teniendo en cuenta que la pastura debe ser utilizada en forma periódica.

En la región de Santa Cruz aún no se tienen datos sobre el impacto de los árboles en el rendimiento de las pasturas y en la productividad del ganado. No obstante, se ha observado que los árboles se pueden establecer en forma simultánea con cultivos anuales, utilizando plantas de 8 meses a 1 año de edad que, al momento del inicio del pastoreo, tendrán 15 o más meses y tolerarán la presencia de los animales.

Otros sistemas que se están implementando en la zona son las cercas vivas con *Gliricidia sepium* y las cortinas rompevientos utilizando *L. leucocephala*.

### **Acciones para reducir la degradación de los suelos mecanizados**

En el área conocida como integrada, aproximadamente el 50% de las tierras con cultivos anuales están degradadas (Barber y Navarro, 1991), como consecuencia de la alteración física y química del suelo, estando, en su mayor parte, dedicadas a explotaciones ganaderas.

Entre las causas para esta degradación se citan la erosión eólica y la mineralización acelerada de la materia orgánica del suelo; la extracción de nutrientes por el monocultivo intensivo sin uso de abonos, la erosión hídrica y, sobretodo,

la compactación del suelo. Lo anterior agravado por el excesivo laboreo, uso de implementos inapropiados y por la compactación natural provocada por las fuertes lluvias.

En el Convenio CIAT/MBAT se están realizando actividades de investigación para un manejo más sostenible del suelo con cultivos anuales, entre ellas: (1) sistemas de labranza conservacionistas, reduciendo el número de labranzas y utilizando implementos agrícolas más adecuados; (2) uso de abonos verdes y enmiendas para corregir el desequilibrio de la composición química en el suelo; y (3) rotación de cultivos que proporcionen grandes cantidades de materia orgánica y faciliten el control de malezas, plagas y enfermedades con un uso mínimo de agroquímicos.

### **Recuperación de tierras degradadas en sistemas ganaderos y cultivos mecanizados**

Es un proyecto colaborativo IICA/Procitropicos de investigación participativa y capacitación, que involucra al CIAT/SC y productores; se está evaluando la renovación de pasturas en cultivo simultáneo con arroz o maíz, utilizando cero-labranza con cultivos anuales y abonos verdes.

El proyecto está en fase de implementación en cuatro zonas agroecológicas del Departamento de Santa Cruz, tres en el área Integrada y uno en la Chiquitanía. La estrategia de acción en el proyecto comprende las etapas siguientes:

- Diagnóstico, que comprende la caracterización regional y la tipificación de los dominios de recomendación (DOR) y selección de fincas de referencia, donde se hacen los trabajos de validación.

- Planificación participativa entre técnicos investigadores, extensionistas y productores.
- Monitoreo y toma de datos por el productor. Estos datos se refieren a indicadores de sostenibilidad, rentabilidad y aceptabilidad.
- Transferencia de tecnología mediante actividades de difusión, evaluación de resultados y su adopción por los productores.

## Conclusiones

En el Departamento de Santa Cruz (Bolivia), el sistema de uso del suelo con varios cultivos en tiempo y espacio es una alternativa promisoría para los pequeños productores, ya que les permiten diversificar su producción de forma sostenible.

Si bien los productores de la región conocen las ventajas del sistema agropastoril para el establecimiento de pasturas en asociación con cultivos anuales, es necesario que el CIAT/SC realice investigaciones de validación de este sistema para conocer de manera sistemática el mejor uso económico, racional y tecnológico de los diversos factores involucrados en su ejecución. Básicamente se deben hacer investigaciones con animales en los sistemas agroforestales existentes. Por otra parte, las instituciones de transferencia y extensión deben adaptar, validar y difundir la tecnología agropastoril existente.

## Referencias

Barber, R. G. 1994. Rotaciones de cultivos para zonas con 1000 a 1300 mm de lluvia por año en el Departamento de Santa Cruz. Manual del manejo de suelos para agricultores mecanizados, Santa Cruz, Bolivia. p. 42.

\_\_\_\_\_ y Navarro, F. 1991. Recuperación de los suelos degradados Brecha 5 y 112. Campo 102, Santa Cruz; Parte 1. La subsolación y comportamiento de los cultivos de descanso. Verano 1989-90 hasta invierno 1991. Avances en Investigación no. 9. Proyecto Centro de Investigación Agrícola Tropical-Misión Británica en Agricultura Tropical (CIAT-MBAT), Bolivia.

\_\_\_\_\_ y Romero, D. 1993. Efecto de diferentes métodos de desmonte sobre la degradación del suelo y el rendimiento de los cultivos subsiguientes. Avances en Investigación no. 2. Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT), Banco Mundial. Santa Cruz, Bolivia. 43 p.

CIAT-MBAT (Centro de Investigación Agrícola Tropical y Misión Británica en Agricultura Tropical). 1974. Logros en Santa Cruz, Bolivia. Santa Cruz, Bolivia. 31 p.

Cordecruz (Corporación de Desarrollo de Santa Cruz). 1994. Consorcio IP/CES/KWC, Cooperación Financiera del Gobierno Alemán, Plan de Uso del Suelo (PLUS). Proyecto de Protección de los Recursos Naturales del Departamento de Santa Cruz, Bolivia. 64 p.

Johnson, J.; Wilkins, J.; Adlard, S.; Barber, R. A.; y Adsworth, J. 1995. Una evaluación multidisciplinaria de la investigación en callejones forrajeros. Informe técnico no. 25. Proyecto Centro de Investigación Agrícola Tropical-Misión Británica en Agricultura Tropical (CIAT-MBAT), Bolivia. 81 p.

Kluthcouski, J.; Pacheco, A. R.; Teixeira, S. M.; y Oliveira, E. T. de. 1991. Renovação de pastagens de Cerrado com arroz. 1. Sistema Barreirão. Documento no. 33. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA/CNPAF), Goiânia, Goiás, Brasil. 20 p.

- León, C. J. y Adlard, S. 1994. Pruebas de validación establecidas en la zona San Julián en el periodo 1990-94: Sistema de callejones forrajeros. Avances de Investigación no. 16. Proyecto Centro de Investigación Agrícola Tropical-Misión Británica en Agricultura Tropical (CIAT-MBAT), Bolivia. 70 p.
- Penny, D. s.f. Bosquejo socioeconómico de Santa Cruz, Bolivia. Informe técnico no. 16. Proyecto Centro de Investigación Agrícola Tropical-Misión Británica en Agricultura Tropical (CIAT-MBAT), Bolivia.
- Sanz, J. I.; Molina, D. L.; y Rivera, M. 1993. El arroz se asocia con pasturas en la altillanura colombiana. *Arroz en las Américas* 14(1):8-9.
- Severiche, S. J. 1992. Sondeo en la zona de expansión. Estudio de campo. Proyecto Centro de Investigación Agrícola Tropical-Banco Mundial, Santa Cruz, Bolivia. 54 p.
- Wilkins, J. V. 1995. Reflexiones sobre la ganadería cruceña. Santa Cruz, Bolivia. (Manuscrito.)

## CAPITULO 13

# Características Morfológicas y Fisiológicas Relacionadas con el Desempeño de Arroz de Secano Asociado con *Brachiaria brizantha*

Beatriz da Silveira Pinheiro, Maria Luiza Konrad y  
Maria Pereira do Carmo\*

## Contenido

Resumen	163
Abstract	164
Introducción	164
Componente Fisiológico de la Interferencia de <i>Brachiaria brizantha</i> en Genotipos de Arroz	165
Efecto de la competencia sobre el crecimiento de la pastura y el arroz	165
Efecto de la competencia sobre el rendimiento biológico y de granos del arroz	167
Parámetros relacionados con el rendimiento de arroz en asociación	168
Efecto de <i>Brachiaria brizantha</i> en la Respuesta a la Sequía y el Consumo de Agua por Arroz de Secano	171
Efecto de la asociación en la tolerancia del arroz a la sequía	172
Consumo de agua en la asociación	173
Conclusiones	173
Referencias	174

## Resumen

El inicio de la explotación del ecosistema Cerrado en Brasil se basa en el uso del cultivo de arroz como pionero, seguido del establecimiento de pasturas mejoradas. En la actualidad en el Sistema Barreirão se recomienda la explotación basada en la asociación cultivos-pasturas. En este sistema, los cultivos de grano rinden ingresos económicos para el productor y facilitan el

\* Investigadoras de Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, 75375-000 Santo Antônio de Goiás, Brasil.



establecimiento de las pasturas. Por esa razón, es importante conocer los mecanismos fisiológicos involucrados en la interferencia de la pastura sobre el cultivo. Con el objeto de estudiar las características morfológicas y fisiológicas del cultivo de arroz asociado con *Brachiaria brizantha*, en Embrapa Arroz e Feijão, en Goiânia, Brasil, se realizaron cuatro experimentos en suelos degradados del Cerrado de Brasil. Los resultados mostraron que la asociación afectó los parámetros de crecimiento del arroz y de la gramínea, además del rendimiento de granos (RG) y el biológico (RB) del arroz. Bajo condiciones óptimas de fertilidad del suelo y disponibilidad hídrica, el RG se relacionó significativamente con el rendimiento; en monocultivo. En condiciones menos favorables, el rendimiento solamente se relacionó positivamente con el RB y negativamente con la fitomasa seca de la pastura. El ciclo del cultivo no se relacionó con el rendimiento; sin embargo, la precocidad se presentó como una característica deseable. Bajo condiciones de buen manejo, aun los cultivares susceptibles a la competencia pueden presentar un buen rendimiento. Es deseable que los genotipos de ciclo intermedio posean características de buena adaptación, lo que es más común en los tipos tradicionales de arroz de secano y no en los tipos recientemente desarrollados. La capacidad de la planta de arroz para acumular y traslocar compuestos fotoasimilados de reserva representa un alto potencial en la identificación de genotipos deseables, pero esta metodología debe ser mejorada. El sistema de asociación tiene un efecto benéfico sobre el desarrollo foliar y el potencial del uso del agua bajo condiciones de deficiencia hídrica; por tanto, permite un mejor uso del agua en el suelo.

## Abstract

The Brazilian "Cerrados" were first exploited by opening up new areas with rice, followed by pastures. Today, the "Barreirão System" introduces crop/pasture association. Income from grain crops is used to establish pastures, which are planted, intermixed with the crop. Understanding the physiological mechanisms involved in the growth of the two mixed crops will help establish criteria for genotype evaluation and improve crop management. The results of four trials in Embrapa Arroz e Feijão, Goiânia, Brasil, showed that such an association does affect the growth parameters of both rice and pasture (*Brachiaria* sp.), and the grain yield (GY) and biological yield (BY) of rice. Under optimal conditions of soil fertility and water availability, GY under association correlates significantly with GY under monocropping. Under less favorable conditions, GY correlates positively with BY and negatively with pasture dry matter. The crop cycle, overall, does not correlate with yield, except for earliness, which is a desirable trait. Under good management, even cultivars susceptible to interference can yield well under association. Nevertheless, genotypes with a medium growth cycle, ideally, should be adapted; such genotypes are more frequently traditional upland cultivars than modern. The capacity to accumulate and remobilize stored photoassimilates can be used as a criterion for screening desirable genotypes, although the screening methodology needs improving. Association reduces leaf rolling in rice and helps maintain water potential under drought. Soil water reserves are similar to those under the rice monocrop, showing that association does not increase the rice crop's susceptibility to stress.

## Introducción

Los Cerrados brasileños poseen un gran potencial para la producción agropecuaria. Su explotación se estimuló fuertemente en las décadas de

los 60 y 70, resultando en la apertura indiscriminada de áreas nativas y en la aplicación de técnicas de manejo poco adecuadas a las condiciones edafoclimáticas de la región. Después de la tumba y quema de la vegetación

nativa, el establecimiento de las pasturas se hacía utilizando maquinaria pesada del tipo rastrado. Utilizando esta estrategia, se introdujo en la región el cultivo de arroz de secano, considerado rústico y tolerante al bajo pH en el suelo y, por tanto, un excelente cultivo para la apertura de la zona. En muchos casos, dependiendo de la fertilidad natural del suelo y el precio de mercado, el cultivo de arroz fue permanente durante varios años, antes del establecimiento de pasturas mejoradas.

Como resultado de esta estrategia de explotación, el cultivo de arroz de secano alcanzó 3.5 millones de hectáreas en el Cerrado del Brasil. No obstante, la susceptibilidad de este cultivo al déficit hídrico y la aparición de otros cultivos, como la soya y el maíz, igualmente atractivos en el mercado, ocasionaron la reducción en el área de arroz, hasta llegar a sólo 2 millones de hectáreas en la región.

Por otro lado, el desarrollo de nuevas variedades de arroz de mejor comportamiento y mayor calidad, permiten prever un nuevo incremento en las áreas de siembra en el Cerrado.

En este capítulo se incluyen los resultados preliminares de varios estudios sobre aspectos de la morfología y la fisiología de cultivos arroz-pasturas asociados, realizados en el período 1994-97 en Embrapa Arroz e Feijão, en Goiânia, Brasil, con la colaboración de la Overseas Development Agency (ODA).

### **Componente Fisiológico de la Interferencia de *Brachiaria brizantha* en Genotipos de Arroz**

En los períodos agrícolas 1995-96 y 1996-97 se realizaron sendos experimentos en Latosoles Rojo Oscuro

de pasturas de *Brachiaria brizantha* (*Brachiaria*) degradada. Las diferencias básicas entre ambos sitios eran la fertilidad del suelo y la altura del nivel freático, siendo más favorables en el segundo sitio. En ambos casos, la pastura degradada fue incorporada con un pase de arado de vertedera, al inicio de la estación lluviosa. Antes de la siembra, el suelo se preparó con un pase de arado liviano y posteriormente se niveló.

En ambos experimentos se utilizó el diseño de parcelas subdivididas con dos tratamientos: arroz en monocultivo y asociado con la gramínea. En el primer año se evaluaron ocho genotipos de arroz y en el segundo se evaluaron cuatro, que fueron seleccionados por sus características contrastantes.

Durante el período de crecimiento se determinaron, con intervalos de 12 a 15 días, el índice del área foliar (IAF) y la fitomasa seca, separando las varias fracciones de la planta (hojas, tallos + vainas y panículas). En el momento de maduración se midieron el rendimiento de granos (RG) y sus componentes, el rendimiento biológico (RB) (paja + grano) y el índice de cosecha (IC).

#### ***Efecto de la competencia sobre el crecimiento de la pastura y el arroz***

En la Figura 1 aparece la curva de crecimiento de la fitomasa seca y el área foliar de *B. brizantha* en monocultivo y asociada. Los valores del IAF fueron similares en los dos periodos. El promedio de la fitomasa de la gramínea asociada en el momento de la cosecha de arroz en el período 1996-97 fue de 660 g/m<sup>2</sup>, mientras que en 1995-96, este valor fue sólo de 320 g/m<sup>2</sup>. En ambos periodos, los valores máximos para la pastura en monocultivo fueron, respectivamente, 1700 y 1500 g/m<sup>2</sup>.

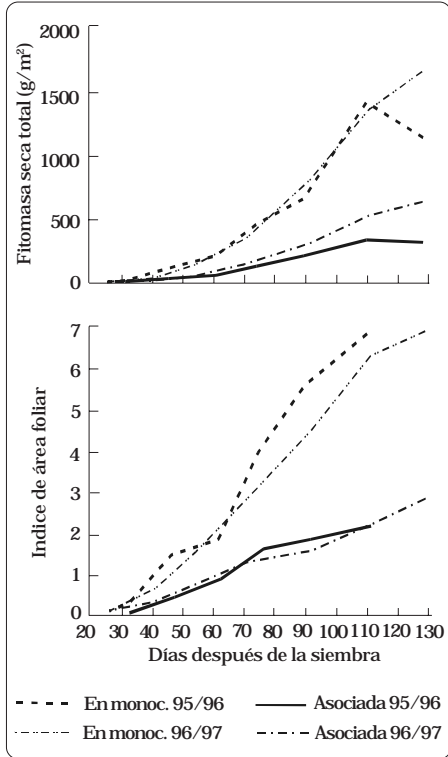


Figura 1. Evolución de la fitomasa seca total e índice de área foliar de *Brachiaria brizantha*, cultivada en monocultivo o asociada con arroz de secano, en 2 años de evaluación.

En ambos períodos no se observaron diferencias estadísticas en la habilidad relativa de los genotipos de arroz para afectar el crecimiento de la gramínea, no obstante, la aparente diferencia en fitomasa seca en la asociación de los cultivares evaluados. Una de las mayores dificultades en este tipo de estudio es obtener densidades uniformes de plantas de *Brachiaria* en fincas o en experimentos controlados. Además, casi siempre, la semilla presenta germinación poco homogénea, lo que se manifiesta en una alta variabilidad espacial y, consecuentemente, en elevados coeficientes de variación para densidad de plantas.

En ambos experimentos, la asociación redujo el crecimiento del área foliar y la acumulación de fitomasa total del arroz (Figura 2). Los genotipos precoces, evaluados solamente en el primer experimento, presentaron el punto de máximo crecimiento del IAF en la época de floración. Para los genotipos de ciclo intermedio, el punto máximo se observó en el quinto muestreo. Como era de esperar, el crecimiento del área foliar y la acumulación de fitomasa seca fueron menores en los materiales de ciclo corto que en los de ciclo intermedio.

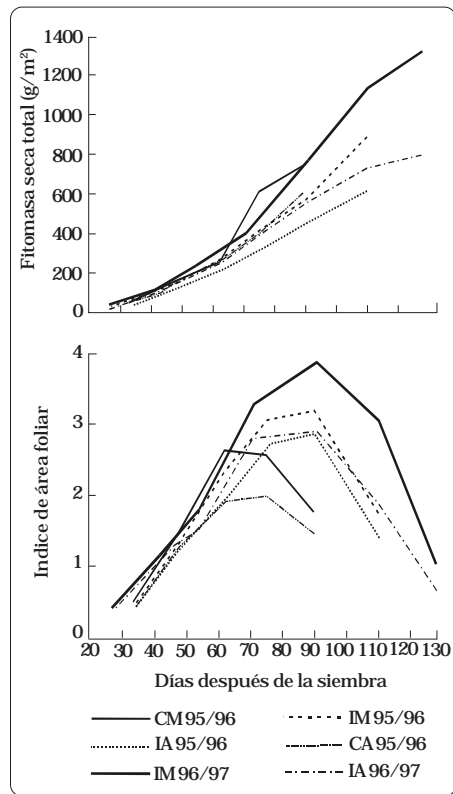


Figura 2. Evolución de la fitomasa seca total e índice de área foliar de cultivares de arroz de ciclo corto (C) e intermedio (I) en monocultivo (M) o asociadas (A) con *Brachiaria brizantha*, en 2 años de evaluación.

En algunos de los muestreos se observó una significativa interacción entre sistema de cultivo y genotipo. Se destaca el crecimiento del cv. Caiapó, de ciclo intermedio, que en el primer ensayo presentó su máximo crecimiento, al mismo tiempo que los materiales precoces, resultando en mayor fitomasa al final del crecimiento que los materiales de ciclo intermedio. Además, ese cultivar presentó poca reducción de los parámetros de crecimiento por la competencia de *Brachiaria*, especialmente en el primer experimento (Figura 3).

Cuando se comparan la reducción de crecimiento del cultivo de arroz (Figura 2) con la reducción en

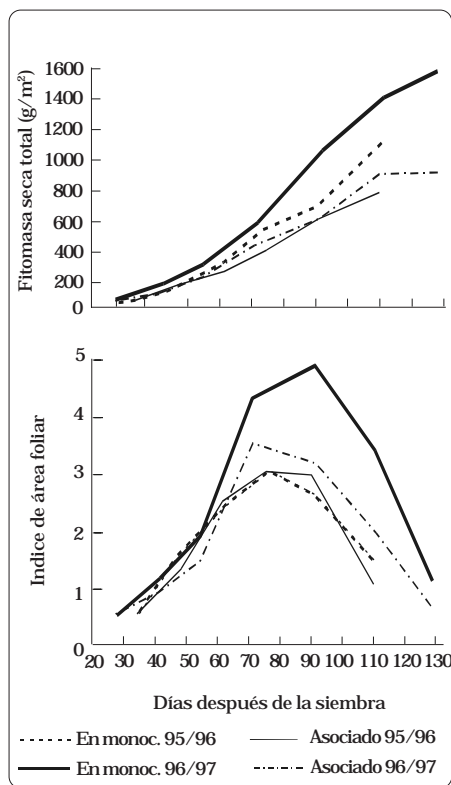


Figura 3. Evolución de la fitomasa seca total e índice de área foliar del cv. Caiapó de arroz, en monocultivo o asociado con *Brachiaria brizantha*, en 2 años de evaluación.

*Brachiaria* (Figura 1), es evidente que el primero afectó más al segundo. Esta mayor eficiencia relativa se origina en la mayor densidad de plantas de arroz, en relación con *Brachiaria*.

### **Efecto de la competencia sobre el rendimiento biológico y de granos del arroz**

En el experimento 1, el RB en el monocultivo de arroz fue de 776 g/m<sup>2</sup>. La asociación con *B. brizantha* redujo el rendimiento de arroz a 557 g/m<sup>2</sup>, o sea, una disminución de 28.2%. El RG fue afectado de manera similar por la competencia de la pastura y se redujo de 359 a 242 g/m<sup>2</sup> (32%). El efecto combinado de la competencia sobre ambos parámetros ocasionó una reducción en el IC de 46.5% a 43.6%. En el experimento 2, sembrado en el área más fértil y con mayor dosis de nitrógeno en la época de desarrollo, el rendimiento del arroz en monocultivo fue mayor que en el experimento 1, presentando promedios de 991 y 523 g/m<sup>2</sup>, para RB y RG, respectivamente. Los valores obtenidos en la asociación durante el periodo 1996-97, para estos mismos parámetros, fueron 675 y 344 g/m<sup>2</sup>, siendo también superiores a los obtenidos en 1995-96. La reducción debida a la competencia de la asociación fue de 34.5% para RB y de 28.4% para RG; por tanto, fue muy similar a la observada en 1995-96; no obstante, los IC fueron superiores en 1996-97 (52.8% en monocultivo y 50.7% en la asociación).

Tomando en cuenta las variaciones del RG y del RB del sistema asociado en relación con el monocultivo, los ocho materiales evaluados en el primer año se agruparon en tres clases: (1) dos susceptibles, con reducción en el rendimiento superior a 40%; (2) cinco medianamente tolerantes, con reducción entre 20% y 40%; y (3) uno tolerante con reducción inferior a 20%.

Para el segundo experimento se seleccionaron los dos materiales que se destacaron como extremos: los cvs. Caiapó (tolerante) y Río Verde (susceptible), que poseen tipo de planta tradicional de secano y presentaban, respectivamente, el mayor y el menor rendimiento en asociación con la gramínea. También se incluyeron los dos genotipos de comportamiento intermediario que tienen tipos de planta contrastantes: Río Paranaíba (secano tradicional) y Progreso (secano mejorado). En las Figuras 4 y 5 aparecen los RG y RB de estos genotipos.

Se observa que en el segundo experimento, el cv. Caiapó nuevamente presentó un elevado rendimiento bajo condiciones de asociación con la gramínea, pero también una mayor reducción en el rendimiento en 1995-96, pasando de 9% a 15.1% en el RB y de 14% a 21.9% en el RG. Para

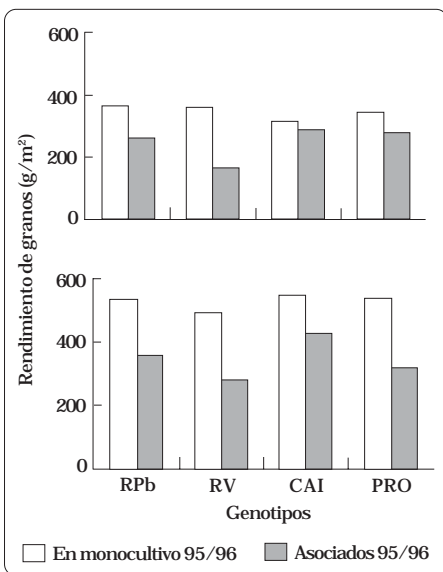


Figura 4. Rendimiento de granos de cuatro cultivares de arroz, en monocultivo o asociados con *Brachiaria brizantha*, en 2 años de evaluación. (RPb = Río Paranaíba; RV = Río Verde; CAI = Caiapó; PRO = Progreso.)

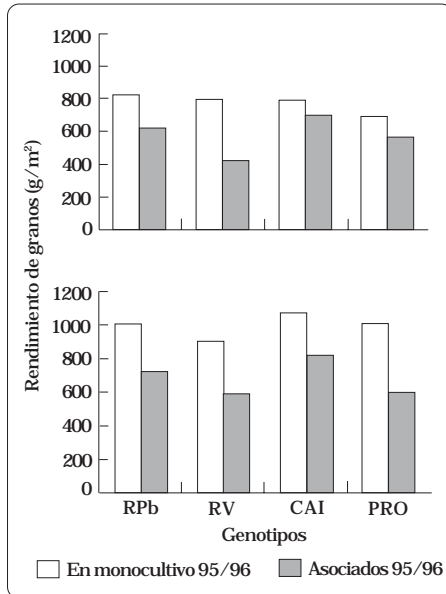


Figura 5. Rendimiento biológico de cuatro cultivares de arroz, en monocultivo o asociados con *Brachiaria brizantha*, en 2 años de evaluación. (RPb = Río Paranaíba; RV = Río Verde; CAI = Caiapó; PRO = Progreso.)

el cv. Río Verde, la reducción fue inferior a la observada en 1995-96 (de 55% a 43% en el RG y de 43% a 35% en el RB). Sin embargo, el cv. Río Paranaíba mantuvo la misma posición intermedia obtenida en el período 1995-96, mientras que el cv. Progreso presentó un desempeño inferior, siendo similar al cv. Río Verde por su desempeño en asociación con *Brachiaria*.

### Parámetros relacionados con el rendimiento de arroz en asociación

El estudio de correlaciones indicó una variación de los parámetros de rendimiento de granos en la asociación con la gramínea. En el primer año, utilizando los ocho cultivares, el RG del arroz en asociación se relacionó solamente con el RB de la misma

asociación ( $r = 0.874^{**}$ ) y con la fitomasa seca de *Brachiaria* ( $r = -0.771^*$ ). El número de días hasta la floración no se relacionó con el RG, indicando que el ciclo corto no es un factor limitativo del rendimiento en condiciones de cultivos asociados. En el sistema de monocultivo, los parámetros no mostraron relación con el RG.

En el Cuadro 1 se incluyen los coeficientes de correlación que permiten las comparaciones entre los dos experimentos, incluyendo los cuatro materiales comunes a ambos. En el primer año, la fitomasa seca de *Brachiaria* y del arroz fueron los factores determinantes del rendimiento en la asociación. El efecto intenso de la pastura sobre el arroz afectó la manifestación de las características de los genotipos desarrolladas en el monocultivo. Por otro lado, en el segundo año se observó que el RG bajo monocultivo, así como una serie de características de crecimiento evaluadas en este sistema, se relacionaron de manera altamente

significativa con el RG bajo el cultivo asociado. En este caso, el efecto de *Brachiaria* fue menos relevante en el RG, destacando la capacidad de rendimiento del genotipo.

La asociación induce a una competencia por utilización de recursos de agua, nutrientes, luz y espacio físico, entre otros (Odum, 1996). Por tanto, las diferencias entre comportamiento de las especies en los 2 años puede deberse a diferencias en el nivel de los recursos disponibles. Esto permite concluir que, bajo un manejo adecuado con buena fertilidad en el suelo y disponibilidad de agua, la competencia de *Brachiaria* sobre el arroz, o viceversa, es de menor intensidad, lo que hace que la competencia presente un papel secundario, en comparación con las características relacionadas con el rendimiento bajo condiciones de monocultivo.

La falta de relación entre las características de la planta y el RG en la asociación en el primer experimento, permite decir que la habilidad

Cuadro 1. Coeficientes de correlación lineal simple entre el rendimiento de granos de arroz en asociación con pasturas y parámetros morfológicos, fisiológicos y de rendimiento bajo diferentes formas de cultivo.

Parámetro	1995-96		1996-97	
	Asociación	Monocultivo	Asociación	Monocultivo
Rendimiento de granos	—	-0.181 ns	—	0.715**
Rendimiento biológico	0.967**	0.046 ns	0.877**	0.829**
Paja del arroz en la cosecha	0.866**	-0.191 ns	0.421 ns	0.618*
Índice de cosecha	0.619*	-0.259 ns	0.612*	0.172 ns
Fitomasa en la floración	0.403 ns	-0.107 ns	0.587*	0.867**
IAF en la floración	0.224 ns	-0.532*	0.521 ns	0.830**
Número de espiguillas por panícula	-0.078 ns	-0.400 ns	0.746**	0.781**
Fertilidad de espiguillas	0.336 ns	-0.464 ns	0.625*	0.709*
Altura de planta	0.418 ns	0.264 ns	0.656*	0.490 ns
Fitomasa seca de la pastura	-0.753**	—	-0.074 ns	—

\*  $P < 0.05$ .

\*\*  $P < 0.01$ .

competitiva del arroz en asociación con *Brachiaria* no se debe a una característica específica, sino más bien a varias características. El cv. Guaraní, de ciclo corto, produjo menos fitomasa y área foliar que cv. Caiapó, de ciclo intermedio, pero sus rendimientos en asociación con la gramínea fueron similares. Este resultado no es totalmente inesperado, pues la capacidad competitiva que determina el éxito en la asociación es considerada como una característica genética difícil de ser definida y de relacionar con características biológicas de los individuos (Harper, 1964).

En el segundo experimento, incluyendo sólo materiales de ciclo intermedio, predominaron las características que contribuyen a un buen crecimiento del arroz en términos de fitomasa, área foliar y altura de planta, así como las que contribuyen para un buen desempeño metabólico como el número de espiguillas. Todas estas características se encuentran en cultivares de arroz de secano del tipo tradicional, lo que permite concluir que ellos son los más adecuados para sistemas de cultivos asociados.

El tipo de planta per se no garantiza un buen desempeño, como lo demuestra el hecho de que los cvs. Caiapó y Río Verde poseen un tipo de planta similar y tienen diferencias significativas en el desarrollo de la fitomasa de tallos más vainas y panículas (Figura 6). El cv. Caiapó presentó una disminución de la fitomasa de tallos, paralela al crecimiento de la fitomasa de panículas, lo que sugiere una intensa traslocación de carbohidratos de reserva. En el caso del cv. Río Verde, la fitomasa de tallos permaneció prácticamente constante en todos los casos, lo que sugiere una baja capacidad de traslocación, como lo menciona Raissac (1992) en estudios sobre estrés hídrico.

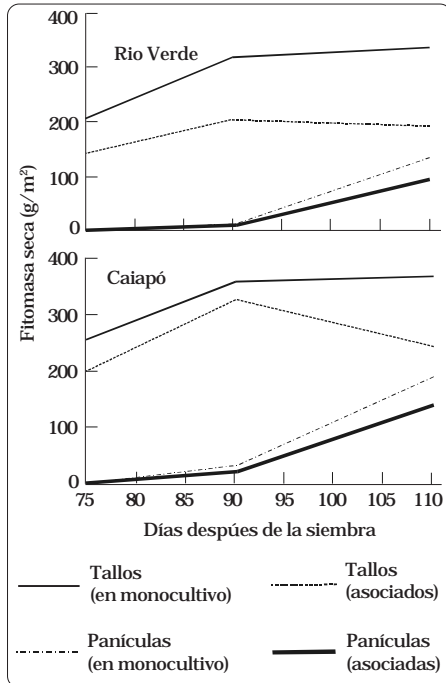


Figura 6. Evolución de la fitomasa de tallos más vainas y de panículas durante el período reproducido de los cvs. Río Verde y Caiapó de arroz, en monocultivo o asociados con *Brachiaria brizantha* en el período 1995-96.

La estimación de la tasa de traslocación es difícil en la práctica, ya que involucra análisis bioquímicos que requieren mucho trabajo y, en algunos casos, el uso del carbono marcado. En trabajos sobre estrés del ambiente, normalmente se utiliza la tasa de translocación aparente de fotoasimilados (TTA) —calculada con base en la variación de peso de los tallos y de las panículas entre la floración y la maduración— como una herramienta en la diferenciación de los genotipos (Reyniers et al., 1982). La aplicación de esta metodología, tomando como base los datos en la Figura 6, mostró que el cv. Caiapó presenta mayor capacidad de traslocación de fotoasimilados que el cv. Río Verde. Sin embargo, los elevados coeficientes de variación

obtenidos para esos parámetros, especialmente en el segundo experimento, indican que la metodología es difícil de aplicar y, por lo tanto, no se debe recomendar como método de evaluación. Parte de esta dificultad se encuentra en la variabilidad espacial de *Brachiaria*, que provoca variación en el crecimiento del arroz.

Los datos obtenidos en este estudio son preliminares y aún no permiten indicar con seguridad las características que se deben utilizar como criterio en programas de mejoramiento. Existen, aún, indicaciones que el ciclo corto por se permite escapar a la competencia severa de *Brachiaria*, que ocurre tardíamente en el ciclo de la planta de arroz. En el caso de los genotipos de ciclo intermedio, la capacidad de desarrollar una gran fitomasa, establecer reservas y posteriormente traslocarlas parece ser un mecanismo deseable. A través de este mecanismo, la planta puede desarrollar fitomasa en el período vegetativo, mientras la pastura no ejerce sombreadamiento

Esta característica se encuentra en genotipos del tipo de planta tradicional, como el cv. Caiapó. Los nuevos cultivares, recientemente recomendados para el sistema, no poseen ese tipo de planta y, por tanto, esa característica. Sin embargo, es posible que posean otras características que garanticen cierta capacidad competitiva con *Brachiaria*.

### **Efecto de *Brachiaria brizantha* en la Respuesta a la Sequía y el Consumo de Agua por Arroz de Secano**

El arroz de secano es susceptible a la deficiencia hídrica, principalmente durante el período reproducido.

Observaciones preliminares sugieren que la deficiencia hídrica puede ser minimizada en el sistema asociado arroz-pasturas, debido, especialmente, a la preparación profunda del suelo. En dos ensayos se evaluaron los efectos de la competencia de *Brachiaria brizantha* en la respuesta a sequía y el consumo por agua de arroz de secano, cultivados según la metodología del Sistema Barreirão, modificada en la época y densidad de siembra. Se incluyó además un testigo en monocultivo.

La siembra fue tardía, con el fin de hacer coincidir el período reproducido del cultivo de arroz con el inicio del período seco y utilizando una densidad de siembra de *Brachiaria* de 10 kg/ha, el doble de la recomendada, con el fin de generar una alta competencia. El diseño experimental fue de parcelas subdivididas, con dos tratamientos hídricos (control con riego y deficiencia hídrica en el período reproducido), dos sistemas de cultivo (arroz en monocultivo y asociado con *B. brizantha* cv. Marandú) y dos genotipos de arroz de secano (Río Paranaíba y CNA 7066). Durante el período de los tratamientos hídricos se realizaron determinaciones periódicas del potencial de agua, el grado de enrollamiento de las hojas, el contenido de agua en el suelo, el área foliar y la fitomasa seca. En la época de maduración se determinaron el rendimiento de granos y sus componentes.

El segundo experimento se realizó en la época seca, con el fin de medir el consumo de agua de las plantas. El estudio se realizó en macetas con Latosol Rojo Oscuro y arena, utilizando un diseño de bloques al azar con los siguientes tratamientos de cultivo: arroz solo (T1), pastura sola (T2) y asociación arroz-pasturas (T3). La variedad de arroz de secano utilizada fue Guarani.



En los tratamientos arroz solo y en la asociación, las semillas de arroz se distribuyeron en surcos, mientras que en la pastura sola y en la asociación, las semillas de *Brachiaria* se sembraron en sitios a igual distancia. Después del establecimiento de las plantas, se hicieron raleos para obtener finalmente 125 plantas de arroz en el T1, 18 plantas de *Brachiaria* en el T2, y 100 plantas de arroz más 18 plantas de *Brachiaria* por cada maceta en el T3.

El agua agregada se midió con hidrómetro, y el consumo estimado como la cantidad de agua necesaria para llevar el suelo a la saturación, después de restar la cantidad de agua eliminada por drenaje. Se hicieron mediciones del IAF por el método del ancho y largo a cada 15 días. Estas se iniciaron a los 23 días después de la siembra (dds) y siguieron hasta los 83 dds. El consumo de agua por unidad de área foliar se estimó después que aquella había cubierto totalmente el suelo.

### **Efecto de la asociación en la tolerancia del arroz a la sequía**

En el experimento de campo, la alta densidad de *Brachiaria* favoreció su rápido crecimiento desde del inicio de la siembra, lo que restringió el crecimiento del arroz, si se compara con lo que normalmente ocurre en el Sistema Barreirão. En la cosecha se obtuvieron 800 g/m<sup>2</sup> de fitomasa seca de *Brachiaria* y solamente 345 g/m<sup>2</sup> de fitomasa seca de arroz. La deficiencia hídrica fue larga, 21 días, durante el período de floración e inicio de llenado de los granos, períodos de mayor sensibilidad de la planta. De esa manera, los efectos de la competencia de la pastura y de la deficiencia hídrica sobre el rendimiento de granos de arroz fueron muy elevados, causando una disminución de 60% en relación con los respectivos controles. No se observó interacción entre el tratamiento hídrico

y el sistema de cultivo, lo que indica que la planta de arroz no se afecta mucho por la sequía cuando se asocia con pasturas.

Aunque se encontró una alta competencia en el rendimiento de arroz, lo que posiblemente no ocurre si se emplea la densidad de siembra recomendada para *Brachiaria*, la asociación trajo un beneficio fisiológico significativo a las plantas de arroz sometidas al estrés hídrico, manteniendo sus hojas más desarrolladas (Figura 7) y con un potencial de agua de 0.4 MPa mayor que el monocultivo de arroz, al final del periodo de estrés.

Este efecto puede ser explicado por la alteración del microclima, ocasionado por el sombreado inducido por las hojas superiores de *Brachiaria*, que cubrieron de manera gradual las hojas del arroz durante el periodo de estrés hídrico. La reducción de la evapotranspiración posiblemente redujo la transpiración del arroz, lo

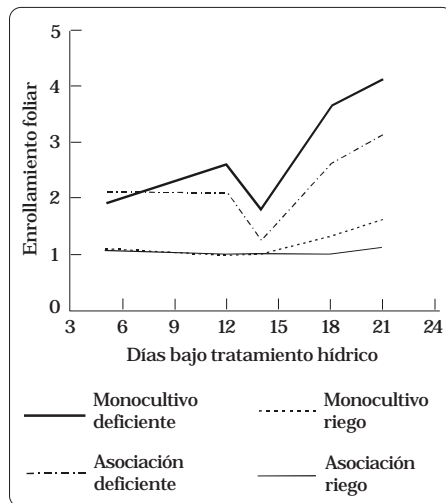


Figura 7. Evolución del enrollamiento foliar de plantas de arroz sometidas a deficiencia hídrica o mantenidas bajo riego durante el periodo reproducido en monocultivo o asociadas con *Brachiaria brizantha*.

cual fue corroborado por el mayor potencial de agua de las hojas al final del período de estrés. Posiblemente, este efecto no se manifestó en mayor rendimiento, debido a que la deficiencia hídrica por un período prolongado de tiempo incidió sobre el período más crítico de sensibilidad del cultivo.

### Consumo de agua en la asociación

Los datos del consumo de agua, obtenidos en segundo experimento, indicaron que *Brachiaria* consumió menos agua por maceta que el monocultivo del arroz o la asociación, que presentaron consumos similares (Figura 8). Este menor consumo podría ser atribuido, inicialmente, a la menor área foliar de *Brachiaria*, resultante de su baja densidad de siembra. Inclusive, como resultado de una mayor tasa de crecimiento subsecuente, el IAF de esta gramínea fue superior al del arroz monocultivo, pero inferior al IAF de la asociación.

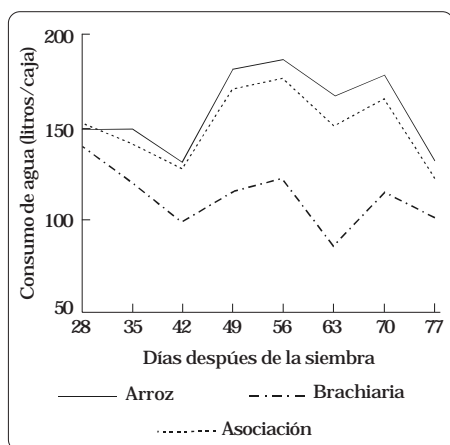


Figura 8. Evolución del consumo de agua de plantas de arroz y de *Brachiaria brizantha*, cultivadas en macetas durante el período de crecimiento.

La estimación del consumo de agua por unidad de área foliar, a partir de la cobertura completa del suelo, indica valores similares para los tres tratamientos en el periodo entre 48 y 62 dds. En la medida en que *Brachiaria* incrementó su área foliar, entre 62 y 83 dds, el consumo de agua por unidad de área foliar disminuyó significativamente, tanto en el cultivo solo como en la asociación. Por otra parte, el arroz en monocultivo, además de la reducción observada, presentó un consumo de agua superior a los demás tratamientos (Figura 9).

### Conclusiones

Los resultados de estos estudios, aún preliminares, sugieren que bajo condiciones óptimas de manejo y de fertilidad en el suelo, los cultivares susceptibles a la competencia por otros cultivos asociados pueden presentar buenos rendimientos cuando se asocian con *B. brizantha* cv. Marandú. No obstante, esta condición no es general; así, se recomienda que los genotipos de

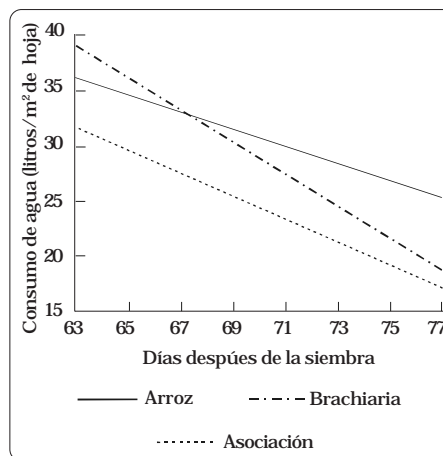


Figura 9. Consumo de agua/m² de hoja de las plantas de arroz y *Brachiaria brizantha*, cultivadas en macetas en monocultivo o asociadas durante el período de completa cobertura del suelo.

arroz de ciclo medio y recomendados para los sistemas de cultivo asociados tengan un alto potencial de adaptación. En ese sentido, la capacidad de acumular y traslocar fotoasimilados de reserva es una condición esencial para la utilización y selección de genotipos.

Los resultados también indicaron que el sistema de cultivo asociado arroz-pasturas no disminuye la reserva de agua en el suelo más rápidamente que el arroz en monocultivo y, por tanto, no contribuye a un mayor déficit de agua y estrés por sequía. Además, el microclima favorable inducido por el sombreado del arroz favorece el desarrollo de *Brachiaria*.

La continuidad de esos estudios deberá consolidar el conocimiento de las características de la planta de arroz que garanticen un adecuado

crecimiento y rendimiento en presencia de *B. brizantha* o de otras pasturas.

## Referencias

- Harper, J. L. 1964. The nature and consequence of interference among plants. *Ecol. Genet.* 465-482.
- Odum, E. P. 1996. *Ecología*. Ed. Guanabara, Río de Janeiro, Brasil. 434 p.
- Raissac, M. 1992. L'utilisation des carbohydres de réserve et son incidence sur la production chez le riz. *Agron. Tropic.* 46(2):97-105.
- Reyniers, N. F.; Truong-Binh; Jacquinet, L.; y Nicou, R. 1982. Breeding for drought resistance in dryland rice. En: *Drought resistance in crops with emphasis on rice*. International Rice Research Institute (IRRI), Filipinas. p. 273-292.

## CAPITULO 14

# Sistemas Agropastoriles Basados en Leguminosas de Usos Múltiples

M. A. Ayarza\*, L. Vilela\*\*, E. A. Pizarro\*\*\* y P. H. da Costa†

## Contenido

Resumen	175
Abstract	176
Introducción	177
Enfoque Metodológico	178
Resultados	180
Compatibilidad agronómica de <i>S. guianensis</i> y <i>A. pintoi</i> con gramíneas forrajeras y cultivos anuales	180
Potencial de Estilosantes y <i>Arachis</i> como coberturas permanentes en sistemas de cultivos anuales	182
Productividad de los prototipos de sistemas agropastoriles	183
Impactos en la producción y en las condiciones edáficas de los sistemas integrados agricultura-ganadería	185
Potencial de adopción de los sistemas agropastoriles	186
Discusión General	187
Conclusiones	190
Referencias	191

## Resumen

Los sistemas actuales de producción de granos, carne y leche en el Cerrado brasileño están presentando crecientes problemas económicos y ambientales.

---

\* Investigador del CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

\*\* Investigador de Embrapa Cerrados, Planaltina, D.F., Brasil.

\*\*\* Investigador del CIAT-Embrapa hasta abril de 1997. Actualmente: Rambla M. Gandhi 193, Apto. 601, 11300, Montevideo, Uruguay.

† Técnico Agrícola del CIAT, con sede en Uberlândia, Brasil.

Esta situación podría comprometer la calidad de los recursos naturales y la sostenibilidad de la agricultura en esta región a largo plazo. Una de las opciones para intensificar la producción agrícola y minimizar su impacto negativo sobre la calidad del suelo y del agua consiste en la integración de sistemas agrícolas y pecuarios en el tiempo y el espacio (sistemas agropastoriles). A partir de 1992, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária en el Cerrado (Embrapa Cerrados) trabajaron conjuntamente con otras instituciones para desarrollar sistemas agropastoriles para el Cerrado brasileño. La estrategia de investigación consistió en desarrollar sistemas basados en leguminosas forrajeras adaptadas a bajo y alto uso de insumos y en cuantificar el impacto productivo y edáfico de la integración de sistemas de cultivos y pastos. La mayoría de las actividades se llevaron a cabo en fincas de la región de Uberlândia, Minas Gerais. La inclusión de la leguminosa *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão en un sistema de arroz-pasturas con bajo uso de insumos dio como resultado un incremento de más de 50% en la producción animal, en comparación con el control sin leguminosa. La adaptación de esta leguminosa a sistemas de cultivos anuales con alto uso de insumos fue marginal. *Arachis pintoi* BRA-031143 mostró una mejor adaptación a la competencia de los cultivos y de las gramíneas forrajeras en los sistemas de altos insumos. Esta leguminosa tiene un gran potencial de uso como componente de rotaciones con cultivos anuales o como cobertura permanente en sistemas de siembra directa. Sin embargo, es necesario usar métodos químicos o mecánicos para controlar temporalmente los problemas de competencia sobre los cultivos. Los resultados de un estudio de caso en un sistema agricultura-ganadería confirmaron la existencia de un efecto sinérgico de la integración sobre la producción y las condiciones del suelo. Durante el ciclo de cultivos se elevó la fertilidad en el suelo. Durante el ciclo de pasturas se mejoró la agregación del suelo y los niveles de materia orgánica. Estudios más detallados indicaron que bajo las pasturas ocurren mecanismos de protección física de la materia orgánica. Este proceso es de especial significado en suelos arenosos. Las encuestas en tres cuencas cercanas a Uberlândia mostraron que la integración de sistemas agrícolas y pecuarios está comenzando a ser usada por los productores de granos.

## Abstract

Grain, meat, and milk producers in the Brazilian "Cerrados" are facing growing economic and environmental problems that may, over the long term, compromise natural resources and thus the sustainability of agriculture in the region. One option for intensifying agriculture and minimizing its negative impact on soil and water quality is to integrate crops and livestock across time and space as agropastoral systems. In 1992, a research project to develop agropastoral systems for the Brazilian "Cerrados" was started by the Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), the Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), and other institutions. The strategy was to develop systems based on integrating crops, pastures, and forage legumes (adapted to low and high inputs) and to quantify the impact made by these systems on production and soils. Most of the activities were carried out on farms around Uberlândia, State of Minas Gerais, Brazil. The legume *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão, introduced into a rice/pasture system with low inputs, increased animal production by more than 50%, compared with the control (no legume). This legume only marginally adapted to the system with annual crops and high inputs. In contrast, *Arachis pintoi* BRA-031143 was more competitive with crops and forage grasses in high-input systems. This legume has high potential for use as a component in rotation with annual crops or as a permanent cover in direct sowing systems. Even so, chemical or mechanical methods are needed to temporarily control problems of

competition. A case study confirmed the synergetic effects of this system on production and soil. Under crops, soil fertility increases, and under pastures, soil aggregation improves and organic matter becomes physically protected (especially important in sandy soils), raising levels. Surveys of three watersheds near Uberlândia showed that the integrated crop and livestock system is beginning to interest grain farmers.

## Introducción

La región del Cerrado se ha convertido, en menos de 30 años, en la frontera de expansión agrícola más importante del Brasil. Esta rápida transformación se debió a los avances tecnológicos en el manejo del suelo, la selección de cultivares adaptados a las condiciones de suelo y clima de la región y a la masiva inversión del Estado en infraestructura y programas de desarrollo para ocupar este ecosistema.

El crecimiento de la actividad agrícola en la región tuvo impactos positivos en la generación de riqueza y de empleo. No obstante, también generó impactos ambientales negativos como el aumento en erosión y compactación del suelo en los sistemas de cultivos anuales (Ayarza et al., s.f.). Además, creció en forma vertiginosa el consumo de pesticidas para controlar la presión biótica de malezas, plagas y enfermedades. Al mismo tiempo, se hizo notorio el problema de degradación de las pasturas, siendo ésta especialmente severa en más del 50% de las pasturas sembradas en el Cerrado, las cuales presentan cuadros severos de pérdida de vigor e invasión de malezas y ataques de plagas.

Con el fin de reducir el impacto negativo de los sistemas de manejo actuales se están desarrollando sistemas alternativos. Los sistemas tradicionales de preparación del suelo están siendo sustituidos por sistemas de labranza mínima donde los cultivos son sembrados sobre residuos de cosecha o sobre coberturas controladas con herbicidas. Al mismo tiempo, el

monocultivo de soya se está reemplazando por sistemas de rotaciones con otros cultivos, lo que permite reducir la incidencia de malezas y plagas. En los sistemas pecuarios se están usando gramíneas más resistentes al ataque del salivazo (*Deois flavopicta*) y cultivos para recuperar pasturas degradadas (Kluthcouski et al., 1991).

Una de las mejores estrategias para intensificar la producción agrícola en forma sostenible y revertir los problemas de degradación consiste en la integración de sistemas agrícolas y pecuarios en el tiempo y el espacio (sistemas agropastoriles). Esta estrategia se basa en el hecho de que cuando se combinan especies anuales y perennes ocurre un efecto sinérgico en la productividad y las condiciones del suelo (Lal, 1991; Spain, 1990). Este efecto se refleja en la utilización más eficiente de los nutrientes disponibles y el mejoramiento de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, además de reducción en los riesgos económicos que se derivan de la explotación de las actividades por separado.

Durante 4 años, el Programa de Trópico Bajo del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária en el Cerrado (Embrapa Cerrados) trabajaron con otras instituciones en un proyecto conjunto para desarrollar sistemas agropastoriles mejorados para el Cerrado brasileño. Los objetivos específicos del Proyecto fueron:

1. Desarrollar sistemas agropastoriles basados en leguminosas de uso múltiple;
2. Evaluar la productividad de esos sistemas en finca;
3. Cuantificar el impacto productivo y edáfico de la integración de sistemas agrícolas y pecuarios; y
4. Caracterizar el potencial de uso de esos sistemas en función de la dinámica de los sistemas de producción actuales.

En este capítulo se describen el enfoque metodológico seguido en la selección de los componentes y los resultados de la evaluación de prototipos, basados en leguminosas, en fincas de productores de la región.

## Enfoque Metodológico

La mayoría de las actividades se condujeron en fincas de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. La región está localizada entre 19° sur y 48° oeste y en ella se encuentran las clases agroecológicas más importantes del Cerrado (Jones et al., 1992). Además, ha experimentado un acelerado proceso de intensificación en el uso del suelo durante los últimos años (Oliveira Schneider, 1996). Los suelos de la región son profundos y bien estructurados con una fertilidad natural baja y una alta capacidad de fijación de fósforo. Según el sistema brasileño, estos suelos son clasificados como Latosolos Vermelho-Amarelo y Vermelho-Escuro (Anionic Acrustox y Typic Haplustox, de acuerdo a la clasificación americana). La precipitación, promedio anual, es de 1600 mm concentrada entre noviembre y marzo. Entre junio y septiembre se presenta una época seca muy marcada donde la humedad relativa alcanza valores inferiores a 15%.

El estudio se enfocó en el desarrollo de sistemas agropastoriles basados en leguminosas con potencial de adaptación en sistemas pecuarios y de cultivos con bajo y alto uso de insumos, respectivamente, como componentes de rotaciones y coberturas permanentes. Las investigaciones llevadas a cabo en otras regiones tropicales indican que la leguminosa es el componente clave para incrementar la sostenibilidad de los sistemas de producción (Boddey et al., 1996; McCown et al., 1993; Thomas et al., 1995). En este caso, se evaluó el potencial de *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão (Estilosantes) y *Arachis pintoi* BRA-031143 (Arachis) como componentes de estos nuevos sistemas. Estas leguminosas están adaptadas a las condiciones de clima y suelo de los Cerrados y tienen un gran potencial de producción (EMBRAPA/CPAC, 1993; Pizarro y Rincón, 1994).

Las etapas seguidas en el proceso de evaluación aparecen resumidas en la Figura 1. Los estudios de compatibilidad agronómica de *S. guianensis* cv. Mineirão y *A. pintoi* BRA-031143 se llevaron a cabo en experimentos de parcelas pequeñas bajo corte. En una de las fases se determinó su compatibilidad con varias gramíneas forrajeras promisorias; en otra, se estudió el efecto combinado de gramíneas y cultivos sobre el establecimiento de las leguminosas en un suelo arenoso con dos niveles de fertilidad. El potencial de ambas leguminosas como coberturas permanentes del suelo en sistemas de cultivos anuales se evaluó previamente en parcelas puras de sólo leguminosa.

La evaluación del impacto productivo de las leguminosas como componentes de sistemas agropastoriles se hizo en prototipos de 4 ha en fincas. Los prototipos se sembraron en sistemas de pasturas y de cultivos anuales con bajo y alto uso

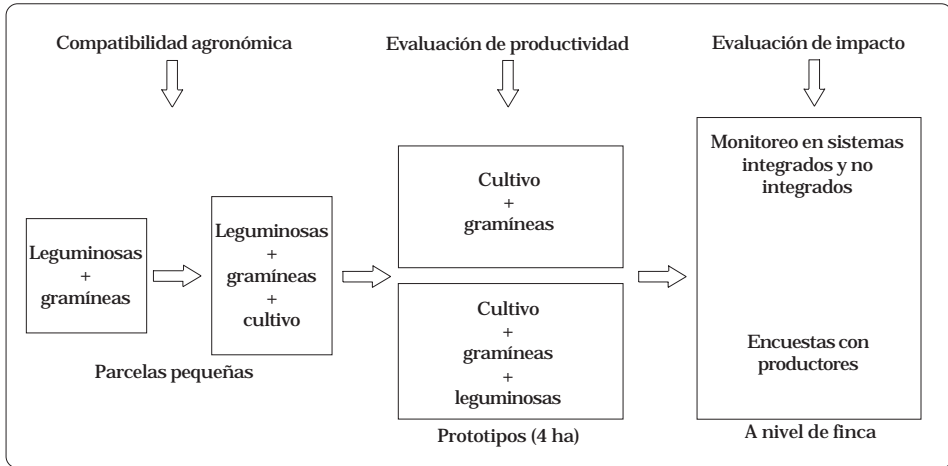


Figura 1. Secuencia de las actividades seguidas en el desarrollo de sistemas agropastoriles mejorados, MG, Brasil.

de insumos, respectivamente, en suelos arenosos y arcillosos. En el Cuadro 1 se incluyen las propiedades químicas y físicas de los suelos en cada sistema seleccionado. El diseño base de los prototipos incluyó la comparación entre un sistema de cultivos + pasturas vs. un sistema de cultivos + pasturas + 'coctel' (mezcla) de leguminosas.

Los componentes de cultivos y gramíneas forrajeras de los prototipos variaron en función del sistema de producción y el nivel de fertilidad. En el sistema de pasturas con bajos insumos se sembró arroz junto con las gramíneas *B. decumbens* y

*B. ruziziensis*. En los sistemas con altos insumos se sembraron maíz y la gramínea *Panicum maximum* cv. Vencedor. En todos los prototipos con leguminosas se utilizó el mismo 'coctel' (*S. guianensis* cv. Mineirão, *Neonotonia wightii* cv. Tinaroo y *Calopogonium mucunoides* cv. Comercial). Estas dos últimas leguminosas se incluyeron como controles de cultivares comerciales disponibles en el mercado. *Arachis pintoi* BRA-031143 no se sembró en los sistemas de altos insumos por falta de suficiente semilla. La fertilización en los prototipos de bajos insumos

Cuadro 1. Características químicas y físicas del suelo entre 0 y 20 cm de profundidad de las áreas seleccionadas para establecer los prototipos de sistemas agropastoriles en Uberlândia, MG, Brasil. (Promedios de 20 muestras compuestas por hectárea.)

Sistema de producción <sup>a</sup>	Arcilla (%)	M.O. (%)	pH H <sub>2</sub> O	P (ppm)	Ca + Mg	K (meq/100 g)	Al	Agregados > 2 mm (%)
Pasturas (AI)	57	3.7	5.1	0.9	0.5	0.07	0.5	77
Pasturas (BI)	17	0.7	5.3	1.1	0.4	0.13	0.6	73
Cultivos (AI)	57	3.4	6.2	34.0	4.9	0.12	0	50
Cultivos (BI)	13	0.7	6.3	26.0	2.4	0.25	0	46

a. AI = altos insumos; BI = bajos insumos.



consistió en 1 t/ha de cal y 70 kg/ha de  $P_2O_5$ , 35 kg/ha de  $K_2O$  y 12 kg/ha de N al momento de la siembra. Sesenta días después se aplicaron 20 kg/ha de N y 60 kg/ha de  $K_2O$ . En los prototipos de altos insumos sólo se aplicaron 20 kg/ha de  $P_2O_5$  a voleo junto con la semilla de la leguminosa. La fertilización del maíz fue aplicada por el productor según las recomendaciones para el cultivo.

La evaluación de los prototipos incluyó parámetros de producción de grano y de productividad animal. La producción de biomasa y la composición botánica de las pasturas se midió tres veces al año. Los cambios en la estabilidad de los agregados, en el porcentaje de materia orgánica y en la disponibilidad de nitrógeno se midieron a varias profundidades en el perfil del suelo. En el prototipo de bajos insumos en el suelo arenoso (17% de arcilla) se incluyó un control consistente en pastura degradada.

En forma paralela con las actividades de investigación se promovió la multiplicación de semillas de *S. guianensis* y *A. pintoi* BRA-031143 en campos de productores y la difusión de los resultados a través de visitas a los campos con cultivos prototipos.

El impacto productivo y edáfico de la integración agricultura-ganadería fue cuantificado en un estudio de caso realizado en la hacienda Santa Terezinha en Uberlândia. Esta propiedad está ubicada en un suelo arenoso; en ella se han tenido sistemas integrados de cultivos y pasturas por más de 10 años. Allí se recolectó toda la información disponible sobre uso del suelo y productividad animal y de los cultivos; se analizaron los cambios en las propiedades químicas y físicas del suelo bajo los ciclos de cultivos y pasturas. El trabajo se complementó con estudios detallados sobre la

agregación del suelo y la composición de la materia orgánica.

La caracterización de la dinámica de los sistemas de producción de granos y de los cambios tecnológicos ocurridos a través del tiempo se llevó a cabo en tres cuencas hidrográficas ubicadas en los municipios Río Uberabinha (Uberlândia), Ribeirão Santa Juliana (Santa Juliana) y Río Bagagem (Iraí de Minas). La caracterización se hizo mediante encuestas con productores en la finca. Los resultados obtenidos se complementaron con informaciones de sensores remotos.

En todas las etapas de evaluación se contó con la participación de los productores de la región, quienes colaboraron en la selección de los componentes de cultivos y gramíneas incluidos en los ensayos en pequeñas parcelas y suministraron la información utilizada para documentar el estudio de caso sobre el impacto de la integración agricultura-ganadería. Su nivel de participación fue aún mayor en las etapas de evaluación y análisis de impacto en la finca y en la caracterización de la dinámica de los sistemas productivos. Finalmente, se realizaron varios días de campo para analizar las diferentes opciones y discutir sus ventajas y limitaciones.

## Resultados

### **Compatibilidad agronómica de *S. guianensis* y *A. pintoi* con gramíneas forrajeras y cultivos anuales**

La agresividad de las gramíneas forrajeras y de los cultivos acompañantes afectó el establecimiento de las leguminosas en sistemas de siembra simultánea. En un experimento que incluyó 19 ecotipos de gramíneas forrajeras asociadas con

*S. guianensis* cv. Mineirão, se observó que este cultivar se asoció mejor con ecotipos de *Paspalum* y de *B. brizantha*, que con ecotipos de *P. maximum* y de *B. decumbens* (Ramos et al., 1996). No obstante, se encontraron diferencias de compatibilidad entre la leguminosa y ecotipos del mismo género; por ej., las diferencias en compatibilidad con los ecotipos de *B. brizantha* estuvieron inversamente relacionadas con la producción de materia seca (M.S.) de las gramíneas. En el caso de los ecotipos de *P. maximum* y *B. decumbens*, el efecto negativo sobre la leguminosa estuvo probablemente más relacionado con otras características de competencia, tales como sombrero, producción de raíces y absorción de nutrimentos. *Stylosanthes* es un género muy sensible a la sombra (Rodrigues et al., 1993) y a la competencia con gramíneas por N, Ca y P (Rao et al., 1995).

En otro experimento se comparó el comportamiento de varios ecotipos de *A. pinto*, *Centrosema macrocarpum*, *C. brasilianum* y *C. mucunoides* sembrados en asociación con *B. decumbens* CIAT 16488. La mayoría de las leguminosas, excepto los ecotipos de Arachis, desaparecieron por problemas de adaptación y de enfermedades. Los ecotipos de Arachis evaluados se asociaron bien con la gramínea y retuvieron las hojas durante una buena parte de la época seca (Pizarro et al., 1996). En este estudio se encontraron diferencias significativas en la producción de M.S. entre el cultivar comercial *A. pinto* cv. Amarillo y la accesión *A. pinto* BRA-031143 (Figura 2).

La competencia de las gramíneas no sólo afectó el establecimiento de las leguminosas, sino también el crecimiento de los cultivos acompañantes. *Panicum maximum* cv. Vencedor redujo en forma

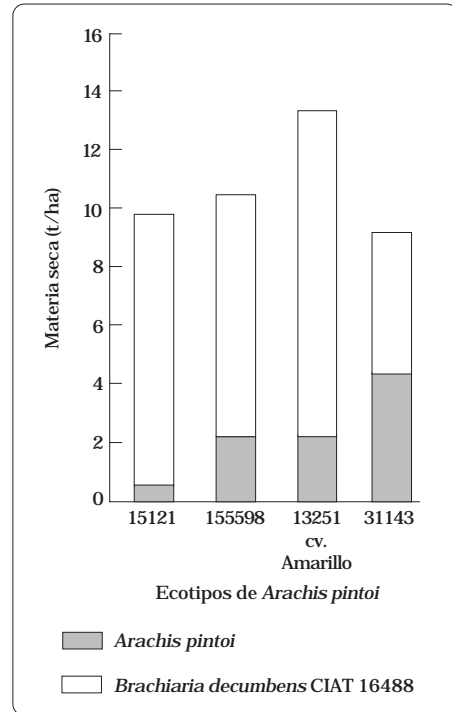


Figura 2. Participación de cuatro ecotipos de *Arachis pinto* en la producción de materia seca de una asociación con *Brachiaria decumbens*. Minas Gerais, Brasil.

significativa la producción de arroz y el establecimiento de *S. guianensis* cv. Mineirão, en comparación con *P. atratum* BRA-009610 en un sistema de siembra simultánea (Cuadro 2). Sin embargo, este efecto negativo de las gramíneas se redujo significativamente cuando se sembraron 30 días después de la siembra del cultivo y las leguminosas. Con el incremento de la fertilidad en el suelo aumentó el nivel de competencia de la gramínea hacia la leguminosa; así, Estilosantes prácticamente desapareció cuando se sembró simultáneamente con *P. maximum* cv. Vencedor y maíz en un sistema de altos insumos (Cuadro 3). Los rendimientos de maíz en este sistema se afectaron poco (menos que 14% en rendimiento) por la gramínea

Cuadro 2. Efecto de tres gramíneas forrajeras sobre la producción de arroz y de materia seca de *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão y *Arachis pintoi* BRA-031 143, sembrados en un suelo arenoso de Uberlândia, MG, Brasil. (Promedio de tres repeticiones.)

Especies <sup>a</sup>	Siembra <sup>b</sup> simultánea (t/ha)			Siembra 30 días después (t/ha)		
	Gramínea	Arroz	cv. Mineirão	Gramínea	Arroz	cv. Mineirão
<i>P. atratum</i>	4.80	1.10 a*	1.37 a	0.62	2.18 a	1.82 a
<i>B. brizantha</i>	7.29	1.20 a	0.55 b	0.71	2.55 a	0.95 a
<i>P. maximum</i>	7.45	0.19 b	0.27 c	1.41	2.15 a	1.38 a
	Gramínea	Arroz	Arachis	Gramínea	Arroz	Arachis
<i>P. atratum</i>	5.67	1.01 a	0.16 a	1.98	2.44 a	0.02 a
<i>B. brizantha</i>	6.18	1.02 a	0.13 a	1.61	2.57 a	0.04 a
<i>P. maximum</i>	7.16	0.31 b	0.07 a	2.73	2.20 a	0.06 a
Monocultivo	—	2.66	—	—	2.43	—

a. *Paspalum atratum* BR-009610, *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, *Panicum maximum* cv. Vencedor.

b. Siembra de la gramínea 30 después de la siembra del cultivo y la leguminosa.

\* Valores en cada columna seguidos por letras iguales no difieren significativamente ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Tukey.

acompañante, en comparación con maíz en monocultivo. La siembra de las gramíneas 30 días después que la leguminosa también redujo la competencia sobre éstas y el cultivo (Cuadro 3). La producción de M.S. de *A. pintoi* BRA-031 143 fue muy baja en ambos sistemas de producción. Sin embargo, su establecimiento mejoró después de la cosecha de maíz.

### **Potencial de Estilosantes y *Arachis* como coberturas permanentes en sistemas de cultivos anuales**

Las coberturas de *S. guianensis* cv. Mineirão y *A. pintoi* BRA-031 143 tuvieron efectos opuestos sobre el crecimiento y la producción de maíz. Las observaciones preliminares en un

Cuadro 3. Producción de grano de maíz (t/ha) y forraje (MS, t/ha) en un sistema maíz-pasturas en dos épocas de siembra de la gramínea en un suelo arenoso de Uberlândia, MG, Brasil.

Sistema de siembra	Gramínea <sup>a</sup>	<i>S. guianensis</i> cv. Mineirão	Arachis	Maíz
Maíz (monocultivo)	—	—	—	6.36 a
Maíz + leguminosas (S) <sup>b</sup>	—	1.81 a*	0.56 a	6.40 a
Maíz + leg. + <i>P. atratum</i> (S)	4.70	0.144 b	0.22 b	6.50 a
Maíz + leg. + <i>P. maximum</i> (S)	6.20	0.011 e	0.09 c	5.58 b
Maíz + leg. + <i>P. atratum</i> (30 días) <sup>c</sup>	1.20	1.07 b	0.62 a	6.48 a
Maíz + leg. + <i>P. maximum</i> (30 días)	1.50	0.72 c	0.55 b	6.59 a

a. Gramínea = *P. atratum* BR-009610; *P. maximum* cv. Vencedor; Mineirão = *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão; y *Arachis pintoi* BRA-031143.

b. S = Siembra simultánea.

c. Gramíneas sembradas 30 días después del cultivo y la leguminosa.

\* Valores en cada columna seguidos por letras iguales no difieren significativamente ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Tukey.

experimento en un suelo arenoso mostraron que el crecimiento de maíz sembrado sobre cobertura de Estilosantes fue similar al de maíz en monocultivo, mientras que sobre la cobertura de Arachis, el crecimiento fue severamente afectado. En este caso, las plantas de maíz se desarrollaron muy poco y mostraron fuertes síntomas de deficiencias nutricionales, lo cual estuvo asociado a la gran cantidad de raíces de Arachis entre 0 y 10 cm de profundidad en el suelo y a la gran capacidad de rebrote de la leguminosa con el inicio de las lluvias. En experimentos posteriores se observó que la competencia de *A. pintoi* BRA-031143 puede ser reducida temporalmente con la aplicación de 3.5 lt/ha de glifosato + 1% de urea, o con el paso de un subsolador sobre la cobertura antes de la siembra de maíz (Figura 3). Otros métodos mecánicos más intensivos, tales como el paso de rastra y arado + rastra, redujeron

también la competencia de la leguminosa, pero estimularon la incidencia de malezas (Cuadro 4). Trabajos exploratorios con un rango amplio de herbicidas mostraron que existen varias alternativas para reducir en forma temporal la cobertura de Arachis. En todos los casos, la cobertura de esta leguminosa se restableció completamente con el tiempo. En contraste, la cobertura de Estilosantes desapareció después de la cosecha de maíz.

### **Productividad de los prototipos de sistemas agropastoriles**

Al igual que lo ocurrido en los experimentos en parcelas pequeñas, *S. guianensis* cv. Mineirão se adaptó bien en los sistemas de bajos insumos, tanto en el suelo arenoso como en el arcilloso. Al momento de la cosecha de arroz se encontraron 3 ó 4 plantas/m<sup>2</sup>

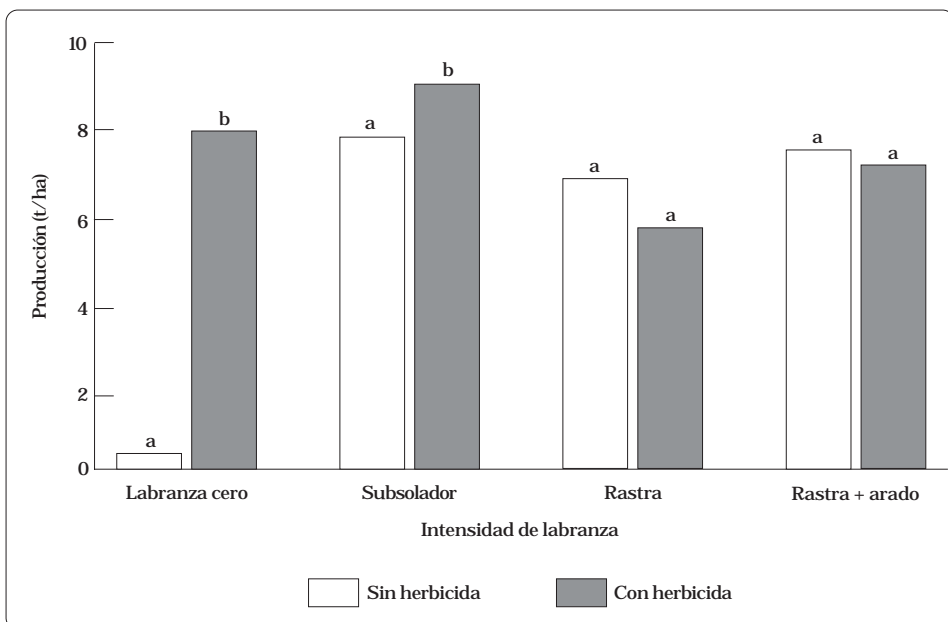


Figura 3. Producción de maíz sobre una cobertura de *A. pintoi* controlada con varios métodos mecánicos y químicos en un Latosol franco arenoso de Uberlândia, MG, Brasil. Valores seguidos por la misma letra no son estadísticamente diferentes, según la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

Cuadro 4. Efecto de la intensidad de labranza y de uso de herbicida sobre la producción de materia seca (t/ha) de *Arachis pintoi* BRA-031143 y malezas.

Intensidad de labranza	Sin herbicida		Con herbicida	
	Arachis	Malezas	Arachis	Malezas
Labranza cero	10.89 a*	0.43 a	0.60 b	0.46 a
Subsolador	4.05 b	0.75 a	0.08 a	2.17 b
Rastra	2.28 c	3.36 b	2.77 c	7.77 c
Arado + rastra	2.01 c	3.37 b	1.58 c	8.22 c

\* Valores en una misma columna seguidos por letras iguales no difieren estadísticamente ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Tukey.

de esta leguminosa. Aunque también se encontraron plantas de las otras leguminosas, su población fue baja. Los rendimientos del cultivo en este sistema fueron muy bajos, debido a la ocurrencia de períodos cortos de sequía y a la competencia de las gramíneas. En los sistemas de altos insumos, todas las leguminosas desaparecieron, como consecuencia de la competencia por luz de *P. maximum* cv. Vencedor y del cultivo de maíz. La producción de este último y el establecimiento de la gramínea fueron óptimos.

Después de 3 años en pastoreo, la ganancia animal en los prototipos de bajos insumos con leguminosas fue 50% mayor que en los prototipos cultivos-

pasturas (Cuadro 5). Esta diferencia aumentó hasta llegar a 80% después de una fertilización para mantenimiento con 20 kg/ha de  $P_2O_5$  y 40 kg/ha de  $K_2O$ . La mayor producción animal en los prototipos con leguminosa se asoció con una mayor capacidad de carga animal, ganancias individuales más altas y mejor calidad de la dieta. Las diferencias fueron más notorias durante la época seca, debido a la capacidad de *S. guianensis* cv. Mineirão para mantener una mayor oferta de materia verde. La proporción de este cultivar en la pastura se ha mantenido estable durante todo el tiempo de evaluación —entre 30% y 60% de la biomasa total, dependiendo de la época del año.

Cuadro 5. Ganancias de peso vivo acumuladas en 3 años de pastoreo en prototipos agropastoriles sembrados en dos sistemas de producción y dos tipos de suelo en Uberlândia, MG, Brasil.

Sistema de producción	Uso de insumos	Tipo de suelo	Prototipo	Prod. animal <sup>a</sup> (kg/ha por año)	Incremento de peso (%)
Pasturas	Bajo	Arenoso	Cultivo + gramínea	160	—
Pasturas	Bajo	Arenoso	Cultivo + gram. + leg.	254	58
Pasturas	Bajo	Arcilloso	Cultivo + gramínea	230	—
Pasturas	Bajo	Arcilloso	Cultivo + gram. + leg.	354	54
Cultivos	Alto	Arenoso	Cultivo + gramínea	236	—
Cultivos	Alto	Arenoso	Cultivo + gram. + leg.	267	10
Cultivos	Alto	Arcilloso	Gramínea sola	503	—

a. Promedio de 3 años.

Las ganancias de peso vivo animal en el prototipo cultivos-pasturas en el suelo arenoso, fueron similares a las obtenidas con el tratamiento control de pastura degradada, mientras que la producción animal en el prototipo de altos insumos en el suelo arcilloso fue dos veces mayor que en el suelo arenoso. Gran parte de esta diferencia se debió a la mayor disponibilidad de nitrógeno para la gramínea en el suelo arcilloso (1.29 mg/g vs. 0.61 mg/g en el suelo arenoso). El efecto de la baja disponibilidad de N en el suelo arenoso fue confirmada con la respuesta lineal de *P. maximum* cv. Centenário a la aplicación de este nutrimento (Figura 4). La limitación, debida a bajo nitrógeno en el suelo, se ha reflejado con el tiempo en una creciente proporción de soja perenne (*N. wightii*) en la pastura y con una mayor productividad animal en el prototipo con leguminosas (Cuadro 5). Las evaluaciones recientes de la composición botánica muestran que esta leguminosa constituye el 40% de la biomasa en oferta en la pastura.

Los resultados obtenidos en los prototipos que incluyen *S. guianensis*

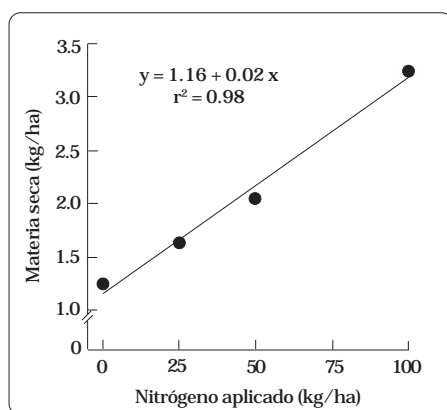


Figura 4. Respuesta a la aplicación de nitrógeno en una pastura de *Panicum maximum* cv. Centenário de 4 años de sembrada en un Latosol arenoso de Uberlândia, MG. Rebrote después de 45 días de aplicación.

cv. Mineirão y *A. pintoi* produjeron un creciente interés entre los productores de la región para multiplicar semilla de estas leguminosas. En 2 años se sembraron 8 ha de la primera y 3.5 ha de la segunda, que rindieron 122 y 235 kg de semilla pura, respectivamente.

### **Impactos en la producción y en las condiciones edáficas de los sistemas integrados agricultura-ganadería**

En 1983, con la introducción de la actividad agrícola en la hacienda Santa Terezinha, el sistema original de ganadería de cría se transformó en un sistema integrado, en el cual se alternan ciclos de cultivos y pasturas en el tiempo y el espacio. En 1992, todas las pasturas originales de *B. decumbens* cv. Basilisk ya habían sido reemplazadas por pasturas de *P. maximum* sembradas en forma simultánea con maíz después de un ciclo de 3 a 4 años de cultivos (Cuadro 6). A partir de esa época, la proporción del área en pasturas se ha mantenido en un 40% del área total de la finca. A pesar de esta reducción en área, la capacidad de soporte animal ha aumentado (Cuadro 7). Esto ha dado resultado en un incremento en la productividad de terneros por hectárea, en comparación con el sistema tradicional.

El nuevo sistema de producción mejoró también las condiciones del suelo (Cuadro 8). Durante el ciclo de cultivos se elevó la fertilidad en el suelo debido al uso de fertilizantes y correctivos. Durante el ciclo de pasturas se recuperó la agregación del suelo, y la materia orgánica aumentó en 30%, en comparación con áreas que tienen 4 años en cultivos (Figura 5). Lilienfein (1996) encontró que también ocurre un enriquecimiento de C, N y P en los macroagregados de estos suelos bajo los sistemas de pasturas.

Cuadro 6. Cambios en el área en pasturas a través del tiempo en la hacienda Santa Terezinha, como consecuencia de la introducción de cultivos en rotación con pasturas, Minas Gerais, Brasil.

Año	Sistemas		Area total (ha)	No. de animales	Capacidad de carga (animales/ha)
	Cerrado/pasturas (ha)	Cultivos/pasturas (ha)			
1983	1014	0	1014	1094	1.1
1984	970	0	970	1069	1.1
1985	858	61	919	1025	1.1
1986	647	80	727	804	1.1
1987	521	176	697	862	1.2
1988	293	296	589	821	1.9
1989	205	377	582	846	1.4
1990	115	493	608	892	1.4
1991	15	632	647	891	1.4
1992	0	412	412	1150	1.8

FUENTE: Ayarza et al. (1993).

Cuadro 7. Eficiencia económica de la producción de terneros en tres sistemas con diferentes grados de manejo en la región de Uberlândia, MG, Brasil.

Parámetros	Sistema de manejo		
	Tradicional	Mejorado	Cultivos/pasturas
Renovación/año (%)	1	10	25
Edad pastura (años)	15-20	10	5
Hectáreas/vaca	1.85	1.3	0.96
Terneros/ha	2.8	5.7	6.6
Renta bruta/ha (US\$)	43	95	110
Area en pasturas	1728	2110	416
Renta bruta total (US\$)	74,304	200,450	45,760

FUENTE: Fisher et al. (1995).

Actualmente se están haciendo mediciones adicionales para evaluar el impacto de la leguminosa sobre las propiedades del suelo. Los resultados preliminares indican que hay un aumento de la población de la mesofauna y en los residuos de materia vegetal muerta en las pasturas asociadas (Figura 6).

### **Potencial de adopción de los sistemas agropastoriles**

Los resultados de la caracterización de los sistemas de producción en las cuencas seleccionadas mostraron que los cultivos anuales ocupan, en promedio, el 72% del área total de las fincas. El resto está ocupada por

Cuadro 8. Cambios en las propiedades químicas en un Latosol arenoso de la hacienda Santa Terezinha, después de 4 años de cultivos continuos. Uberlândia, MG, Brasil. (Promedio de cuatro muestras compuestas.)

Parámetros	Profundidad (cm)	Cerrado nativo	Sistema cultivos
pH	0-10	5.4	6.3
	10-20	5.2	5.9
	20-30	5.2	5.6
	30-40	5.2	5.0
Saturación bases (%)	0-10	19.1	82.7
	10-20	22.6	84.6
	20-30	21.9	69.5
	30-40	17.7	52.0
P (ppm)	0-10	1.6	24.8
	10-20	0.6	2.0
	20-30	0.4	1.0
	30-40	0.3	0

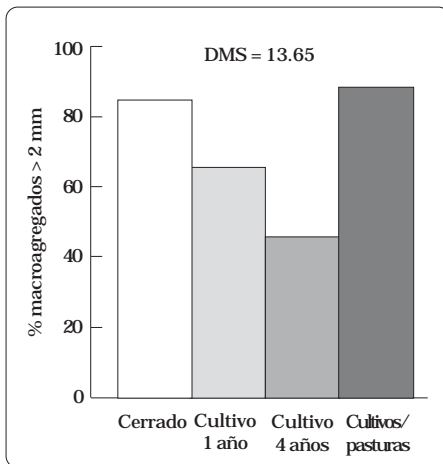


Figura 5. Efecto del manejo del suelo sobre la proporción de los macroagregados en un Latosol franco arenoso de Uberlândia, MG, Brasil.

pasturas cultivadas y áreas de reserva ubicadas en áreas no mecanizables (Smith et al., 1997).

Aproximadamente, la mitad de los productores entrevistados también tienen ganado de leche y carne. Durante la época de lluvias, los animales permanecen en las pasturas

cultivadas. En la época seca, los animales son confinados y suplementados con ensilaje y concentrados producidos generalmente con los cultivos de la finca. Este tipo de integración ha permitido aprovechar las áreas no aptas para la agricultura y aumentar la renta de los productores con la producción de leche y carne. La percepción de los productores es que la ganadería es más un complemento que un sustituto de la actividad principal de producción de granos. La rotación de cultivos y pasturas es todavía una práctica poco usada entre los productores. Sólo un 6% de ellos ha sembrado pasturas de alta productividad en áreas agrícolas para sistemas en confinamiento; la mayoría tiene pasturas en áreas poco mecanizables, lo que dificulta la siembra de cultivos.

## Discusión General

Para que una tecnología sostenible sea rápidamente adoptada por los productores, es necesario que genere



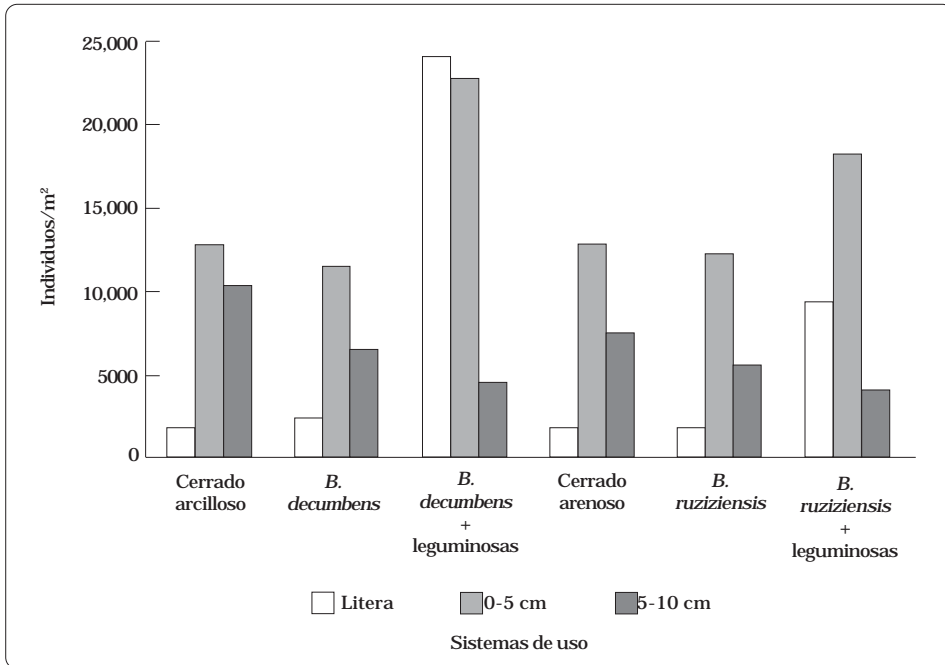


Figura 6. Mesofauna en el suelo y en materia seca muerta (litter) en pasturas asociadas de Uberlândia, Brasil.

beneficios a corto y largo plazo en productividad y calidad del suelo, sin ocasionar cambios estructurales en el sistema productivo (Spencer, 1991). Este podría ser el caso de la introducción de *S. guianensis* cv. Mineirão en sistemas ganaderos con bajo uso de insumos. Esta tecnología requiere poca cantidad de semilla para su establecimiento (700 a 1500 g/ha), no necesita labores adicionales de preparación de suelo y exige muy pocos insumos. Aunque no se han estudiado en detalle los mecanismos de adaptación de esta especie a baja disponibilidad de nutrientes en el suelo, sí se sabe que las leguminosas de este género son muy eficientes en asociación con micorriza y tienen una alta tasa de absorción de fósforo por unidad de raíz (Rao et al., 1997). Estas características, y la capacidad de proporcionar forraje verde durante la época seca, le dan a esta leguminosa

claras ventajas sobre otras especies para mejorar la productividad del sistema aún en épocas críticas.

A pesar de los atributos positivos de esta leguminosa, es muy sensible a la competencia por luz y nutrientes; por tanto, es necesario seleccionar el tipo de gramínea y cultivo acompañantes. Las gramíneas tienen un sistema radicular más profuso que las leguminosas, lo que les permite explorar un mayor volumen de suelo para absorber agua y nutrientes (Rao et al., 1996). En condiciones de mayor fertilidad en el suelo, la sobrevivencia de *S. guianensis* cv. Mineirão es menor, debido a la mayor capacidad de respuesta de las especies acompañantes al incremento de fertilidad.

La mayor productividad en las pasturas con *S. guianensis* cv. Mineirão

está relacionada con el suministro de N de la leguminosa al sistema suelo-planta-animal. Cadish et al. (1993) determinaron que más del 80% del N absorbido por varias especies de *Stylosanthes* proviene de fijación biológica. Parte de este N es consumido como proteína por los animales y parte es reciclado al suelo a través de la orina y las heces de los animales y por procesos de descomposición de los residuos vegetales (Thomas, 1992). Estos procesos dan como resultado el incremento en el nitrógeno mineral en el suelo (Cadish et al., 1993; Freibauer, 1996) y eventualmente en una mayor disponibilidad de este elemento para la gramínea acompañante. Esto se confirmó en este trabajo con los mayores contenidos de N medidos en el tejido de las gramíneas asociadas con *S. guianensis* cv. Mineirão en comparación con las gramíneas solas. El incremento observado en la productividad de las pasturas asociadas después de la fertilización con P y K también podría estar relacionado a esa mayor disponibilidad de N. Por otro lado, las escasas diferencias de producción animal entre la pastura sola del sistema cultivos-pasturas y el control pastura degradada en el suelo arenoso, indican que el efecto de la recuperación de las pasturas mediante el uso de cultivos es de corto plazo y que es necesario incluir una fuente de N, si se quiere mantener el incremento en la productividad.

El comportamiento de *A. pinto* BRA-031143 contrasta con el de *S. guianensis* cv. Mineirão. *Arachis* es una leguminosa perenne, de crecimiento postrado y que tiene varios mecanismos de persistencia (Fisher y Cruz, 1994). Aunque su crecimiento inicial es lento, produce más raíces que otras leguminosas y tiene una mayor eficiencia en la absorción de nutrientes (Rao et al., 1996); además, tolera la sombra temporal. Estas

características, sumadas a su excelente calidad nutritiva y su buena capacidad de cobertura del suelo, la hacen una planta adaptada a sistemas de manejo intensivos con alto uso de insumos.

Una vez establecida en estos sistemas, puede persistir en asociación con gramíneas tan agresivas como *P. maximum* cv. Vencedor y contribuir al mantenimiento de la producción animal en sistemas de rotación con cultivos en suelos arenosos. Aunque este efecto no pudo ser documentado, sí se observó una buena persistencia de esta especie en parcelas bajo pastoreo en los prototipos en los que se evaluó.

En América Central existen varias experiencias sobre el uso de *Arachis* como cobertura permanente en plantaciones de café (Staver, 1996), banano (Granstedt y Rodríguez, 1996; Pérez, 1996) y naranja (Pérez- Jiménez et al., 1996). Entre las ventajas de estos sistemas de cultivo se menciona un mejor control de malezas, la protección del suelo contra el impacto de las lluvias y la reducción de las poblaciones de nematodos. No obstante, el establecimiento de la leguminosa ha sido lento, eventualmente compite con los cultivos y su establecimiento es costoso.

Los resultados obtenidos en estos trabajos indican que una vez que la cobertura con *Arachis* está bien establecida, la incidencia de malezas se reduce significativamente, pero es necesario controlar temporalmente la competencia de la cobertura para obtener buenos rendimientos de cultivos como maíz. El objetivo del control es minimizar la competencia inicial para el cultivo y permitir que la cobertura se restablezca completamente al final del ciclo de crecimiento del cultivo. La celeridad de recuperación de la cobertura y la incidencia de malezas dependen del sistema de control de la cobertura. Los métodos que destruyen la cobertura y

perturban el suelo estimulan la germinación de semillas viables en el suelo de algunas malezas. El uso del subsolador ha dado los mejores resultados. Con este implemento de preparación vertical del suelo se produce un daño mecánico sobre las raíces de *Arachis* sin destruir totalmente la cobertura. Esto reduce la competencia radicular y mejora las condiciones físicas del suelo para el cultivo.

Los resultados del monitoreo de sistemas agricultura-ganadería confirmaron el efecto benéfico de la integración sobre la productividad del sistema y sobre la calidad del suelo. A pesar de su gran potencial, este sistema es todavía poco usado por los productores. Esto se debe, en parte, a los cambios necesarios en infraestructura y administración para manejar ambas actividades. Además se requiere un cambio en la mentalidad del productor de granos y del ganadero, acostumbrados a trabajar con una sola actividad (Spain et al., 1996). Aparentemente, este cambio está comenzando a darse entre los productores de granos, como lo demuestran los resultados de las encuestas.

Por otra parte, los productores están percibiendo cada día más el beneficio económico de la integración cultivos-pasturas, aunque ambas actividades se mantienen en áreas separadas. La adopción de los sistemas de rotación de cultivos y pasturas tomará tiempo. Sin embargo, éste parece ser el camino más viable para incrementar la sostenibilidad de los sistemas agrícolas en suelos frágiles. La inclusión de especies forrajeras como cobertura en sistemas de siembra directa de cultivos anuales tiene un gran potencial debido a su capacidad para cubrir el suelo, agregar valor a la cobertura y permitir su eventual utilización como componente de

sistemas de rotación con cultivos. Es aún necesario identificar otras especies de gramíneas y leguminosas que se adapten a las condiciones de suelo y de manejo del productor.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos en estos trabajos han demostrado que los sistemas agropastoriles tienen potencial para incrementar la productividad y reducir los riesgos de degradación, mejorando las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. El impacto positivo de estos sistemas es aún mayor cuando se incluyen leguminosas forrajeras como *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão y *Arachis pintoi* BRA-031143.

### *Stylosanthes guianensis* cv.

Mineirão es una leguminosa adaptada a baja fertilidad en el suelo, que puede ser fácilmente establecida en sistemas arroz-pasturas, con el fin de renovar pasturas degradadas mediante la aplicación de bajos niveles de insumos. Además de mejorar la dieta de los animales, aumenta la disponibilidad de N en el sistema suelo-planta y permite una mayor estabilidad de las pasturas a más largo plazo.

En contraste, *Arachis pintoi* BRA-031143 está más adaptada a sistemas de producción intensivos en el uso de insumos. Es relativamente tolerante a la competencia por luz y nutrimentos y tiene una buena capacidad de cobertura una vez establecida. Estos atributos la hacen apropiada para sistemas de rotación con cultivos y como cobertura del suelo en sistemas de siembra directa.

La integración de las actividades agrícolas y pecuarias en una misma finca es una actividad relativamente reciente entre los productores del

Cerrado. Los productores que la están practicando ya perciben las ventajas económicas y ambientales de esta tecnología. La adopción en mayor escala de este sistema va a depender, en gran medida, de la capacidad de los ganaderos y agricultores para adaptarse a los cambios estructurales y de tradición que imponen este sistema. Los sistemas de investigación, por su parte, tendrán que aumentar la oferta de componentes de cultivos y de pasturas e identificar el manejo adecuado para maximizar su efecto sinérgico sobre la producción y la calidad del suelo.

La estrategia de investigación en fincas permitió incorporar en forma temprana al productor en la generación y evaluación de las nuevas tecnologías. Además, dio la oportunidad de identificar más rápidamente los problemas y las oportunidades de investigación en un rango amplio de condiciones. Ese fue el caso en el presente trabajo, donde se incluyeron, desde sistemas ganaderos extensivos en suelos arenosos con bajo uso de insumos, hasta sistemas intensivos de cultivos anuales con alto uso de insumos en suelos arcillosos.

## Referencias

- Ayarza, M.; Soares, W.; da Rocha, C. M.; Teixeira, S; y Bahia, F. s.f. Caracterização dos sistemas agrícolas e dos problemas de sustentabilidade em quatro regiões do Cerrado brasileiro. Documento interno. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA/CPAC). (En impresión.)
- Boddey, R.; Alves, B. J.; y Urquiaga, S. 1996. Nitrogen cycling and sustainability of improved pastures in the Brazilian Cerrados. En: Carvalho, E. F. y Nasser, B. (eds.) Biodiversity and sustainable production of food and fibres in the tropical savannas. Proceedings of the First International Symposium on Tropical Savannas, Brasilia, 24th to 29th of March, 1996. Planaltina, DF, Brasil. p. 33-38.
- Cadish, G.; Carvalho, E. F.; Suhet, A. R.; Vilela, L.; Soares, W.; Spain, J. M.; Urquiaga, S.; Giller, K. E.; y Boddey, R. M. 1993. Importance of legume nitrogen fixation of pastures in the Cerrados of Brazil. Proceedings of the XVII International Grassland Congress, Palmerston North, Nueva Zelanda. p. 1915-1916.
- Coventry, D. R.; Hirth, J. R.; y Fung, K. K. 1987. Nutritional restraints on subterranean clover grown on acid soils used for crop-pasture rotation. Aust. J. Agric. Res. 38:163-76.
- EMBRAPA-CPAC (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados). 1993. Recomendações para o estabelecimento e utilização do *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão. Comunicado técnico no. 67.
- Fisher, J.; King, J. M.; y Ayarza, M. A. 1995. Economic aspects of integrating crops and livestock in the Brazilian Cerrados. (En impresión.)
- \_\_\_\_\_ y Cruz, P. 1994. Some ecophysiological aspects of *Arachis pintoi*. En: Kerridge, P. C. y Hardy, B. (eds.). Biology and agronomy of forage *Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 53-70.

- Freibauer, A. 1996. Short term effects of land use on aggregates, soil organic matter, and status of a clay Cerrado Oxisol, Brazil. Tesis de Maestría. University of Bayreuth, Alemania.
- Granstedt, R. y Rodríguez, A. M. 1996. Establecimiento de *Arachis pintoi* como cultivo de cobertura en plantaciones de banano. En: Argel, P. A. y Ramírez, A. (eds.). Experiencias regionales con *Arachis pintoi* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centroamérica y el Caribe. Documento de trabajo no. 159. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 183-187
- Jones, P. G.; Rincón, M.; y Clavijo, L. A. 1992. Classificação e mapeamento de áreas para a região dos Cerrados do Brasil. Segundo Esboço. Land Use Program. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Kluthcouski, J.; Pacheco, A. R.; Teixeira, S. M.; y Oliveira, E. T. de. 1991. Renovação de pastagens de Cerrado com arroz: I. Sistema Barreirão. Documento no. 33. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), Goiânia, Goiás, Brasil. 20 p.
- Lal, R. 1991. Tillage and agricultural sustainability. Soil Tillage Res. 20:133-146.
- Lilienfein, J. 1996. Influence of land use on C, N, S and P pools in loamy and clayey Cerrado-Oxisols, Brazil. Tesis M.S. University of Bayreuth, Alemania.
- McCown, R. L.; Thiagalingan, K.; Price, T.; Carberry, P. C.; Jones, R. K.; Dalgleish, N. P.; y Peake, D. C. 1993. A legume ley system in Australia's semi-arid tropics. En: International Grassland Congress. 17. 1993. Rockhampton, Australia. Proceedings. Palmerston North, Nueva Zelanda. p. 2206-2008.
- Oliveira Schneider, M. de. 1996. Bacia do rio Uberabinha: Uso agrícola do solo e meio ambiente. Tesis de Doctorado. Universidade de São Paulo, Brasil.
- Pérez, L. 1996. *Arachis pintoi* como cobertura viva en el cultivo de banano cv. gran enano (musa AAA). En: Argel, P. A. y Ramírez, A. (eds.). Experiencias regionales con *Arachis pintoi* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centroamérica y el Caribe. Documento de trabajo no. 159. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 171-183.
- Pérez-Jiménez, S. C.; Castillo, E.; Escalona, M. A.; Valles, V.; y Jarillo, J. 1996. Evaluación de *Arachis pintoi* CIAT 17434 como cultivo de cobertura en una plantación de naranja var. Valencia. En: Argel, P. A. y Ramírez, A. (eds.). Experiencias regionales con *Arachis pintoi* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centroamérica y el Caribe. Documento de trabajo no. 159. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 188-193.
- Pizarro, E. A.; Ramos, A. K. B; Ayarza, M. A.; Carvalho, M. A.; y Costa, P. H. 1996. Avaliação agrônômica de leguminosas forrageiras consorciadas con *B. decumbens* em Uberlândia, M. G. Anais da XXXIII Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Fortaleza-Ceará. 21 a 26 de Julho. vol. 2, p. 209-211.
- \_\_\_\_\_ y Rincón, A. 1994. Regional experience with forage *Arachis* in South America. En: Kerridge, P. C. y Hardy, W. (eds.). Biology and agronomy of forage *Arachis*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 144-157.

- Ramos, A. K. B.; Pizarro, E. A.; Ayarza, M. A.; Carvalho, M. A.; y Costa, P. H. 1996. Avaliação agrônômica de gramíneas forrageiras consorciadas com *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão em Uberlândia, M. G. Anais da XXXIII Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Fortaleza-Ceará. 21 a 26 de Julho. vol. 2.
- Rao, I. M.; Ayarza, M. A.; y García, R. 1995. Adaptive attributes of tropical species to acid soils. I. Differences in plant growth, nutrient acquisition and nutrient utilization among C4 grasses and C3 legumes. *J. Plant Nutr.* 18(10):2135-2155.
- \_\_\_\_\_; Borrero, V.; Ricaurte, J.; García, J.; y Ayarza, M. A. 1996. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. II. Differences in shoot and root growth responses to varying phosphorus supply and soil type. *J. Plant Nutr.* 19(2):323-352.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; y \_\_\_\_\_. 1997. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. III. Differences in phosphorus acquisition and utilization as influenced by varying phosphorus supply and soil type. *J. Plant Nutr.* 20(1):155-180.
- Rodrigues, T. de; Rodrigues, L. R. de A.; y Reis, R. A. 1993. Adaptação de plantas forrageiras às condições adversas. En: Favoretto, V.; Rodrigues, L. R. de A.; y Reis, R. A. (eds.). Segundo Simpósio sobre Ecossistema de Pastagens. Fundação de Estudos e Pesquisa em Agronomia, Universidade Estadual de São Paulo (FUNEP/UNESP), Brasil. p. 17-61.
- Smith, J.; Cadavid, J. V.; Ayarza, M. A.; y Pimenta de Aguiar, J. L. 1997. Adoption of resource management technologies: Lessons from the Brazilian savanna. *J. Sustainable Develop.* (En impresión.)
- Spain, J. M. 1990. Neotropical savannas: Prospects for economically and ecologically sustainable crop-livestock production systems. En: Seminario Internacional: Manejo de los Recursos Naturales en Ecosistemas Tropicales para Agricultura Sostenible. Bogotá, Colombia.
- \_\_\_\_\_; Ayarza, M. A.; y Vilela, L. 1996. Crop-pasture rotations in the Brazilian Cerrados. En: Carvalho, E. F. y Nassar, B. (eds.). Biodiversity and sustainable production of food and fibres in the tropical savannas. Proceedings of the First International Symposium on Tropical Savannas, Brasilia, 24th to 29th of March, 1996. Planaltina, DF, Brasil. p. 39-45.
- Spencer, D. S. C. 1991. IITA technologies and on-farm adoption: Are we wasting our Time? *Viewpoint IITA Research* 3:24-25.
- Staver, C. 1996. *Arachis pintoi* como cobertura en el cultivo de café: Resultados de investigación y experiencias con productores en Nicaragua. En: Argel, P. A. y Ramirez, A. (eds.). Experiencias regionales con *Arachis pintoi* y planes futuros de investigación y promoción de la especie en México, Centroamérica y el Caribe. Documento de trabajo no. 159. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 150-170.
- Thomas, R. J. 1992. The role of legume in the nitrogen cycle of productive and sustainable pastures. *Grass Forage Sci.* 47:133-142.
- \_\_\_\_\_; Fisher, M. J.; Ayarza, M. A.; y Sanz, J. I. 1995. The role of forage grasses and legumes in maintaining the productivity of acid soils in Latin America. En: Lal, R. y Steward, B. A. (eds.). Soil management: Experimental basis for sustainability and environmental quality. *Advances in Soil Science Series*. Boca Raton, Florida. p. 61-83.

**PARTE 4**

**Potencial de los Sistemas  
Agropastoriles para el Manejo  
Sostenible de las Sabanas Tropicales  
de América del Sur**

## CAPITULO 15

# Sistema Barreirão: Recuperación/ Renovación de Pasturas Degradadas Utilizando Cultivos Anuales<sup>1</sup>

*J. Kluthcouski\*, I. P. de Oliveira\*, L. P. Yokoyama\*, L. G. Dutra\*,  
T. de A. Portes\*\*, A. E. da Silva\*\*\*, B. da S. Pinheiro\*, E. Ferreira\*,  
E. da M. de Castro\*, C. M. Guimarães\*, J. de C. Gomide\* y L. C. Balbino\**

## Contenido

Resumen	196
Abstract	196
Introducción	196
Economía de las Tecnologías Disponibles para la Recuperación y Renovación de Pasturas Degradadas	199
Caracterización y Secuencia de Aplicación de las Prácticas que Componen el Sistema Barreirão	202
Evaluación Experimental del Sistema Barreirão	204
Aplicación de cal	205
Preparación del suelo	207
Fertilización	210
Tratamiento de semillas	214
Siembra	217
Análisis del crecimiento de los cultivos anuales y de las forrajeras	223
Sitios de Evaluación del Sistema Barreirão	225
Comportamiento de las Pasturas en Fincas de Productores	225

1. Este trabajo apareció originalmente en: Serie Documentos no. 64 de Embrapa Arroz e Feijão. Este estudio fue ganador del premio Iochpe de Tecnología, período 1990-91 y fue seleccionado a nivel nacional para Premio Safra 1997-98.

\* Investigadores de Embrapa Arroz e Feijão (CNPAP), Caixa Postal 179, CEP 75375-000, Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil.

\*\* Profesor de la Universidade Federal de Goiás (UFG), Caixa Postal 697, CEP 74001-970, Goiânia, Goiás, Brasil.

\*\*\* Investigador de Embrapa Milho e Sorgo (CNPMPF). Actualmente: Director Técnico de EMATER-GO, Brasil.



Análisis Socioeconómico del Sistema Barreirão	227
Otros Beneficios del Sistema Barreirão	228
Referencias	229

## **Resumen**

El Cerrado brasileño es una bioma que presenta un potencial inmenso para la explotación agrícola y ganadera; sin embargo, ambas alternativas utilizadas aisladamente llevan a una degradación del ambiente. El Sistema Barreirão (SB) es una propuesta de recuperación/renovación de pasturas utilizando cultivos anuales asociados que busca solucionar el problema. El SB posee etapas fundamentales: el conocimiento del suelo, su preparación, la siembra, la conducción del cultivo, la cosecha de granos del cultivo y la introducción de ganado. Para el completo desarrollo del sistema fue necesario realizar varios experimentos para determinar factores, tales como los niveles de fertilizantes requeridos por los diferentes cultivos y el residuo para las pasturas, la cantidad de cal y el momento de la aplicación, el tipo de maquinaria y los ajustes requeridos para su funcionamiento eficiente, el mejor método y época adecuada para preparación del suelo, y el análisis socioeconómico del sistema. En este capítulo se presentan y analizan los resultados obtenidos durante los años de desarrollo y de la transferencia del SB a los agricultores y ganaderos en Brasil.

## **Abstract**

The Brazilian savannas (or "Cerrados") have high potential for crop and livestock production. However, either production system alone may lead to environmental degradation. The "Barreirão System" (BarS) provides a means of reclaiming or renovating pastures while exploiting the ecosystem commercially through planting annual crops and yet preventing degradation from occurring. The BarS involves six stages: understanding the soils, land preparation, sowing, crop management, grain harvest, and grazing. When developing the BarS, we determined, among other factors, levels of fertilization required by different crops and of residual fertilizer left for pastures; amount of lime and timing of application; type of equipment and adjustments needed for efficient use; the most adequate methods and timing for land preparation; and socioeconomic conditions. In this chapter, we discuss results obtained from developing and transferring the BarS to resource-poor farmers and ranchers.

## **Introducción**

El Cerrado brasileño, además de representar la mayor área continua con potencial para la producción de alimentos, es, también, privilegiada por su localización central, recursos hídricos abundantes, topografía y clima

favorables (Goedert et al., 1980). El suelo, ácido y deficiente en la mayoría de los nutrimentos y con baja capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), es el principal reto para la obtención de producciones agrícolas y animal. Por tanto, para el establecimiento de cultivos anuales o

pasturas, se debe corregir la acidez, preservar los contenidos y mejorar la calidad de materia orgánica (M.O.), proteger el suelo contra la erosión y proporcionar a las plantas dosis adecuadas y equilibradas de nutrimentos.

Desafortunadamente, el proceso de ocupación y apertura del Cerrado brasileño, iniciado en la década de los 60, no tuvo en cuenta tales requerimientos, generando con ello una situación delicada como lo es la degradación ambiental. Por un lado, los dueños de las tierras, en su mayoría propietarios de grandes áreas (Seguy et al., 1988), fueron básicamente extractistas y aplicaron tecnologías originarias de otras regiones, principalmente de clima subtropical templado, no adecuadas a las condiciones edafoclimáticas de ese bioma; y por otro lado, los conocimientos y tecnologías disponibles para la utilización adecuada de los recursos naturales eran escasos.

Algunas prácticas por entonces utilizadas, como la preparación inadecuada del suelo, escasa fertilización, ausencia de control de la erosión, y en el caso de las pasturas, el sobrepastoreo, fueron muy nocivas. A pesar de esto, la región continuó ocupada principalmente con pasturas. La predominancia de pasturas puede ser explicada por la actitud del productor que las ocupó; las condiciones de acidez y baja fertilidad natural del suelo; la introducción de gramíneas forrajeras poco exigentes, *Brachiaria* sp. y por la ausencia de políticas y leyes de trabajo para el medio rural, más adecuadas y más justas.

El uso no-adecuado del suelo en la región del Cerrado (Brasil) ha ocasionado un impacto negativo y significativo como es la degradación del medio ambiental. En la agricultura convencional o en la formación y

recuperación de pasturas, la utilización exclusiva de equipos inadecuados, como las rastras-arados, compacta las capas sub-superficiales, altera la estructura y la superficie del suelo, favoreciendo la invasión de malezas y las erosiones hídrica y eólica (Kluthcouski et al., 1991b; Seguy et al., 1984).

La aplicación de fertilizantes por debajo de las cantidades necesarias y el desbalance de nutrimentos en el suelo producen bajos rendimientos. Finalmente, las quemas, erróneamente apoyada por algunos productores, ayudan al empobrecimiento del suelo, ya que destruyen la M.O., la cual representa entre 50% y 80% de la C.I.C. de los suelos, reduciendo la actividad biológica, la capacidad de retención de agua y de nutrimentos, e incrementando la susceptibilidad de los suelos a la erosión. En el proceso de quema, algunos nutrimentos se pierden hacia la atmósfera. Actualmente, de los 42 millones de hectáreas ocupadas con pasturas sembradas, alrededor de 34 millones se encuentran degradadas o en proceso de degradación; al mismo tiempo, el 50% del área destinada a la producción de granos presenta el mismo problema (Kluthcouski et al., 1993).

Las principales pérdidas registradas en los hatos mantenidos en pasturas degradadas están relacionadas con producción de carne de menor calidad y valor, reducción de la tasa de natalidad, incremento de la mortalidad y baja producción de leche, entre otros factores. En el Cerrado, estas pérdidas son mayores en el período seco que se extiende entre abril-mayo y septiembre-octubre. En este período, tomando como base una mortalidad de 1% del hato y sumando la pérdida de peso vivo animal (18 kg, aproximadamente), las pérdidas económicas pueden superar US\$1000 millones por año (Yokoyama et al., 1995).

La situación de la ganadería de carne, igualmente es preocupante. Según Correa (1986), la tasa de natalidad del rebaño bovino varía entre 50% y 60%, la tasa de mortalidad de animales es de 7% a 10% hasta el destete y de 3% a 5% de esa edad en adelante, el primer nacimiento ocurre a los 4 años, el promedio de edad a sacrificio es 4.5 años y de producción de carne es de 20 kg/ha por año.

Con tecnología mejorada y en pasturas recuperadas y de buena calidad, la producción de carne puede ser superior a 1000 kg/ha por año, mientras que la producción de leche puede alcanzar 9000 kg/ha por año (Zimmer y Correa, 1993).

Los ganaderos no han adoptado la tecnología de recuperación de pasturas, debido, entre otras causas, al bajo costo de la tierra, que incentiva la ampliación del área de la explotación; la deficiencia en maquinaria y equipos y los costos de las operaciones e insumos necesarios para la recuperación y renovación de pasturas por métodos directos (Carvalho et al., 1990).

Los costos de producción de carne en Brasil son del orden de 50% y 33% de los correspondientes en los E.U. y Europa, respectivamente (Zimmer y Corrêa, 1993). Por tanto, desde el punto de vista económico no se justifica la no-adopción por parte de los productores del Cerrado de las tecnologías de recuperación de pastura.

En los últimos años, la investigación ha generado tecnologías de recuperación y renovación de pastura, entre ellas:

- En forma directa, utilizando correctivos de acidez, fertilización y manejo del suelo (Zimmer et al., 1994).
- Rotación con cultivos anuales de media duración (Séguy et al., 1994)

y corta duración (Zimmer et al., 1994).

- Asociación de cultivos anuales con forrajeras, principalmente las de los géneros *Brachiaria* y *Andropogon* (Kluthcouski et al., 1991a; Sanz et al., 1993).

Cada una de estas tecnologías se aplica en casos específicos, según las preferencias, las condiciones socioeconómicas y la aptitud del productor. La recuperación directa y tecnificada requiere conocimientos e inversión del capital en un corto período de tiempo. La recuperación basada en la rotación con cultivos anuales mecanizados requiere conocimientos en ganadería y agricultura, además, demanda maquinaria, implementos e instalaciones. La recuperación mediante cultivos asociados exige cambios sustanciales en las prácticas de manejo del suelo y del cultivo; sin embargo, requiere menos inversión que el método de rotación.

La calidad de la pastura, recuperada por cualquiera de los métodos mencionados anteriormente, depende de la aplicación correcta de las recomendaciones técnicas y del manejo animal que sea impuesto a la pastura.

El Sistema Barreirão es una tecnología de recuperación y renovación de pasturas en asociación con cultivos anuales. Los cultivos utilizados son arroz, maíz, sorgo y *Pennisetum typhoides* con forrajeras, principalmente de los géneros *Brachiaria* y *Andropogon* y leguminosas forrajeras como *Stylosanthes* sp., *Calopogonium mucunoides* y *Arachis pintoi* (Kluthcouski et al., 1991a).

Este sistema, que presenta más de una alternativa disponible para los productores, fue desarrollado teniendo en cuenta las experiencias de los

productores que, aún de manera empírica, establecieron gran parte de sus pasturas en el Cerrado, asociadas con el arroz.

En el Sistema Barreirão, la selección de los cultivos y de las forrajeras que se asocian, depende del interés del productor y de las condiciones del suelo.

Se puede decir que actualmente la ganadería y la agricultura, explotadas de manera aislada, difícilmente tendrán una relación beneficio/costo satisfactoria. Desde el punto de vista del mercado, el consumidor exige precio y calidad de carne, lo que se observa en muchos países importadores y competidores. Desde el punto de vista agronómico, las agriculturas convencional y tecnificada degradan las propiedades físicas y biológicas del suelo, mientras que la pastura, que aprovecha los residuos de los fertilizantes aplicados a los cultivos, recupera tales propiedades y sólo agota los nutrimentos (Séguy et al., 1994). El cultivo de arroz, por ejemplo, encuentra en áreas con pastura degradada las condiciones ambientales óptimas para expresar su potencial (Kluthcouski y Yokoyama, 1994).

El Sistema Barreirão ha tenido buena aceptación por los productores y en la actualidad existen millones de hectáreas recuperadas con él. Esto confirma la efectividad y calidad del esfuerzo de difusión de tecnología y la unión entre varios estamentos de la sociedad (Gomide, Capítulo 8, este libro).

## **Economía de las Tecnologías Disponibles para la Recuperación y Renovación de Pasturas Degradadas**

La decisión de los agricultores sobre la adopción del tipo tecnología de

recuperación y renovación de pasturas depende de algunos factores, entre ellos, el costo, que cambia en función de la necesidad de servicios e insumos y de la calidad de la pastura deseada. La gran mayoría de los ganaderos no dispone de maquinaria e implementos.

La oferta tecnológica para los ganaderos incluye, desde las tecnologías de recuperación directa, hasta la rotación agricultura-ganadería. Los métodos de recuperación directa pueden costar desde US\$86 hasta US\$499 (US\$1 = Cr\$1.05) por hectárea, incluyendo todos los tipos de tecnologías. Estos valores equivalen, en kg/ha de carne, a 47.5 y 271.3, respectivamente. Es evidente que las tecnologías A y B que aparecen en el Cuadro 1 no producen buenas pasturas, resultando, por tanto, en bajo aprovechamiento. Las tecnologías que involucran asociaciones cuestan desde US\$423 hasta US\$496 por hectárea, equivalentes a 232.5 y 272.5 kg/ha de carne, respectivamente. El retorno por la cosecha de granos cubre 108%, 90% y 62% de los costos, cuando la recuperación se hace asociando la forrajera con arroz, maíz o sorgo, respectivamente. Eso indica que, para esa misma secuencia de cultivos, los productores recuperan totalmente los costos con el arroz y necesitan 27.5 y 100 kg de carne para cubrir totalmente los costos, cuando la asociación se hace con maíz o sorgo, respectivamente.

La calidad de la pastura en los sistemas asociados es, como mínimo, equivalente a la obtenida en el sistema directo tipo C (Cuadro 1). El éxito en el uso de las tecnologías de recuperación por rotación, en lo que se refiere al rendimiento agrícola (costo/beneficio en la producción de granos) depende del nivel tecnológico y del conocimiento del productor. La transición de agricultura a ganadería en el sistema de rotación, Sistema Barreirão, se puede hacer, principalmente, utilizando como cultivos asociados maíz con forrajera, o

Cuadro 1. Comparación de la relación costo/beneficio por hectárea de varias tecnologías de recuperación y renovación de pasturas en el Cerrado de Brasil.

Insumo/servicio	Unidad	Precio unidad (US\$) <sup>a</sup>	Técnicas de recuperación de pasturas													
			Sistemas directo <sup>b</sup>						Sistema Barreirão							
			A		B		C		D		Arroz		Maíz		Sorgo	
			Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$
Cal dolomítica	t	10.77			1.5	16.16	2.5	26.93	2.5	26.93	1.5	16.16	3.0	32.31	3.0	32.31
Fosfato natural	t	68.85			0.5	34.43										
Termofosfato	t	185.89						0.8	148.71							
Fosfato acidulado	t	120.64					0.5	60.32								
Superfosfato simple	t	211.56					0.2	42.31		42.31						
Cloruro de potasio	t	246.15				0.05	12.31	0.2	19.69							
Fórmula 4-30-16	t	272.54						0.08		0.3	81.76	0.35	95.39	0.35	95.39	
Sulfato de amonio	t	207.13				0.1	20.71		20.71	0.1	20.71	0.30	62.14	0.2	41.43	
Sulfato de zinc	t	330.48						0.1		0.02	6.61	0.02	6.61	0.02	6.61	
FTE BR-12	t	418.84							12.57	0.03	12.57	0.03	12.57	0.03	12.57	
Carbofuran/ Thiodicarb	lt	18.87						0.03		0.9	16.98	0.40	7.55	0.3	5.66	
<i>B. brizantha</i>	kg	3.67				10	36.70		36.70	5.0	18.35	5.00	18.35	5.0	18.35	
<i>B. decumbens</i>	kg	4.48	10.0	4.48	10.0	44.80		10								
Calopogonio	kg	8.02							24.06							
Arroz	kg	0.69						3		60	41.40					
Maíz	kg	1.58										20	31.60			
Sorgo	kg	2.35												16	37.60	
Distribución del fosfato/semilla de forrajera	H/M	23.00	0.5	11.50	0.5	11.50	0.5	11.50		11.50						
Transporte cal (dist. 100 km)	H/M	12.28				18.42		30.70	0.5	30.70		18.42		36.84		36.84
Distribución de la cal	H/M	23.00			0.5	11.50	0.5	11.50		11.50	0.5	11.50	0.5	11.50	0.5	11.50
Rastra-arado (18 discos)	H/M	23.00	1.2	27.60	1.2	27.60	1.2	27.60	0.5	27.60	1.2	27.60	1.2	27.60	1.2	27.60
Rastra disco (3 discos)	H/M	23.00					2.0	46.00	1.2							
Vertedera (3 vertederas)	H/M	23.00							52.90	2.3	52.90	2.3	52.90	2.3	52.90	

(Continúa)

Cuadro 1. (Continuación.)

Insumo/servicio	Unidad	Precio unidad (US\$) <sup>a</sup>	Técnicas de recuperación de pasturas													
			Sistemas directo <sup>b</sup>						Sistema Barreira							
			A		B		C		D		Arroz		Maíz		Sorgo	
			Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$	Cant./ha	US\$
Nivelamiento (36 discos)	H/M	23.00			0.6	13.80	2.3	13.80	0.6	13.80	0.6	13.80	0.6	13.80		
Siembra	H/M	23.00					0.6		1.0	23.00	1.0	23.00	1.0	23.00		
Cobertura nitrógeno/potasio	H/M	23.00							0.8	18.40	0.8	18.40	0.8	18.40		
Control de hormigas	D/H	6.75							0.1	0.67	0.1	0.67	0.1	0.67		
Tratamiento de semillas	D/H	6.75							0.1	0.67	0.1	0.67	0.1	0.67		
Cosecha/transporte/ secado	H/M	23.00							1.0	23.00	1.0	23.00	1.0	23.00		
Mano de obra para cosecha	D/H	6.75							1.0	6.75	1.0	6.75	1.0	6.75		
Administración (3% del costo)	U/D	-	2.52	4.93		10.21		14.39		12.34		14.45		13.95		
TOTAL	US\$	-	86.42	169.34		350.59		494.07		423.5		496.10		479.00		
Retorno con la producción de granos	US\$/ha	-								458.8 <sup>c</sup>		447.1 <sup>d</sup>		296.75 <sup>e</sup>		
Arrobas de carne para cubrir costos	Unidad/ha	-	3.80	7.45		15.42		21.73				2.15		8.01		
Período de descanso	Días	-	150	150		135		135		165		135		135		
Pérdidas en relación con "D" <sup>f</sup>		-	15.92	15.92						31.84 <sup>g</sup>						

a. Precios en Goiânia en nov./dic. 1994. R\$ = US 0.85 \$. Media de las dos cotizaciones más bajas.

b. A = Recuperación mala, B = recuperación media, C = recuperación buena y D = recuperación óptima.

c. Productividad de 33.25 bultos. 60 kg/ha. Precio de mercado de US\$13.80/60 kg.

d. Productividad de 61.50 bultos. 60 kg/ha. Precio de mercado de US\$7.27/60 kg.

e. Productividad de 58.30 bultos 60 kg/ha. Precio de mercado de US\$5.09/60 kg.

f. Cálculo considerando número de días excedidos de descanso con ganancia diaria de 0.7 kg peso vivo, al precio de US\$22.74/arroba promedio de de 11 años -1984/94).

g. Valor cubierto por el lucro neto obtenido con los granos.

FUENTE: EMBRAPA (1994).

sorgo con forrajera. El costo de esa transición es, lógicamente, inferior, debido a la menor necesidad de correctivos y fertilizantes, una vez que se está utilizando área corregida previamente para la práctica de la agricultura.

La calidad y la cantidad de los insumos y servicios utilizados en cada técnica permiten sugerir el siguiente orden decreciente en la calidad de la pastura: rotación con soya, asociación maíz con pasturas, recuperación directa (D), Sistema Barreirão (SB) maíz, SB sorgo, SB arroz y recuperaciones directas C, B y A (Cuadro 1).

Independiente de la tecnología utilizada, el período más indicado para la recuperación de pastura es el verano (época lluviosa en la región), cuando hay mayor disponibilidad de forraje, que casi siempre genera excedentes. Las técnicas que utilizan la descompactación del suelo, como la escarificación o la arada profunda (disco y vertedera), pueden proporcionar mejor desempeño de las forrajeras en el período de sequía (mayo a octubre) reduciendo la necesidad de suplementación con alimentación y permitiendo, inclusive, reducir la diferencia en los costos de producción de carne entre los períodos lluvioso y seco, lo que se refleja en cambios de los precios de mercado.

## Caracterización y Secuencia de Aplicación de las Prácticas que Componen el Sistema Barreirão

El Sistema Barreirão reúne prácticas para la solución de los problemas que comúnmente ocurren en la mayoría de los suelos bajo pasturas degradadas, en

las condiciones del Cerrado brasileño. La omisión o alteración en la aplicación de estas prácticas puede comprometer la producción del cultivo, de la forrajera o de ambos.

**Primera etapa.** Se relaciona con el conocimiento del suelo, a través de su análisis. Para ello se deben hacer muestreos de suelo de la manera convencional, pero a dos profundidades: entre 0 y 20 cm y entre 20 y 40 cm. Esta operación se debe realizar de preferencia en julio y septiembre, antes de cualquier perturbación del suelo. De acuerdo con los resultados del análisis se debe o no adicionar la cal y fósforo.

El maíz, el girasol y el millo (*P. typhoides*), al igual que *A. gyanus* y las leguminosas forrajeras, son susceptibles a alta acidez en el suelo y requieren, por lo menos, 3 meq/100 g de Ca + Mg. Para calcular la necesidad de cal se pueden utilizar la saturación de bases (entre 50% y 55%) o el método de los contenidos de Ca + Mg y Al. En el caso de cultivos más exigentes, la cal debe ser bien mezclada con el suelo; así, el mejor método consiste en aplicar 60%-70% de la cal, incorporándola superficialmente con rastra-arado; arar profundamente (entre 35 y 40 cm de profundidad); aplicar el resto de cal (30%-40%); nivelar y sembrar.

**Segunda etapa.** En el Sistema Barreirão, esta etapa consiste en la preparación del suelo. La pastura degradada debe ser arrancada e incorporada superficialmente mediante un pase de una rastra-arado entre 10 y 15 cm de profundidad. Esta operación se debe hacer, por lo menos, 30 días antes del inicio del período de lluvias y de la práctica de arado. El arado profundo se debe realizar preferencialmente con arado tipo vertedera, cuidando de que el suelo se encuentre húmedo hasta la profundidad de trabajo. La nivelación se debe realizar entre 7 y 10 después de

esta labor e inmediatamente antes de la siembra.

**Tercera etapa.** Empieza con el uso de semillas de buena calidad, tanto de los cultivos anuales como de las forrajeras. Las semillas de los cultivos deben ser tratadas con insecticidas sistémicos (Carbofuran, Carbosulfan, Thiodicarb) para prevenir el ataque del mión de los pastos y de las larvas en el suelo. Las distancias y las densidades de siembra para maíz, sorgo, millo y las forrajeras son aquellas que se recomiendan tradicionalmente (Cuadro 2).

Para el cultivo de arroz, la distancia tradicional entre las hileras de siembra se debe reducir de 50 cm hasta 30 ó 40 cm. Se debe sembrar una variedad precoz, de porte bajo y con hojas erectas. La densidad de siembra, para las variedades de ciclo corto varía entre 80 y 100 semillas/m, y para las de ciclo intermedio entre 60 y

70 semillas/m. Para las forrajeras del género *Brachiaria*, según un valor de cultivo (VC) de 30%, se deben sembrar entre 5 y 7 kg/ha de semilla. Si se divide la constante 150 por el VC, se obtienen las cantidades de semillas de *B. brizantha* y *B. decumbens* que se deben utilizar por hectárea. Para *A. gayanus*, son necesarios entre 10 y 20 kg/ha de semillas de buena calidad, sembradas superficialmente. Las especies de *Brachiaria* se deben mezclar con el fertilizante antes de la siembra en la misma hilera de los cultivos. Para distancias superiores a 70 cm entre líneas, se recomienda sembrar una entrelínea de la forrajera mezclada con fertilizante.

La fertilización del cultivo de arroz se hace en dosis adecuadas según el análisis de suelos, ya que su efecto residual debe beneficiar la pastura. Para el arroz, cultivado en Latosoles de

Cuadro 2. Principales recomendaciones para el establecimiento de asociaciones cultivos anuales-pasturas en el Cerrado de Brasil.

Cultivo	Ciclo	Densidad de siembra (semillas/m)	Profundidad de siembra (cm)	Espaciamiento (cm)	Cantidad de semillas (kg/ha)
Arroz	Corto	70-90	3-5	0.30-0.40	60-70
	Medio	60-70	3-5	0.35-0.45	45-55
Maíz	-	4-6 <sup>a</sup>	3-5	0.8-1.0	20-22
	-	14-19 (11-15) <sup>b</sup>	3-5	0.6-0.7	8-10
Millo	-	12-15	3-5	0.6-0.7	4-6
<i>A. gayanus</i>	-	8-10 <sup>c</sup>	0-1	A voleo	10-20
<i>B. decumbens</i>	-	4-6 <sup>c</sup>	8-10	HC <sup>d</sup>	5-6 <sup>e</sup>
<i>B. brizantha</i>	-	4-6 <sup>c</sup>	8-10	HC <sup>d</sup>	5-6 <sup>e</sup>
<i>B. humidicola</i>	-	4-6 <sup>c</sup>	4-6	HC <sup>d</sup>	3-4 <sup>e</sup>

a. Plantas por metro lineal.

b. Para el sorgo de grano, entre 14 y 19 semillas/m; para el sorgo forrajero, entre 11 y 15 semillas/m.

c. Plantas/m<sup>2</sup>.

d. En la hilera del cultivo (HC), con entrelíneas en la asociación con maíz.

e. Valor cultural de 30%.

FUENTE: EMBRAPA-CNPAF (1994).



baja fertilidad del Cerrado, con contenidos de P entre tan bajos como 3 ppm o menores y de K inferiores a 45 ppm, se han obtenido buenos resultados con aplicaciones mínimas (kg/ha) de N (12 a 15),  $P_2O_5$  (90),  $K_2O$  (30 a 45), FTE (30) y sulfato de zinc (20). Otros cultivos anuales, como maíz y sorgo, requieren más  $P_2O_5$ , siendo recomendable aplicar, por lo menos, 105 kg/ha de este nutrimento.

El fertilizante, solo o en mezcla con las semillas de *Brachiaria*, se debe incorporar hasta una profundidad entre 8 y 10 cm en el suelo, mientras que la profundidad de siembra de las semillas de los cultivos anuales debe ser la convencional, entre 3 y 5 cm. En suelos muy arenosos, se debe evitar la colocación profunda de la semilla.

La siembra de las asociaciones, así como la de los demás sistemas, se debe efectuar con una velocidad de 3 a 5 km/h. Se deben utilizar sólo sembradoras que hayan sido probadas con anterioridad y que tengan dosificador de semillas en forma de disco perforado horizontal, inclinado o vertical; distancia reducida entre el mecanismo dosificador y el fondo del surco (30 a 40 cm); y que permitan profundizar la fertilización en relación con las semillas de los cultivos anuales; y una distancia variable mínima de 30 cm entre las hileras.

**Cuarta etapa.** Comprende el manejo del cultivo. En este caso no es necesario hacer control de malezas, ya que se trata de áreas con pasturas degradadas. La fertilización nitrogenada varía con el cultivo asociado; para arroz se deben aplicar 20 kg/ha de N y para maíz entre 40 y 60 kg/ha de este nutrimento. En suelos arenosos, para el cultivo de arroz es necesario aplicar, antes de la aplicación de N, 50 kg/ha de  $K_2O$ . Los cuidados fitosanitarios, si son necesarios, deben hacerse de acuerdo con las

recomendaciones generales en la región.

**Quinta etapa.** Comprende la cosecha. En el caso del arroz, ésta se hace cuando el cultivo se encuentra en el punto ideal ya que, en caso contrario, puede ocurrir acame y pérdidas debido al incremento acelerado de la biomasa de la forrajera después de la maduración de los cultivos anuales. El proceso y la velocidad de cosecha son similares a los recomendados para los monocultivos.

**Sexta etapa.** Esta es la última etapa en el Sistema, y consiste en la introducción de los animales en el área por un período mínimo de 30 a 60 días, después de la cosecha. Esto es necesario para el desarrollo de la pastura y la producción de semillas a partir de las plantas forrajeras que se cosecharon con el cultivo. Desde esta etapa se inicia el pastoreo, considerando siempre que el manejo de la pastura y la fertilización son básicos para la productividad y sostenibilidad del sistema de producción basado en la pastura.

## Evaluación Experimental del Sistema Barreirão

En el desarrollo de tecnologías, cada etapa tiene igual importancia. Las características edafoclimáticas del bioma del Cerrado, particularmente las restricciones en las propiedades del suelo y las variaciones pluviométricas durante el período lluvioso, al igual que la competitividad entre las especies forrajeras y de cultivos de grano, constituyen el supuesto básico para la conducción de una serie de estudios que sostienen el Sistema Barreirão. En el Sistema, nuevas investigaciones han dado origen a estudios que intentan perfeccionarlo considerando, siempre, la solución tecnológica vs. los resultados económicos.

### Aplicación de cal

La corrección de la acidez y la suplementación con Ca + Mg para las plantas son fundamentales para la producción de granos y forrajes en los suelos ácidos del Cerrado. En el Sistema Barreirão, la determinación de la necesidad de cal obedece a la misma metodología y a los criterios utilizados para los monocultivos. El cultivo de arroz es más adaptado a las condiciones naturales del Cerrado, siendo, por tanto, poco exigente en cal y considerado como cultivo de apertura en áreas nuevas.

En suelos que tienen 1 meq/100 g de Ca + Mg se han obtenido buenas producciones de arroz. No obstante, si se tienen en cuenta los requerimientos de las forrajeras, se debe aplicar cal en suelos que presenten menos de 1.5 meq/100 g de Ca + Mg, en una proporción Ca/Mg de 4:1 (Cuadro 3). El maíz (Cuadro 4), el sorgo y el millo, por otro lado, son exigentes en estos nutrientes y no toleran alta acidez en el suelo. Para estos cultivos, la cal es indispensable cuando el suelo presente contenidos de Ca + Mg menores que 3 meq/100 g de suelo, también en proporción 4:1.

**Mezcla de cal con yeso.** Existen varios trabajos que muestran que el proceso más económico para corregir la acidez de las capas sub-superficiales del suelo es la aplicación de una parte de yeso (sulfato de calcio) en mezcla con cal. Los sulfatos capturan algunos cationes-base a través de los horizontes, corrigiendo la acidez y favoreciendo el crecimiento radicular de las plantas.

En el Sistema Barreirão, las mayores dosis de cualquiera de los correctivos resultaron en menor productividad de maíz cv. BR 201 y de la forrajera *B. brizantha* (Cuadro 5), no encontrando diferencias significativas entre las dosis evaluadas. Sin embargo, los mejores rendimientos se obtuvieron con las mezclas (en porcentaje) cal:yeso 60 y 40, y 40 y 60. La distribución del Ca en el perfil del suelo, hasta la profundidad de 60 cm, fue en aumento a medida que la mezcla contenía mayor cantidad de yeso.

**Microencalada.** En el Sistema Barreirão, el tiempo de reacción de los correctivos en el suelo no es suficiente, ya que no se cumple el período mínimo de 90 días de humedad en el suelo, entre la aplicación y la siembra del

Cuadro 3. Efecto de dosis crecientes de cal en la producción de arroz cv. Guarani y en la producción de materia verde de *Brachiaria brizantha* en el Cerrado de Brasil.

Dosis de cal <sup>a</sup> (t/ha)	Arroz		<i>B. brizantha</i>	
	Materia seca (t/ha)	Productividad (kg/ha)	Población (macollas/m)	Materia verde <sup>b</sup> (t/ha)
0	3.1 b*	2.618 ab	47.75 a	29.38 b
3	4.7 ab	3.460 a	52.25 a	37.98 ab
6	6.8 a	2.390 a	54.63 a	42.40 a
C.V. (%)	20.8	14.9	6.73	19.7

a. Suelo LVE; pH 5.8; Ca + Mg = 1.8 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn de: 0.9, 120, 2.1, 0.6, 154 y 47 ppm, respectivamente; M.O. = 1.9%. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.

b. Evaluación hecha a los 60 días después de la cosecha del arroz.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes (P < 0.05), según las pruebas de Tukey.

FUENTE: EMBRAPA-CNPAP (1994).

Cuadro 4. Efecto de los métodos de incorporación de cal en la productividad de maíz híbrido BR 201 y en la producción de materia verde de *Brachiaria brizantha* en el Cerrado de Brasil.

Cal <sup>a</sup> (t/ha)	Maíz			<i>B. brizantha</i>
	Peso de la planta (g)	Producción (t/ha)	Población (plantas/6 m)	Materia verde (t/ha)
0	1767 b*	1.99 b	35.33 a	17.2 c
3 (rastra-arado)	2700 a	3.46 a	36.67 a	25.7 ab
3 (arado)	2900 a	3.01 a	36.67 a	28.3 a
3 (rastra-niveladora)	3073 a	3.36 a	35.67 a	22.0 bc
C.V. (%)	10.2	8.71	10.8	14.8
0	1767	2.74	35.33	17.20
3	2871	3.28	36.33	25.33
C.V. (%)	34.1	6.47	19.7	27.0

<sup>a</sup>. Cantidad de cal aplicada y método de incorporación. Suelo LVA; pH = 5.8; Ca + Mg = 2 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 0.8, 137, 2.1, 0.6, 154 y 50 ppm, respectivamente; M.O. = 2%. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes (P < 0.05), según las pruebas de Tukey.

Cuadro 5. Efecto de la mezcla de yeso con cal en el número de plantas, la producción de maíz híbrido BR 201 y de forraje *Brachiaria brizantha*, y en los contenidos de Ca en suelos del Cerrado de Brasil. (EMBRAPA-CNPAF).

Mezcla cal/yeso <sup>a</sup>	Maíz		<i>B. brizantha</i>	Ca (meq/100 g)		
	Plantas/m	Producción (t/ha)	Materia verde (t/ha)	Profundidad (cm)		
				30	60	90
100: <sup>b</sup> 0	4	3.79 a*	16.82	2.0	1.5	1.3
80:20	5	3.55 a	12.80	2.7	1.7	1.2
60:40	4	4.30 a	15.23	2.3	1.2	1.4
40:60	4	4.21 a	15.40	2.2	1.7	1.4
20:80	5	4.09 a	13.93	1.8	2.3	1.3
0:100 <sup>c</sup>	5	3.49 a	13.20	1.8	2.3	1.3
Testigo	5	1.49 b	14.33	1.9	1.5	1.3

<sup>a</sup>. Suelo LVA; pH = 5.7; Ca + Mg = 0.7 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 0.7, 1.03, 2.3, 0.5, 154 y 44 ppm, respectivamente; M.O. = 1.9%. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.

<sup>b</sup>. Correspondiente a 3 t/ha.

<sup>c</sup>. Correspondiente a 5.76 t/ha.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes (P < 0.05), según las pruebas de Tukey.

cultivo o la forrajera. Considerando que el principal factor determinante de la celeridad de reacción de un correctivo es el tamaño de sus partículas, las cales finamente molidas pueden producir mejores resultados que las convencionales. En el cultivo de maíz, aunque la prueba estadística no mostró diferencias, sí ocurrió un incremento superior a 1 t/ha de granos con la utilización de cal finamente molida, mientras que para *B. brizantha* la producción de materia verde fue significativa (Cuadro 6).

El Ca y el Mg presentes en la cal, que es un insumo de bajo costo, son nutrimentos esenciales para la producción de las plantas. Estos nutrimentos reducen la acidez y el aluminio, mejorando las propiedades del suelo. Para el establecimiento de la asociación arroz-pasturas en el Sistema Barreirão se debe aplicar cal cuando el contenido de Ca + Mg en el suelo es inferior a 1.5 meq/100 g; y para maíz, sorgo y millo con pasturas cuando este contenido es inferior a 3 meq/100 g de suelo.

### **Preparación del suelo**

La preparación adecuada del suelo es fundamental para la producción agrícola y tiene, entre otros objetivos, reducir la compactación, controlar malezas anuales y perennes, e incorporar residuos orgánicos y enmiendas o correctivos.

En el Cerrado predominan Oxisoles (Latosoles) y Entisoles (Areias Quartzosas y Podzoles) con problemas de compactación y de fertilidad desigual a través del perfil que deben ser parcial o totalmente eliminadas en la etapa de preparación.

En esta región, en las áreas con pasturas degradadas es, aun más necesario, el cumplimiento de los objetivos de la preparación del suelo, ya que son frecuentes los problemas de compactación, malezas perennes y baja fertilidad química en los perfiles sub-superficiales que presentan una alta población de colonias de hormigas.

En el Sistema Barreirão, la preparación del suelo comprende las etapas que aparecen a continuación.

Cuadro 6. Efecto comparativo de la aplicación de cal vs. microencalada en el número de plantas y de mazorcas, y en las producciones de maíz y materia verde de *Brachiaria brizantha*. (EMBRAPA-CNPAF).<sup>a</sup>

Tipo de cal (t/ha)	Maíz			<i>B. brizantha</i>
	Plantas/m	Mazorcas (no./m)	Producción (t/ha)	Materia verde (t/ha)
<b>Comercial</b>				
3	5.1	4.9 a	2.28	0.344 b*
<b>Microencalada</b>				
3 a voleo	5.2	5.3	3.34	0.446 ab
0.3 en el surco	5.1	5.4	3.36	0.508 a
0.6 a voleo	5.1	5.4	3.08	0.386 ab
C.V. (%)	11.2	12.7	8.3	15.6

a. Suelo LVA; pH = 5.7; Ca + Mg = 2.6 meq/100 g; contenido de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 1.1, 89, 2.6, 0.6, 363 y 33 ppm, respectivamente; M.O. = 1.5%. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes (P < 0.05), según las pruebas de Tukey.

**Incorporación superficial de residuos vegetales y correctivos.** La incorporación superficial o preincorporación se realiza mediante uno o dos pases de rastra-arado (Cuadro 7). El objetivo es eliminar las raíces de la vegetación existente, mezclar superficialmente los correctivos, iniciar el proceso de descomposición de la M.O. y destruir los hormigueros. Esta operación se hace a una profundidad entre 10 y 15 cm en el suelo, en el período seco que va desde principio de agosto hasta mediados de octubre, y 15 a 30 días antes del inicio del período lluvioso o de la siembra. Si esta operación no se realiza, o se hace muy próxima de la siembra o en el período lluvioso, resulta en una disminución en la productividad de los cultivos, dependiendo de la M.O. y de otros factores, y en una mayor competencia de las malezas y pasturas remanentes con los cultivos y forrajeras sembradas. Esta labor posibilita también la calidad del arado y reduce la necesidad de la de nivelación.

**Profundidad de arado.** La preparación profunda del suelo con arado-vertedera permite reducir la compactación en la superficie del suelo (entre 0 y 40 cm), incorporar residuos orgánicos y correctivos en una mayor profundidad, eliminar parcial o

totalmente las raíces de las malezas perennes e incorporar los hormigueros con el subsuelo. Esta operación se debe realizar a partir del momento en que el suelo presente humedad suficiente —preferiblemente en capacidad de campo— hasta una profundidad de 35 a 40 cm. Es fundamental para un mejor desarrollo de las raíces y para favorecer la infiltración y el almacenamiento de agua, lo que resulta en producciones más estables a través del tiempo (Cuadro 8). Aunque los arados de disco presentan buenos resultados en cultivos de arroz y para forrajeras, siendo superiores a los obtenidos con rastra-arado, se deben preferir los arados de vertedera que penetran mejor en el suelo debido a su estructura especialmente diseñada para esta labor.

Los suelos bajo pasturas degradadas presentan una mayor resistencia a la penetración, debido a la compactación, a la presencia de raíces remanentes y a las malezas perennes. En estos casos, los arados de vertedera proporcionan una preparación homogénea.

Después de arar, cualquier exceso de mecanización vuelve a compactar el suelo y altera la estructura superficial. Cuando la labor de arado está bien hecha y con implementos bien

Cuadro 7. Efecto de la incorporación previa de la pastura degradada sobre la productividad del cultivo de arroz cv. Guarani y de *Brachiaria brizantha* en el Cerrado de Brasil. EMBRAPA-CNPAP.

Método de preparación del suelo	Producción de arroz (t/ha) <sup>a</sup>		<i>B. brizantha</i> (materia verde, t/ha) <sup>b</sup>
	1990-91	1991-92	1991-92
Arado directamente	2.26 a*	1.63 b	20.23
Preincorporación + arado	2.63 a	2.28 a	23.23
C.V. (%)	15.6	16.7	—

a. Fertilizaciones recomendadas para el Sistema Barreirão. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.

b. Hojas y tallos, evaluación realizada 60 días después de la cosecha de arroz.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según las pruebas de Tukey.

Cuadro 8. Efecto del implemento utilizado después de la incorporación previa de la pastura degradada sobre la productividad del cultivo de arroz cv. Guaraní y de *Brachiaria brizantha* en el Cerrado de Brasil. EMBRAPA-CNPAF.

Implemento	Producción de arroz (t/ha) <sup>a</sup>			<i>B. brizantha</i> (materia verde, t/ha) <sup>b</sup>
	1990-91	1991-92	1992-93	1991-92
Rastra-arado	1.70 b*	1.94 b	0.67 b	17.30
Arado de disco	2.79 <sup>c</sup> a	2.43 <sup>d</sup> a		–
Arado de vertedera	2.96 a	2.63 a	2.28 a	23.23
C.V. (%)	19.5	15.3	26.5	–

- a. Fertilizaciones recomendadas para el Sistema Barreirão. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.  
 b. Evaluación realizada a los 60 días después de la cosecha del arroz.  
 c. Arado de disco de 26".  
 d. Arado de disco de 32".  
 \* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según las pruebas de Tukey.

calibrados, a veces es posible eliminar la nivelación. Sin embargo, en caso de ser necesaria, se debe efectuar una sola nivelación 2 días antes de la siembra.

**Preparación del suelo y déficit hídrico.** Un período corto de deficiencia de agua ocasiona una reducción de 13.7% en la producción de granos y de 14% en la MS de arroz. La preparación profunda del suelo, con arado de vertedera, minimiza el efecto de la deficiencia hídrica, ocasionando incrementos de 28.4% en la producción de granos y de 23.9% en la producción de MS de este cultivo (Cuadro 9). Este resultado práctico indica que, bajo deficiencia hídrica moderada (10 a 15 días de sequía) una buena preparación del suelo sustituye con ventajas la irrigación suplementaria. En este estudio no se verificó la respuesta de la interacción preparación del suelo x régimen hídrico en la producción de granos del cv. Guaraní de arroz. Bajo condiciones de deficiencia hídrica como de riego suplementario por aspersión, la obtención de mayores producciones con la preparación adecuada recomendada se debe, básicamente, al mejor desarrollo de la parte aérea y de las raíces de la planta de arroz.

### **Densidad y profundidad del sistema radicular de las plantas.**

En monocultivo, la arada profunda ha presentado un efecto marcado en la profundización y mejor distribución de las raíces en el perfil del suelo; además, ayuda a controlar malezas, mejorar la fertilidad, la infiltración del agua y las propiedades físicas del suelo (Kluthcouski et al., 1988).

La descompactación del suelo, el mejoramiento de la fertilidad y la incorporación de fertilizantes hasta 40 cm de profundidad, tienen efectos positivos en la mejor distribución y la profundización de las raíces en el suelo (Guimarães y Castro, 1982; Kluthcouski et al., 1988). Con la aplicación de estas prácticas, recomendadas en el Sistema Barreirão, se ha encontrado un buen desarrollo de las raíces del cultivo de arroz cv. Douradão al final de la fase reproductiva y en la floración de *B. brizantha* asociada, en comparación con el sistema radicular de la pastura degradada en la misma época. La rotación de cultivos —pastura degradada de *B. decumbens* con arroz cv. Douradão— y la preparación adecuada del suelo proporcionaron mejores condiciones ambientales para

Cuadro 9. Promedios de rendimiento de granos y de peso de la materia seca de arroz y de la pastura en sistema asociados, según el régimen hídrico (tratamiento) y el método de preparación del subtratamiento. EMBRAPA-CNPAF.

Tratamientos	Producción del arroz (t/ha) <sup>a</sup>	Producción de materia seca (t/ha)	
		Arroz	Pastura <sup>b</sup>
Deficiencia hídrica	2.60	5.09	0.82
Irrigación suplementaria	3.10	5.95	0.85
Preparación convencional	2.41	4.77	0.97
Preparación recomendada	3.37	6.27	0.69
C.V. (%)	17.9	14.4	60.4

- a. Fertilización según la recomendada para el Sistema Barreirão. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil. Los análisis estadísticos presentaron diferencias significativas al nivel de 5% entre los tratamientos para la productividad y el peso de materia seca de arroz, y de 1% para los subtratamientos.
- b. Evaluación realizada en la cosecha del arroz.

el desarrollo radicular, que alcanzó hasta 1.4 m de profundidad (EMBRAPA-CNPAF, 1994). El sistema radicular presentó un desarrollo muy denso en la capa superficial hasta 20 cm, y aunque disminuyó ligeramente con la profundidad, presentó densidad aceptable hasta 1.4 m.

El sistema radicular de las pasturas degradadas presentó menor desarrollo en el perfil, excepto en los primeros centímetros superficiales del suelo. A partir de esa capa, presentó una reducción drástica en densidad, hasta desaparecer completamente después de 1 m de profundidad. Esta condición de la gramínea puede ser explicada por la degradación de las propiedades físicas y químicas del suelo, que ocurren, por lo general, en las áreas con pasturas mal manejadas. La profundización del sistema radicular y el incremento de su densidad proporcionan a la planta mejor capacidad para absorber nutrientes y agua almacenada en el suelo que es aprovechada en las secas.

### **Fertilización**

En el Sistema Barreirão es fundamental disponer de nutrientes en forma residual para garantizar el

buen desarrollo de las forrajeras. Las informaciones obtenidas hasta ahora no permiten establecer la cantidad y la calidad de los nutrientes necesarios para el sostenimiento de una pastura productiva. Por tanto, dentro de los límites de la economía y de la respuesta de los cultivos, es posible, por lo menos, establecer los límites mínimos de fertilización para cultivos menos exigentes como arroz, y más exigentes como maíz y sorgo. Estos límites se aplican a los suelos pobres del Cerrado, donde el P se encuentra en concentraciones variables entre 0 y 3 ppm, y el K entre 0 a 45 ppm.

Las recomendaciones de fertilización se deben basar en los resultados del análisis del suelo. Las opciones de mejorar los niveles de P en el suelo, mediante la aplicación de fosfatos natural y parcialmente acidulado, o termofosfato, así como la fertilización base en la siembra, son responsabilidad del técnico y del productor, siendo estas prácticas necesarias para el buen establecimiento de la pastura.

**Fertilización base.** Las variedades tradicionales de arroz se adaptan bien a las condiciones naturales del Cerrado aún no degradado, requiriendo dosis

relativamente pequeñas de fertilizantes cuando se cultivan solas. En estas condiciones, las dosis más altas de fertilizante no se reflejan necesariamente en incrementos de la producción (Cuadro 10) y es posible que ocasionen el acame del cultivo, debido al gran desarrollo vegetativo de las plantas (Cuadro 11). Este hecho también se ha observado en forrajeras cultivadas en asociación. Se ha observado, por ejemplo, que dosis de 50 kg/ha de  $P_2O_5$  no ocasionan incrementos significativos en el rendimiento del cultivo de arroz y dosis mayores de este nutrimento favorecen un volcamiento excesivo de las plantas antes del llenado de los granos provocando, muchas veces, reducción en la producción por pérdida de la cosecha. Los niveles máximos de P evaluados en condiciones experimentales fueron 90 kg/ha de  $P_2O_5$  y 45 kg/ha de  $K_2O$ .

Los cultivos de maíz y de arroz no difieren mucho en extracción y traslado de nutrimentos hacia los granos. El arroz moviliza 24% del  $P_2O_5$  y 22% del  $K_2O$  recomendado en el Sistema Barreirão, mientras que en maíz esos valores son de 42% y 33%, respectivamente (Cuadro 12). Esto significa que la mayor parte de los nutrimentos aplicados, si no ocurren pérdidas por erosión o lixiviación, son retenidos en el suelo o en la M.O. y, de todas maneras, representan residuos disponibles para la pastura.

La aplicación de nitrógeno es fundamental, no solamente para mejorar la relación C/N, reduciendo los efectos perjudiciales de la descomposición, sino también para proporcionar mayor vigor inicial a las plantas. El zinc es el micronutrimento más limitativo en los suelos del Cerrado (Lopes, 1983); por tanto, se

Cuadro 10. Efecto de los niveles de fertilización y de la especie forrajera sobre la productividad del cultivo de arroz. EMBRAPA-CNPAP.

Nivel de fertilización <sup>a</sup>	Especie en asociación	Productividad del arroz (t/ha) <sup>b</sup>	Producción relativa (%)
A1	<i>B. brizantha</i>	2.20	100
	<i>B. decumbens</i>	2.32	
	<i>A. gayanus</i>	1.85	
Promedio		2.04	
A2	<i>B. brizantha</i>	1.93	109
	<i>B. decumbens</i>	2.31	
	<i>A. gayanus</i>	2.48	
Promedio		2.24	
A3	<i>B. brizantha</i>	1.94	110
	<i>B. decumbens</i>	2.45	
	<i>A. gayanus</i>	2.37	
Promedio		2.24	

- a. Suelo LVE; pH = 5.9; Ca + Mg = 1.8 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 0.4, 125, 2.2, 0.4, 63 y 18 ppm, respectivamente; M.O. = 1.2%. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil. Se utilizó la fórmula 4-30-10, más 20 kg/ha de  $ZnSO_4$  y 30 kg/ha de FTE BR-10, aplicada en las mezclas: A1 = 165 kg/ha, A2 = 355 kg/ha y A3 = 525 kg/ha.
- b. Promedio de los cultivares de arroz cv. Guaraní y cv. Río Paranaíba, y de distancias entre hileras de 40 y 50 cm.



Cuadro 11. Efecto de niveles de fertilización del arroz cv. Guarani asociado con *Brachiaria brizantha* sobre la producción de arroz y materia verde de la gramínea. EMBRAPA-CNPAP.

Nivel de fertilización <sup>a</sup>	Producción de arroz (t/ha)	Volcamiento del arroz <sup>b</sup>	<i>B. brizantha</i> (materia verde, t/ha) <sup>c</sup>
A1	1.25 b*	1	4.67
A2	2.05 a	4	11.82
A3	2.15 a	5	18.23
A4	1.85 a	5	21.80
C.V. (%)	11.3	–	22.9

- a. Suelo LVE; pH = 5.6; Ca + Mg = 1.5 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 0.7, 154, 2.4, 0.5, 187 y 42 ppm, respectivamente; M.O. = 1.7%. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil. A1 = Testigo (0); A2 = 150 kg/ha de 4-30-10 + 10 kg/ha de ZnSO<sub>4</sub> + 15 kg/ha de FTE BR-10; A3 = 2 x A2; A4 = 4 x A2.
- b. 1 = Sin volcamiento y 5 = 100% volcamiento.
- c. Hojas y tallos. Promedio de seis repeticiones de 1 m<sup>2</sup> cada una. Evaluación realizada 60 días después de la cosecha del arroz.
- \* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes (P < 0.05), según las pruebas de Tukey.

Cuadro 12. Cantidades de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O extraídas por los cultivos de arroz y de maíz, en el rastrojo (hojas + tallos secos) y en los granos.

Cultivo	Producción (t/ha)	Producción de rastrojo (t/ha)	Extracción (kg/ha)					
			En el rastrojo			En los granos		
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Arroz <sup>a</sup>	4.52 <sup>b</sup>	4.38 <sup>b</sup>	33.4	3.8	123.2	49.9	22.0	18.7
Maíz <sup>c</sup>	3.75	5.00	38.0	12.0	55.0	57.0	23.0	15.0

- a. Promedio de cinco variedades sembradas en octubre.
- b. FUENTE: Ohno y Marur (1977).
- c. FUENTE: Malavolta (1967).

debe agregar a razón de 5 kg/ha de Zn, aproximadamente. Se recomienda también aplicar 30 kg/ha de FTE BR12 (Fried Trace Elements, una mezcla de micronutrientes) para los cultivos de maíz y soya. Con la aplicación de 105 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y nutrientes en cantidades similares a las aplicadas para el cultivo del arroz, se han alcanzado producciones superiores a 3.5 t/ha en maíz y 3 t/ha en sorgo.

**Mezcla de termofosfato con fuentes de fósforo solubles en agua.** Debido a la pérdida de solubilidad del fósforo aplicado en el suelo del Cerrado, bajo condiciones naturales sería deseable, por un lado, la disponibilidad

inmediata de este nutrimento para cultivos anuales, lo que se logra aplicando fuentes solubles en agua; y por otro lado, la disponibilidad controlada para los cultivos perennes como las forrajeras. No obstante, se debe tener en cuenta que los costos de las diferentes fuentes de fósforo son variables, dependiendo de su solubilidad en agua.

Mediante la combinación de fosfatos de solubilidad intermedia, como los termofosfatos, con fuentes solubles, fórmulas o superfosfatos, es posible reducir el costo de la fertilización fosfatada y llenar las exigencias de los cultivos asociados.

Una ventaja de los termofosfatos es que suministran, además de fósforo, diversos micro y macronutrientes. Algunos estudios han demostrado que tomando como base 100 kg de  $P_2O_5$ , la mezcla en cualquier proporción de termofosfato con superfosfato, resulta en rendimientos de arroz superiores al testigo (Cuadro 13). No obstante que la mayor producción de arroz en grano se obtuvo con fuentes de fósforo solubles, no se encontraron diferencias significativas entre las proporciones termofosfato:fuentes soluble en agua (20:80 y 60:40), en presencia de los demás nutrientes, tal como se recomienda en el Sistema Barreirão. Mezclas de este tipo no se encuentran disponibles en el comercio, por tanto, es necesario prepararlas en la misma explotación.

**FTE y zinc.** En el Cerrado, algunos micronutrientes, en especial zinc, han sido limitativos para la producción satisfactoria de cultivos,

principalmente gramíneas. Los estudios en asociaciones arroz-*B. brizantha* indican que los mejores rendimientos de arroz se obtienen con la aplicación de 30 kg/ha de FTE BR 12, y 20 kg/ha de sulfato de zinc (Cuadro 14). Los tratamientos que más afectaron en forma negativa el rendimiento de arroz fueron el testigo sin Zn, aunque se aplicara FTE; y aplicación de Zn en combinación con elevadas dosis de FTE. La gramínea presentó la mayor producción de forraje en presencia de las dos fuentes de micronutrientes. Se observó que la aplicación de la cal aumenta la necesidad de Zn y que los mejores efectos de éste se observaron en combinación con los menores niveles de fertilización con fósforo (Cuadro 15).

**Fertilización con nitrógeno y potasio para desarrollo de cultivos.** La fertilización nitrogenada para el cultivo de maíz en fase de desarrollo es una práctica indispensable en el

Cuadro 13. Efecto de la aplicación de dosis proporcionales de termofosfato y de fórmulas comerciales en la producción y acame de arroz cv. Guaraní, en el desarrollo de *B. brizantha* y en los contenidos de fósforo en esta gramínea y en el suelo. EMBRAPA-CNPAP.

Yoorin (termofosfato) 4-30-16 <sup>a</sup>	Producción de arroz (t/ha)	Acame del arroz <sup>b</sup>	Desarrollo de la gramínea <sup>c</sup>	Contenido de P en:	
				Gramínea (%)	Suelo (ppm)
0:100	3.19 a*	3 a	4.5 a	0.10	1.1
20:80	3.11 ab	4 a	4.0 a	0.10	1.2
40:60	2.79 b	3 a	4.0 a	0.09	1.7
60:40	2.99 ab	4 a	4.0 a	0.08	2.5
80:20	2.76 b	3 a	4.0 a	0.08	2.7
100:0	2.74 b	3 a	4.0 a	0.07	2.8
0:100 <sup>d</sup>	3.03 a	3 a	4.0 a	0.10	1.1
Testigo	0.96 c	2 b	40 a	0.06	1.0
C.V. (%)	8.85	35.4	12.0	-	-

a. Suelo LVE; pH 5.7; Ca + Mg = 0.7 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 0.4, 86, 2.4, 0.4, 209 y 38 ppm, respectivamente; M.O. = 1.9%. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.

b. 1 = sin volcamiento y 5 = 100% de volcamiento.

c. 1 = malo, 2 = regular, 3 = bueno, 4 = muy bueno, 5 = excelente.

d. Sin micronutrientes.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según las pruebas de Tukey.

Cuadro 14. Efectos de la aplicación de micronutrientes en el acame, la producción de arroz, desarrollo de *Brachiaria brizantha* y en la absorción de zinc. EMBRAPA-CNPAP.

Tratamiento <sup>a</sup>		Características del cultivo de arroz			Desarrollo de la gramínea <sup>c</sup>
FTE (kg/ha)	Zn	Acame <sup>b</sup>	Productividad (t/ha)	Contenido de zinc en la hoja (ppm)	
0	0	4.25 a *	2.31 b	12	3.95 a
30	0	3.75 a	2.33 bc	13	4.29 a
60	0	4.00 a	2.87 b	14	4.41 a
120	0	3.75 a	2.90 b	16	4.30 a
0	20	4.50 a	2.96 b	12	4.39 a
30	20	4.75 a	3.30 a	14	4.11 a
60	20	5.00 a	2.65 bc	15	4.25 a
120	20	4.25 a	2.79 b	17	4.68 a
C.V. (%)		26.4	12.1	5.3	-
Sin FTE		4.38	2.63	12	4.17
Con FTE		4.29	2.81	14	4.34
Sin Zn		3.94	2.60	14	4.24
Con Zn		4.63	2.93	15	4.36

a. Suelo LVA; pH 5.5; Ca + Mg = 3.6 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 0.7, 86, 2.2, 0.5, 121 y 40 ppm, respectivamente; M.O. = 1.6%. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.

b. 1 = 0 y 5 = 100% de acame o volcamiento.

c. 1 = malo, 2 = regular, 3 = bueno, 4 = muy bueno, 5 = excelente.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según las pruebas de Tukey.

Sistema Barreirão, mientras que la aplicación de potasio depende del contenido de este nutriente y de la textura en el suelo. En suelos muy arenosos, los cultivos casi siempre necesitan fertilización con potasio.

Para el cultivo de arroz, por otro lado, la fertilización nitrogenada en la etapa de desarrollo es discutible, teniendo en cuenta los efectos indirectos que esa práctica puede ocasionar en las plantas. Este nutriente puede favorecer el crecimiento excesivo y el acame de las plantas y, en variedades susceptibles, favorece el ataque de *Piricularia* (*Piricularia grisea*) con mayor intensidad, principalmente, en los años que ocurre deficiencia hídrica. Los mejores resultados en desarrollo se han obtenido con la aplicación de ambos nutrientes (P y K). En este caso, se

encontró un efecto pequeño, pero significativo, de la interacción entre la aplicación e índice de *Piricularia* (Cuadro 16).

En condiciones de suelos de muy baja fertilidad y con deficiencia de agua por períodos de 23 días, como ocurre en Goiânia, se observó una elevada incidencia de *Piricularia* en las panículas cuando se aplicó fertilización en la etapa de desarrollo. En Goiânia, los mejores rendimientos se obtuvieron con la aplicación de potasio en esta etapa, y en Piracanjuba, Goiás, con fertilización combinada de nitrógeno y potasio (Cuadro 16).

### **Tratamiento de semillas**

Las áreas con pasturas degradadas pueden ofrecer ventajas en relación con la reducción de los focos de plagas y

Cuadro 15. Efecto de dosis crecientes de fósforo, calcio y zinc en el sistema arroz-*Brachiaria brizantha* (EMBRAPA-CNPAP).

Tratamiento <sup>a</sup>			Producción de arroz (t/ha)	<i>B. brizantha</i> (plantas/m)	Contenido de nutrientes en:					
P <sup>b</sup>	Ca <sup>b</sup>	Zn <sup>b</sup>			Hoja			Suelo		
					P (ppm)	Ca (%)	Zn (ppm)	P (ppm)	Ca (%)	Zn (ppm)
60	0	0	2.67 ab*	1.33	-	-	-	-	-	-
60	0	10	2.49 b	2.00	-	-	-	-	-	-
60	0	20	2.72 ab	2.50	-	-	-	-	-	-
60	0	40	3.12 a	2.33	-	-	-	-	-	-
60	0	80	2.87 ab	1.17	-	-	-	-	-	-
120	0	0	2.91 ab	2.17	-	-	-	-	-	-
120	3	40	2.74 ab	2.83	-	-	-	-	-	-
120	3	40	2.56 ab	1.67	-	-	-	-	-	-
120	6	40	2.90 ab	1.33	-	-	-	-	-	-
Testigo			1.39 c	2.50	-	-	-	-	-	-
Promedio			2.64	1.99						
C.V. (%)			11.1	60.7						
-	-	0	2.672	1.33	-	-	12	-	-	0.66
-	-	10	2.494	2.00	-	-	13	-	-	0.73
-	-	20	2.722	2.50	-	-	13	-	-	0.77
-	-	40	3.129	2.33	-	-	13	-	-	0.90
-	-	80	2.879	1.17	-	-	14	-	-	1.20
C.V. (%)			8.6	31.8						
60	-	-	2.80	2.83	0.10	-	-	0.60	-	-
120	-	-	2.74	1.67	0.12	-	-	1.65	-	-
C.V. (%)			4.8	36.6						
-	0	-	3.12	2.33	-	0.43	-	-	1.80	-
-	3	-	2.74	2.83	-	0.50	-	-	2.60	-
-	6	-	2.90	1.33	-	0.68	-	-	2.85	-
C.V. (%)			6.7	31.8						

a. Suelo LVA; pH = 5.5; Ca + Mg = 3.6 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 0.7, 86, 2.2, 0.5, 121 y 40 ppm, respectivamente.

b. P = fósforo como P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/ha); Ca = calcio como cal (t/ha); Zn = zinc como sulfato de zinc (kg/ha). Otros nutrientes aplicados de acuerdo a las recomendaciones en el Sistema Barreirão. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes (P < 0.05), según las pruebas de Tukey.

Cuadro 16. Fertilización de desarrollo y sus efectos en la producción de arroz e índice de incidencia de Piricularia en fincas del Cerrado. EMBRAPA-CNPAF.

Fertilización	Finca Capivara, Goiânia-GO <sup>a</sup>		Finca Barreirão, Piracanjuba-GO <sup>b</sup>	
	Producción (t/ha)	IP <sup>c</sup> (%)	Producción (t/ha)	IP <sup>c</sup> (%)
Testigo	1.07 b	8.33 b	2.07 b	2.67 ab
+ N	1.17 ab	20.68 a	2.21 b	4.89 a
+ K	1.39 a	6.69 b	2.18 b	2.40 b
+ N + K	0.99 b	20.27 a	2.80 a	3.82 a
C.V. (%)	17.5	46.1	12.7	41.0

a. Suelo LVA; pH = 5.1; Ca + Mg = 0.9 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 0.9, 47, 2, 1.1, 99 y 120 ppm, respectivamente.

b. Suelo LVE; pH 5.8; Ca + Mg = 8.6 meq/100 g; contenidos de P, K, Cu, Zn, Fe y Mn = 2.3, 137, 1.6, 2.3, 77 y 110 ppm, respectivamente; M.O. = 2.8%.

c. IP = Índice de Piricularia en porcentaje de panículas atacadas. Promedio de tres cultivares.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes (P < 0.05), según las pruebas de Tukey.

enfermedades. Estas áreas, no obstante, presentan condiciones naturales apropiadas para la reproducción y sobrevivencia del mión (*Deois flavopicta*), insecto que puede comprometer el desarrollo de las plantas de las gramíneas. El tratamiento preventivo de las semillas de los cultivos anuales como arroz, maíz, sorgo y millo, es fundamental. Los insecticidas más indicados son sistémicos a base de Carbofuran, Carbosulfan y Thiodicarb.

Las termitas o comején son una plaga en el suelo que puede comprometer el rendimiento del cultivo de arroz, principalmente en años con distribución irregular de lluvias. El mejor control de este insecto se obtiene con productos a base de Carbofuran (Cuadro 17). El elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*) es otro insecto de ocurrencia errática que puede causar daños severos en cultivos anuales asociados.

Se puede controlar tratando las semillas con los insecticidas antes mencionados.

La enfermedad de mayor importancia económica en el cultivo de

arroz es Piricularia, aunque en las áreas con pasturas degradadas es posible que no exista el inóculo *P. grisea*. Sin embargo, en explotaciones que utilizaron el Sistema Barreirão, aún con variedades de arroz tolerantes o resistentes, se observaron algunos ataques severos de la enfermedad. El producto químico que controla Piricularia tiene como base Pyroquilon (Felippi y Prahú, 1990; Prabhu, 1990), manteniendo la materia verde del tallo de las plantas por un período de tiempo más largo después de la maduración fisiológica de los granos, lo cual reduce el acame. El tratamiento de las semillas de las variedades más susceptibles, entre ellas, el cv. Río Verde mostró efectos significativos en el control de la enfermedad. Por el contrario, en variedades como Guaraní, que es tolerante, y Douradão, que es susceptible, no se encontró respuesta a la aplicación. En estas variedades, Pyroquilon intensificó el volcamiento, debido, probablemente, a la mayor altura de las plantas y al peso de las panículas (Cuadro 18).

Cuadro 17. Influencia del tratamiento de las semillas y la preparación del suelo<sup>a</sup> sobre la infestación y el daño de termitas rizofilo en la variedad de arroz Guarani asociada con *Brachiaria brizantha* en Sistema Barreirão, Finca Santo Antônio, Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil. EMBRAPA-CNPAF.

Producto	Tallos atacados (%)	Relación en peso raíz/tallo	Termitas/lt de suelo (no.)
Sin tratamiento	3.1 a*	0.218 a	6.9 a
Carbosulfan	3.2 a	0.234 a	3.4 a
Carbofuran	0.3 b	0.223 a	2.1 a
Carbofuran + Carboxin	0.3 b	0.235 a	3.3 a
Carbofuran + Pyroquilon	0.4 b	0.247 a	3.9 a
Preparación del suelo			
Con arado	1.3 a	0.243 a	1.5 b
Con rastra	1.6 a	0.220 a	

- a. Suelo similar a los del Cuadro 16, Goiânia, GO. Fertilización recomendada para el Sistema.  
 \* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según las pruebas de Tukey.

Cuadro 18. Efectos del tratamiento de semillas con o sin Pyroquilon en la producción de tres variedades de arroz de secano asociadas con *Brachiaria brizantha*. EMBRAPA-CNPAF.

Variedad <sup>a</sup>	Tratamiento	Producción (t/ha)	Acame de plantas <sup>b</sup>
Guarani	Con	2.06 c*	5
	Sin	2.58 b	4
Douradão	Con	3.35 a	2
	Sin	3.34 a	1
Río Verde	Con	1.51 d	1
	Sin	0.52 e	1
C.V. (%)	-	5	-

- a. Orden decreciente de tolerancia a la Piricularia: Guarani, Douradão y Río Verde. Fertilización recomendada para el Sistema Barreirão. Finca Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.  
 b. Acame: 1 = ausente, 5 = 100%.  
 \* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según las pruebas de Tukey.

## Siembra

En monocultivo y en el Sistema Barreirão, el mal establecimiento del cultivo compromete el rendimiento de granos. La colocación del fertilizante por debajo de la semilla del cultivo anual mejora la eficiencia de esta práctica. La distribución homogénea y la densidad correcta de las semillas a lo largo de los surcos, son esenciales para

una mayor producción de las plantas, particularmente aquellas tipo C4 como sorgo, *Pennisetum typhoides* (millo) y *Brachiaria* sp. La colocación de las semillas de las forrajeras, principalmente de *B. decumbens* y *B. brizantha*, a una mayor profundidad y en mezcla con el fertilizante, puede aumentar su competencia sobre los cultivos anuales, en particular, sobre

arroz. La densidad, la época de siembra y la distancia entre las plantas, también son aspectos importantes.

**Cultivares y variedades.** Se deben preferir variedades adaptadas en la región. Para el cultivo de sorgo (Cuadro 19) o millo, se recomiendan variedades tolerantes a la acidez en el suelo. Para maíz, las variedades deben ser tolerantes a la acidez y al aluminio, y deben tener una inserción alta de las mazorcas, para evitar las pérdidas durante la cosecha (Cuadro 20). Para arroz se prefieren cultivares de ciclo corto (100 a 110 días) que permiten un tiempo mayor dentro del período de lluvias para un mejor desarrollo de las forrajeras asociadas, lo que no impide la utilización de cultivares de ciclo medio (130 a 140 días) más productivos. Algunas variedades, como Caiapó, de ciclo medio, altas y con hojas caídas, tienen la capacidad de dar sombra más rápidamente y, en consecuencia, pueden producir más en asociación que en monocultivo.

El fenotipo de las plantas es un factor muy importante en las asociaciones arroz-pasturas. En general, las variedades de porte bajo tienen una mayor competencia que las de porte alto.

**Distancia y densidad de siembra de cultivos anuales.** En el Sistema Barreirão, para la siembra de arroz es necesario reducir la distancia entre surcos e incrementar la densidad de semillas en la hilera, debido a que este cultivo es menos competitivo que maíz, sorgo o millo (Cuadro 21). Esto posibilita el rápido sombreado del suelo, reduciendo el desarrollo vegetativo de las forrajeras. Se recomienda la distancia de 30 a 45 cm entre surcos, siendo ésta menor a medida que el ciclo es más corto y menos macollas presenta la variedad. En consecuencia, la densidad recomendada (80 a 100 semillas/m) debe ser menor, a medida que el ciclo del cultivo es más largo.

No se han observado modificaciones significativas en la altura de las plantas de arroz, cuando son asociadas con forrajeras o se siembran en monocultivo. No obstante, la producción de granos se reduce en 8%, aproximadamente, cuando el arroz se asocia con *A. gayanus*, y en 21% cuando se asocia con *B. brizantha* (Cuadro 22). El incremento en la densidad de siembra del cultivo del arroz produjo mayor rendimiento de granos, como promedio de 12 variedades y líneas evaluadas.

Cuadro 19. Producción de híbridos de sorgo asociados con *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, en Ituiutaba, MG. EMBRAPA-AGROCERES<sup>a</sup>.

Híbrido	Producción (t/ha) por época de siembra			
	08/12/93	18/01/94	09/02/94	Promedio
AG 122 (maíz control)	1.99 (0.56) <sup>b</sup>	2.44 (0.68)	1.60 (0.45)	2.014 (0.56)
AG 1017	2.19 (0.49)	2.70 (0.60)	2.22 (0.50)	2.375 (0.53)
AG 2005-E	2.97 (0.66)	4.08 (0.91)	3.34 (0.75)	3.469 (0.77)
BR 303	2.89 (0.64)	3.66 (0.82)	3.44 (0.77)	3.336 (0.74)
BR 304	2.82 (0.63)	3.34 (0.74)	2.28 (0.50)	2.815 (0.62)
Promedio	2.57 (0.60)	3.24 (0.75)	2.58 (0.59)	2.802 (0.64)

- a. Fertilización: 500 kg/ha de 4-20-20 + FTE, 2 t/ha de cal, 50 kg/ha de N en etapa de desarrollo, para las siembras en 18/01 y 09/02; y 92 kg/ha, en dos veces para la primera época de siembra.  
b. Entre paréntesis, la tasa de retorno. Costo de producción de US\$ 359.86/ha.

Cuadro 20. Producción de variedades de maíz asociadas con *Brachiaria brizantha* cv. Marandú. EMBRAPA-CNPMS/CNPAF<sup>a</sup>.

Variedad	Producción de maíz (t/ha) por localidad						Promedio <sup>f</sup>
	Piracanjuba-GO 1992/93 <sup>b</sup>	Guapó-GO 1992/93 <sup>b</sup>	Rondonópolis-MT 1992/93 <sup>c</sup>	Santo Antônio de Goiás-GO 1993/94 <sup>d</sup>	Goiânia-GO 1993/94 <sup>d</sup>	Gabriel Moneiro-SP 1993/94 <sup>e</sup>	
AG-106	3.93	3.90	1.94	-	-	-	3.91
AG-510	3.69	5.12	2.59	3.11	4.53	4.22	4.13
AG-612	-	-	-	3.22	-	-	-
Agromen-1022	1.72	3.48	-	2.08	-	3.77	2.76
Agromen-1030	1.73	3.73	-	-	-	-	2.73
Agromen-2007	-	-	-	2.24	1.95	3.22	2.47
Agromen-2010	-	-	-	3.82	2.00	-	2.91
BR-106	3.60	2.52	-	3.85	2.13	-	3.02
C-125	-	-	2.54	2.38	-	6.11	4.24
C-126	5.38	1.91	-	-	-	-	3.64
C-425	2.92	4.22	1.89	2.27	-	4.11	3.38
C-133	3.52	3.44	1.94	3.69	3.34	6.11	4.02
C-233	4.29	2.69	-	-	-	-	3.49
C-322	4.92	3.29	-	2.81	3.86	5.38	4.05
Dina-100	2.750	2.89	1.66	3.33	3.66	-	3.16
EMGOPA-501	4.92	2.54	0.92	-	-	-	3.73
CMS-36	-	-	-	1.95	-	-	-
Pionner-3210	5.89	3.15	-	2.78	-	3.33	3.79
XL-605	4.59	3.71	-	-	-	-	4.15
XL-678	2.12	2.32	0.92	-	-	-	2.22
XL-678-C	2.67	2.84	1.94	-	-	-	2.75

- a. Fertilización según la recomendada para el Sistema Barreirão. Aplicación de cal antes de la siembra, si es necesario.  
b. Promedio de cuatro muestras.  
c. Promedio de dos muestras.  
d. Promedio de 10 muestras.  
e. Resultado de una muestra.  
f. No incluye los datos de Rondonópolis-MT.

***Distancia y densidad de siembra para forrajeras.*** El ajuste de la distancia entre surcos para la siembra de las forrajeras determina la mejor cobertura del suelo, siendo también posible alcanzar una mejor producción de forraje. La densidad de siembra, a su vez, no sólo contribuye a mejorar la calidad de la pastura, sino que afecta el rendimiento del cultivo

anual, principalmente de arroz. En *Brachiaria* no se han observado diferencias entre siembras a voleo, en los mismos surcos de siembra del cultivo anual o entre estos últimos (Cuadro 23), cuando las condiciones de clima y suelo, y la época de siembra son las indicadas para el desarrollo del cultivo de arroz. De la misma manera, la siembra simultánea del cultivo y de



Cuadro 21. Efecto de la distancia y densidad de siembra sobre la producción de arroz de secano cv. Guarani asociado con *Brachiaria brizantha*. EMBRAPA-CNPAP<sup>a</sup>.

Distancia (cm)	Producción de grano de arroz (t/ha) por período			
	100 semillas/m		50 semillas/m	
	1990/91 <sup>b</sup>	1990/91 <sup>c</sup>	1991/92 <sup>b</sup>	1991/92 <sup>c</sup>
50	3.28 b*	2.07 a	2.23 b	1.79 a
40	3.85 a	2.28 a	2.91 ab	2.13 a
30	–	–	3.90 a	2.64 a
C.V. (%)	15.5	–	14.3	24.6

- a. Fertilización recomendada para el Sistema Barreirão.  
 b. Piracanjuba, GO.  
 c. Santo Antônio de Goiás, GO, Brasil.  
 \* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según las pruebas de Tukey.

Cuadro 22. Efecto de la competencia de *Andropogon gayanus* y *Brachiaria brizantha* sobre la altura de planta y la producción de arroz en varias localidades del Cerrado de Brasil. Fertilizadas según las recomendaciones en el Sistema Barreirão. EMBRAPA-CNPAP.

Tratamiento	Altura de plantas (cm)			Producción (t/ha)				
	Guapó-GO	Piracanjuba-GO	Nova Mutum-MT	Guapó-GO	Piracanjuba-GO	Nova Mutum-GO	Promedio <sup>a</sup>	Relativa (%)
Arroz solo	114	117	90	4.33	2.69	1.77	2.932	100
Arroz + <i>A. gayanus</i>	115	117	91	4.26	2.76	1.06	2.697	92
Arroz + <i>B. brizantha</i> <sup>b</sup>	113	119	89	3.48	2.25	1.18	2.307	79
Arroz + <i>B. brizantha</i> <sup>c</sup>	110	118	89	3.56	2.57	1.23	2.459	84

- a. Promedio de 12 variedades/línea de arroz.  
 b. Arroz en la densidad de 60 semillas/m.  
 c. Arroz en la densidad de 100 semillas/m.

Cuadro 23. Efecto de la época de siembra y el arreglo espacial de *Brachiaria brizantha* sobre la producción de arroz cv. Guarani<sup>a</sup>. EMBRAPA-CNPAP.

Arreglo de <i>B. brizantha</i> <sup>b</sup>	Epoca de siembra <sup>c</sup>		Promedio	Producción relativa (%)
	Simultánea (t/ha)	30 días después de arroz (t/ha)		
En la misma hilera	2.43	–	2.47	100
Entre hileras	2.59	2.51	2.60	105
A voleo	2.58	2.62	2.58	105
Promedio	2.53	2.56	–	–
Prod. relativa (%)	100	101	–	–

- a. Fertilización recomendada para el Sistema Barreirão. Finca Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.  
 b. Sitio de siembra de la gramínea en relación con el arroz.  
 c. Epoca de siembra de la gramínea en relación con el arroz.

la forrajera no afectó el rendimiento de arroz. En consecuencia, el método más económico es sembrar en forma simultánea, *Brachiaria* en el surco del cultivo anual y *A. gayanus* a voleo, lo que reduce el número de operaciones necesarias.

La densidad de siembra de la forrajera es importante en el rendimiento del cultivo de arroz (Cuadro 24) y puede interferir en los otros cultivos anuales. Densidades superiores a 4 ó 6 plantas/m<sup>2</sup> de las forrajeras *A. gayanus*, *B. brizantha* y *B. decumbens*, redujeron sensiblemente el rendimiento de arroz. Las observaciones de campo mostraron que *A. gayanus*, por su desarrollo inicial lento, compitió menos con el cultivo. En resumen, las mayores densidades de siembra de la forrajera pueden reducir la productividad de los cultivos, aunque no siempre generan mejores pasturas, mientras que menores densidades de la forrajera favorecen el cultivo anual. De la misma manera,

cuanto más temprana sea la siembra, a partir del inicio del período lluvioso, mejor será el desarrollo de la forrajera después de la cosecha de los granos.

**Mezcla de las semillas de las forrajeras con fertilizantes.** Debido a la facilidad para la siembra y a la falta de maquinaria adecuada para la implementación de las prácticas recomendadas en el Sistema Barreirão, las semillas de las gramíneas del género *Brachiaria* se mezclan con el fertilizante para su incorporación en el suelo. Para la siembra de otras forrajeras, como las de los géneros *Panicum* y *Andropogon*, se siguen las prácticas convencionales, ya que si se mezclan con los fertilizantes pueden sufrir daños por las sales presentes en ellos. En el Sistema Barreirão se recomienda que la mezcla semillas-fertilizantes se prepare antes de su incorporación en el suelo, evitando su almacenamiento por más de 24 h. En el caso de *B. brizantha*, el almacenamiento prolongado puede

Cuadro 24. Efecto de la densidad de siembra de tres especies forrajeras asociadas con arroz cv. Guaraní sobre la producción del arroz y de materia verde (MV) de las gramíneas<sup>a</sup>. EMBRAPA-CNPAP.

Gramínea	Densidad de siembra (kg/ha)	Plantas/m <sup>2</sup> (no.)	Producción de arroz (t/ha) <sup>b</sup>	Producción de MV (t/ha)
<i>A. gayanus</i>	0	1.75	3.54 (100) <sup>c</sup>	8.33
	10	2.00	3.07 (87)	16.27
	20	4.27	2.87 (81)	21.57
Promedio			3.16	15.39
<i>B. decumbens</i> <sup>c</sup>	0	1.00	3.90 (100)	11.30
	5	13.3	1.85 (48)	20.30
	10	29.2	890 (23)	27.30
Promedio			2.21	19.63
<i>B. brizantha</i> <sup>d</sup>	0	1.75	3.64 (100)	10.40
	5	7.93	2.28 (63)	23.87
	10	18.25	1.63 (45)	23.43
Promedio			2.51	19.23

a. Fertilización recomendada para el Sistema Barreirão. Hacienda Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.

b. Datos porcentuales entre paréntesis.

c. Valor cultural (VC) = 40%.

d. VC = 60%.

reducir en más de 80% el poder germinativo de la semilla (Cuadro 25).

**Profundidad de aplicación del fertilizante y de siembra de la forrajera.** Las forrajeras de los géneros *Panicum* y *Andropogon* se deben sembrar en forma superficial. Las del género *Brachiaria*, principalmente *B. brizantha* y *B. decumbens*, se deben incorporar en el suelo a una profundidad entre 8 y 10 cm. Esta práctica retarda la emergencia de las plántulas de estas forrajeras, reduciendo la competencia

Cuadro 25. Germinación de *Brachiaria brizantha* y producción de materia verde (MV) de la parte aérea 60 días después, según el tiempo de almacenamiento después de la mezcla de las semillas con fertilizantes. EMBRAPA-CNPAP.

Período de almacenamiento <sup>a</sup> (días)	Plantas germinadas (no./parcela)	MV (t/ha)
0 <sup>b</sup>	108 a*	5.79 a
0 <sup>c</sup>	99 b	5.33 ab
0 <sup>d</sup>	93 b	5.32 ab
4	84 c	5.15 ab
8	40 d	4.79 ab
14	23 e	4.21 b
22	16 f	840 c
C.V. (%)	6.52	13.1

- a. Semillas de *B. brizantha*, VC = 40.3% (51.7% de pureza y 78% de germinación), equivalente a 547 semillas por parcela, mezcladas con 300 kg/ha de 4-30-16, 30 kg/ha de FTE y 20 kg/ha de ZnSO<sub>4</sub>. La emergencia de las plantas en la parcela sin abono se demoró 17 días. Excepto el primer tratamiento, en los demás las semillas de *B. brizantha*, con o sin abono, fueron incorporadas a 8 cm de profundidad.
- b. Gramínea a 3 cm y fertilizante a 8 cm de profundidad.
- c. Forrajera y fertilizantes mezclados en el día de la siembra, ambos colocados a 8 cm de profundidad.
- d. Gramínea incorporada a 8 cm, sin fertilizante.
- \* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según las pruebas de Tukey.

para el cultivo de arroz. Los mejores resultados en trabajos sobre profundidades de fertilización y siembra se han obtenido cuando el cultivo tiene crecimiento limitado por la baja fertilidad en el suelo, en condiciones de clima variables y épocas de siembra diferentes. Al comparar las siembras a 3, 6, 9 y 12 cm de profundidad en suelos de textura media, se observaron pequeñas variaciones en la población de las forrajeras y un incremento significativo en el rendimiento de grano en el cultivo de arroz, a medida que la mezcla semillas-fertilizante se incorporó a una mayor profundidad (Cuadro 26). Los suelos muy arcillosos o arenosos pueden dificultar la emergencia de las plántulas, principalmente si ocurre un período de seco después de la siembra. Si es posible, se sugiere hacer evaluaciones locales para determinar la mejor profundidad para fertilización y para siembra de la forrajera.

**Maquinaria para siembra.** El ajuste y la velocidad de operación de la sembradora tienen gran influencia en el éxito de la siembra. Existen en el comercio algunas sembradoras que no poseen los mecanismos necesarios para una buena labor, por lo que no se consideran adecuadas para realizar el Sistema Barreirão. Durante la siembra, la velocidad de operación del equipo debe estar entre 3 y 5 km/h.

Los ajustes necesarios para la siembra son los siguientes:

1. Dosis correcta de semillas y fertilizante;
2. Profundidad adecuada de los surcos para la fertilización y la colocación de la semilla;
3. Mecanismos dosificadores de semillas que no ocasionen daños a las semillas; y
4. Distancia horizontal apropiada entre las líneas de fertilización y de siembra.

Cuadro 26. Efecto de la profundidad de fertilización y de siembra de dos gramíneas forrajeras sobre la productividad de arroz asociado. EMBRAPA-CNPAF.

Especie	Profundidad de siembra (cm)	Gramíneas (plantas/m)	Evaluación de la gramínea <sup>a</sup>	Producción de arroz <sup>b</sup> (t/ha)
<i>B. decumbens</i>	3	6.5 a *	3.92	1.58 bc
	6	6.3 a	4.17	2.13 ab
	9	7.8 a	4.03	2.23 a
	12	7.0 a	4.65	1.73 abc
<i>B. brizantha</i>	3	6.3 a	4.40	1.20 c
	6	4.5 a	4.37	1.60 bc
	9	7.5 a	4.10	1.64 bc
	12	5.2 a	4.22	2.08 ab

a. 1 = malo, 2 = regular, 3 = bueno, 4 = muy bueno, 5 = excelente.

b. Fertilización recomendada para el Sistema Barreirão. Finca Barreirão, Piracanjuba, GO, Brasil.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no son significativamente diferentes ( $P < 0.05$ ), según las pruebas de Duncan.

Para un mejor ajuste, las sembradoras deben disponer de:

1. Una distancia mínima (30 a 40 cm) entre el mecanismo dosificador de semillas y el fondo del surco de siembra;
2. Un sistema de resortes que permita diferenciar la profundidad de fertilización, en relación con la colocación de las semillas de los cultivos anuales;
3. Una distancia variable entre líneas, siendo el mínimo 30 a 35 cm;
4. Un sistema dosificador de semillas en forma de disco perforado horizontal, inclinado o vertical;
5. Mecanismos alimentadores del fertilizante que eviten la formación de vacíos en el interior del depósito; y
6. Mecanismos para controlar de la profundidad de siembra.

### ***Análisis del crecimiento de los cultivos anuales y de las forrajeras***

El desarrollo de las especies asociadas, principalmente de sus hojas, es modificado por la competencia interespecífica. Inicialmente y hasta el momento de la cosecha, es deseable que los cultivos anuales se desarrollen con mínima competencia por parte de la forrajera. A partir de este momento, se persigue el desarrollo de las forrajeras a una tasa que permita el inicio del pastoreo lo antes posible.

En las Figuras 1 y 2 se presentan los resultados en ensayos para evaluar la tasa de crecimiento de cultivos asociados. Desde la emergencia, el maíz, el sorgo, el millo y el arroz afectaron el crecimiento de las hojas y los tallos del pasto asociado, dando como resultado valores menores a los encontrados con *B. brizantha* cv. Marandú en monocultivo.

Las cosechas de sorgo, millo y arroz se realizaron 110 días después de la

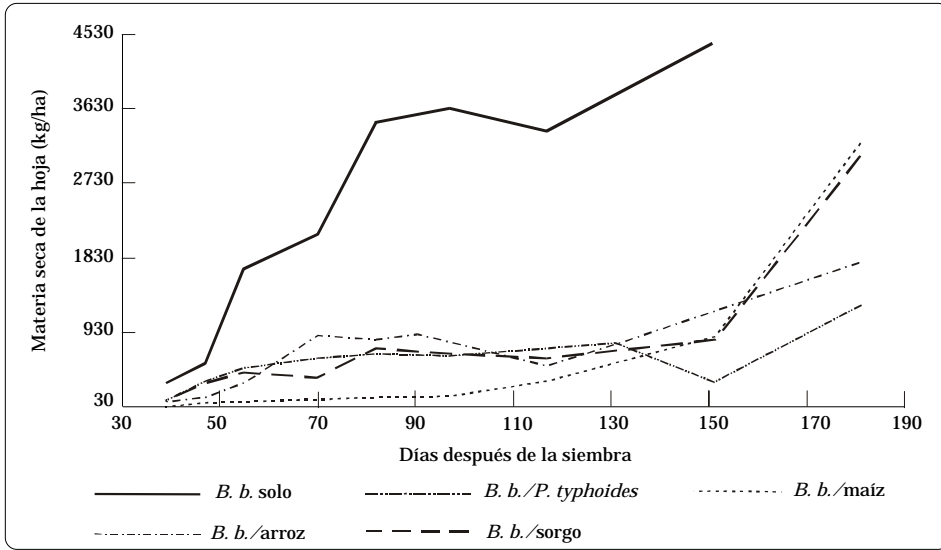


Figura 1. Producción de materia seca de la hoja (kg/ha) de *Brachiaria brizantha* (*B. b.*) cv. Marandú, en monocultivo y asociado con maíz, sorgo, arroz y *P. typhoides*.

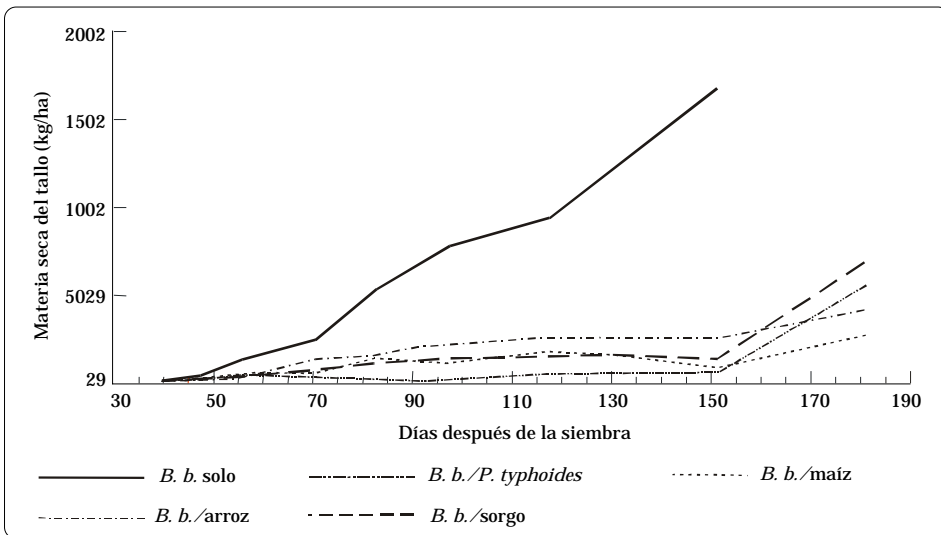


Figura 2. Producción de materia seca del tallo (kg/ha) de *Brachiaria brizantha* (*B. b.*) cv. Marandú, en monocultivo y asociado con maíz, sorgo, arroz y *P. typhoides*.

emergencia, y la de maíz, 131 días después. El pasto en monocultivo empezó su senescencia y presentó acame a los 150 días después de emerger. Por el contrario, en este mismo período el pasto asociado con

cualquiera de los cultivos presentó mayores incrementos en la producción de hojas que en la producción de tallos; probablemente, estos incrementos se debieron al corte que la pastura sufrió cuando se hizo la cosecha de los

cultivos. El corte de la pastura asociada indujo una mayor producción de nuevas macollas y hojas (Figura 3), favoreciendo, por tanto, la cobertura del suelo. Las productividades de maíz, sorgo, millo y arroz fueron, respectivamente, de 3.58, 2.24, 1.26 y 2.56 t/ha. La tasa de crecimiento máximo (Figura 4) del pasto en monocultivo fue de 392 kg/ha por día, mientras que las del pasto asociado con maíz, sorgo, arroz y millo fueron 32, 75, 91 y 260 kg/ha por día, respectivamente.

Todos los cultivos evaluados compitieron con *B. brizantha* cv. Marandú, interfiriendo en el crecimiento de las hojas y de los tallos. Hasta 180 días después de la emergencia, la recuperación de la forrajera fue mejor cuando se asoció con millo, seguido de sorgo, arroz y maíz.

### **Sitios de Evaluación del Sistema Barreirão**

Durante los periodos de 1987-88 y 1990-94, se establecieron y monitorearon 81 unidades de demostración del Sistema Barreirão, en siete Estados de la Federación (Goiás-GO, Mato Grosso-MT, Mato Grosso do Sul-MS, Tocantins-TO, Minas Gerais-MG, São Paulo-SP y Bahia-BA). En estos periodos, los rendimientos obtenidos variaron de 0.6 a 3.41 t/ha para arroz, y de 2.1 a 7.43 t/ha para maíz. Los promedios de rendimiento por hectárea, fueron: para arroz 33.5 bultos de 60 kg y para maíz 61.5 bultos de 60 kg cada uno (Cuadro 27). En los Sistemas Barreirão monitoreados por el grupo técnico de Embrapa Arroz e Feijão no ocurrió pérdida total por efecto de distribución de las lluvias. En algunos casos, se observaron reducciones en el rendimiento atribuidos al ataque intenso de la

Piricularia. Los suelos donde fueron implantadas los Sistemas Barreirão presentan, predominantemente, baja fertilidad, acidez de alta a media y textura de arcillosa a arenosa.

### **Comportamiento de las Pasturas en Fincas de Productores**

Una encuesta a 20 ganaderos que utilizan el Sistema Barreirão mostró variaciones en la capacidad de carga animal entre los periodos seco y lluvioso de 1993 y 1994.

En el periodo seco de 1993, en las pasturas degradadas la capacidad promedio de carga fue de 0.6 U.A./ha, mientras que en las pasturas recuperadas por el Sistema Barreirão fue de 1.2 U.A./ha, lo que implica un incremento de 100%. En el periodo lluvioso, el incremento fue de 117%, o sea, el promedio pasó de 1.2 a 2.6 U.A./ha.

En el periodo seco de 1994, la capacidad de carga animal pasó de 0.7 a 1.5 U.A./ha, lo que representa un incremento de 114%. En el periodo lluvioso de ese mismo año, el incremento fue de 100%, pasando de 1.2 a 2.4 U.A./ha. Como se observa, hubo un incremento significativo en la capacidad de carga de las pasturas renovadas por el Sistema Barreirão.

En relación con las pérdidas de peso vivo de los animales en pasturas degradadas, se observó que durante los periodos secos de 1991 a 1994, éstas fueron, respectivamente, de 0.36, 0.29, 0.34 y 0.27 kg/día. Según estos resultados preliminares, en 1994 el promedio de la ganancia diaria de peso vivo por animal fue de 0.3 kg en el periodo seco, y de 0.5 kg en el periodo lluvioso.

Los productores señalaron como causas para la no-adopción del

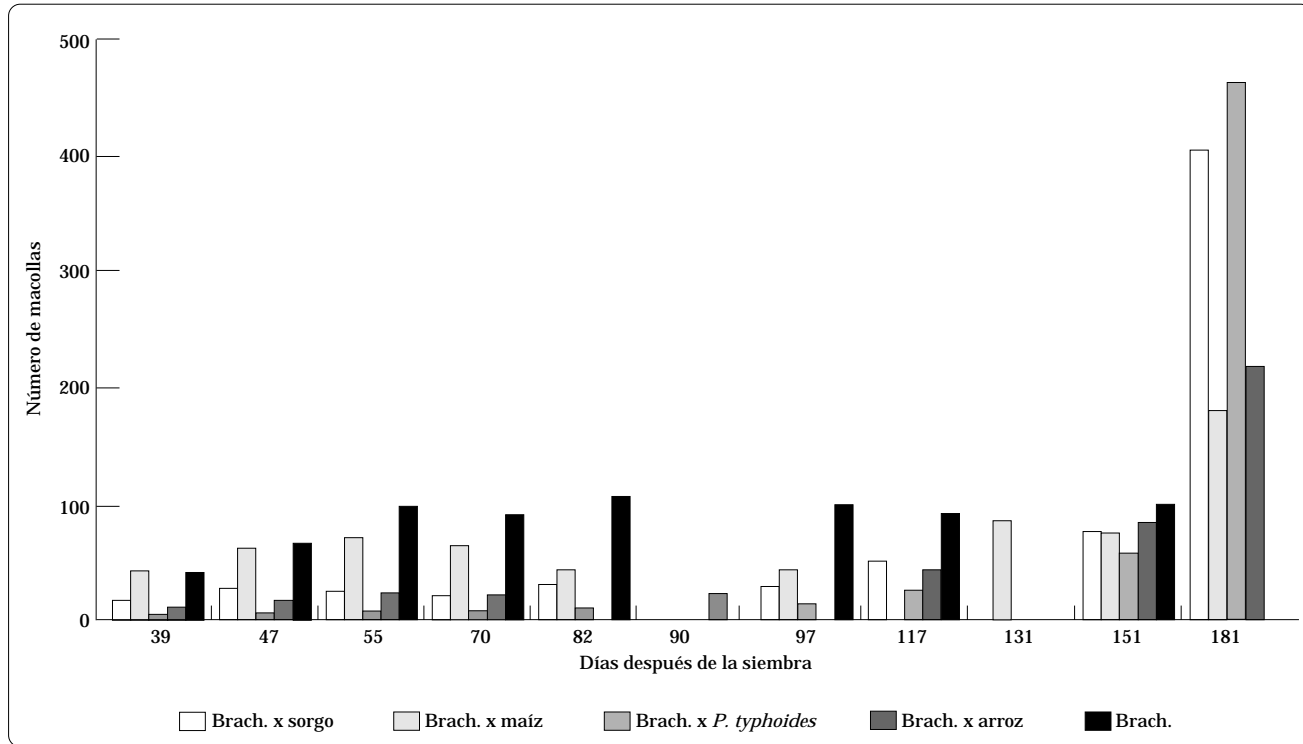


Figura 3. Evolución del número de macollas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, en monocultivo y asociado con maíz, sorgo, arroz y *P. typhoides*.

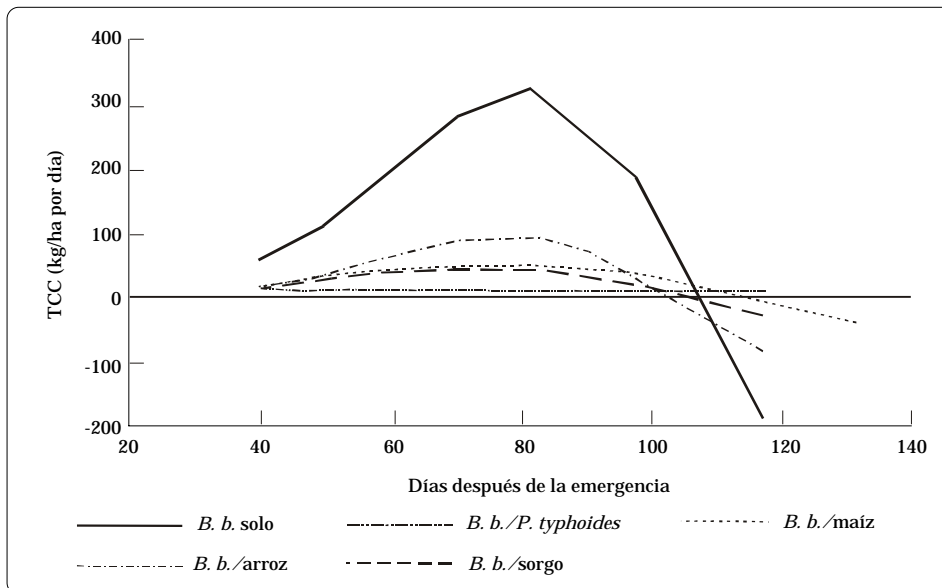


Figura 4. Tasa de crecimiento del cultivo (TCC) (kg/ha por día) de *Brachiaria brizantha* (*B. b.*) cv. Marandú, en monocultivo y asociado con maíz, sorgo, arroz y *P. typhoides*.

Cuadro 27. Producción de arroz y de maíz en unidades demostrativas del Sistema Barreirão, en cuatro períodos agrícolas y siete Estados de la Federación.

Período agrícola	Cultivo	Localidades (no. ensayos)	Producción (t/ha)		
			Promedio	Máxima	Mínima
1987/88	Arroz	GO y MT (5)	2.06	2.65	1.41
1990/91	Arroz	GO (11)	2.04	2.58	0.99
1991/92	Arroz	GO, MT, MG, TO, MS (15)	2.28	3.20	1.10
1992/93	Arroz	GO, MT, MG (8)	1.86	2.16	1.44
1992/93	Maíz	GO (3)	4.02	5.52	3.18
1993/94	Arroz	GO, SP, MS, MG, BA, TO (23)	1.80	3.41	0.60
1993/94	Maíz	SP, MS, GO, MT, MG (16)	3.36	7.43	2.10

Sistema Barreirão, en orden decreciente: la falta de maquinaria adecuada (90%), la falta de crédito específico (70%), el costo de la maquinaria y los implementos (60%), poca experiencia y falta de interés del productor (60%) y falta de asistencia técnica específica (35%).

## Análisis Socioeconómico del Sistema Barreirão

El análisis económico de los cultivos y unidades demostrativas en el Sistema Barreirão, donde se sembró arroz asociado con forrajeras, muestra que el costo de producción se mantuvo estable



a través de 4 años, mientras que el valor de la cosecha sufrió variación considerable (Cuadro 28). Sin embargo, el beneficio/costo varió de 0.83 hasta 1.27, significando que además de la recuperación de las pasturas los productores obtuvieron beneficios adicionales con la utilización del Sistema. Las variaciones en las productividades de los períodos 1992-93 y 1993-94, en relación con el período 1991-92, se debieron a los períodos cortos de sequía o veranillo y, en algunos casos, al cambio de la variedad Guaraní por la Douradão, más susceptible a *Piricularia*, y a pérdidas en la cosecha debidas a la falta de maquinaria en el momento apropiado.

Para el cultivo de maíz, en la evaluación de 19 Sistemas Barreirão, la relación beneficio/costo varió desde 0.80 hasta 1.06 (Cuadro 29). En el período 1993/94 se observó un incremento de 13% en los costos de producción y una reducción de 16% en productividad, en comparación con el período inmediatamente anterior.

En el Sistema Barreirão, la relación beneficio/costo considera solamente la producción de granos de arroz y de maíz. Los residuos que se

quedan para la pastura (preparación del suelo, fertilización, semillas, etc.) representan cerca de 63% del costo de producción (Yokoyama et al., 1992). De esta manera, los beneficios de los productores no están solamente en la producción de granos, sino también en la utilización de las pasturas recuperadas para la producción de carne o de leche. Los fertilizantes y el manejo de los suelos son las labores de mayor costo en el Sistema Barreirão.

## Otros Beneficios del Sistema Barreirão

El análisis económica presentado en el punto anterior, incluye las relaciones directas entre beneficio y costo, considerando solamente la producción de granos y excluyendo los retornos debido a: (1) producción de carne y de leche; (2) incremento probable en la tasa de natalidad y reducción de la mortalidad de animales; (3) reducción o eliminación de los costos para control de hormigueros y malezas perennes; (4) reducción o eliminación de la pérdida de peso vivo y de la mortalidad del rebaño en el período seco; (5) producción de carne en canal de

Cuadro 28. Costos comparativos de producción, precio, producción y tasa de retorno del Sistema Barreirão, utilizando arroz asociado con forrajeras.

Período de cultivo	Costo de producción (US\$/ha)	Costo relativo (%)	Precio del arroz (US\$/60 kg)	Precio relativo (%)	Producción (sacos/ha) <sup>a</sup>	Producción relativa (%)	Tasa de retorno
1990/91 <sup>b</sup>	356,21	100	13,35	100	34	100	1.27
1991/92 <sup>c</sup>	277,95	78	7,97	60	38	112	1.09
1992/93 <sup>d</sup>	321,80	90	10,00	75	31	91	0.96
1993/94 <sup>e</sup>	334,69	94	9,30	70	30	88	0.83

a. Sacos de 60 kg.

b. Once unidades demostrativas en GO.

c. Quince unidades demostrativas en MT, MS, TO, GO y MG.

d. Ocho unidades demostrativas en MT, GO y MG.

e. Veintitrés unidades demostrativas en GO, MT, MS, SP, BA y MG.

FUENTE: Yokoyama et al. (1995).

Cuadro 29. Resultados económicos de unidades demostrativas en el Sistema Barreirão, con asociación maíz-forrajeras.

Detalle	Períodos	
	1992/93 <sup>a</sup>	1993/94 <sup>b</sup>
Producción (sacos de 60 kg, no.)	67	56
Receta total (US\$/ha)	402,00	341,60
Costo de producción (US\$/ha)	376,32	424,86
Tasa de retorno	1.06	0.80

- a. Tres unidades demostrativas en Goiás.  
 b. Dieciséis unidades demostrativas en Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso y São Paulo.

FUENTE: Yokoyama et al. (1995).

mejor calidad; y (6) probable reducción de la necesidad de suplementación mineral a los animales.

En los suelos, también: (1) se mejora el perfil por reducción de la compactación, la corrección de acidez, y el aumento en nutrientes y M.O.; (2) se reduce el proceso de erosión hídrica; y (3) se favorece el enraizamiento profundo de las forrajeras, lo cual facilita el trabajo de la maquinaria agrícola.

Como beneficios ecológicos originados en el Sistema Barreirão, se pueden citar: (1) la mejor cobertura y menor degradación del suelo, lo que favorece la disponibilidad de alimentos para los herbívoros; (2) la reducción del ritmo de apertura de nuevas áreas, particularmente en la Amazonia; (3) la reducción de la erosión en las cuencas de los ríos, debido a mayor infiltración del agua en el suelo, y de eventos en los centros urbanos; (4) incremento del volumen y en la calidad del agua subterránea; y (5) reducción en el uso de productos químicos para el control de malezas y plagas.

## Referencias

- Carvalho, S. I. de; Vilela, L.; Spain, J. M.; y Karia, E. T. 1990. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens*, cv. Basilisk na região dos Cerrados. Pasturas Tropicales 12(2):24-28.
- Correa, A. S. 1986. Pecuária de corte: Problemas e perspectivas de desenvolvimento. Documento no. 33. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (EMBRAPA-CNPGC), Campo Grande, Brasil. 763 p.
- EMBRAPA-CNPAF (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão). 1994. Relatório técnico do Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão 1990-1992. Documentos no. 51. Goiânia, Brasil. p. 212-213.
- Fernandes, E.; Gratão, G.; Setti, J. C. de A.; Gomes, R. F.; Reis, G. J. dos; y Borges, J. M. 1986. Resultados técnicos e económicos de sistema de produção de leite nas bacias leiteiras de Campo Grande e Paranaíba. Circular técnica no. 3. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Mato Grosso (EMPA), Campo Grande, MS. 35 p.
- Filippi, M. C. y Prabhu, A. S. 1990. Tratamento de sementes com o fungicida Pyroquilon e resistência das cultivares no controle da brusone nas folhas. En: 4a. Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz. Goiânia. Resumos. Documento no. 26. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAF), Goiânia, Brasil. p. 38.
- Goedert, W. J.; Lobato, E.; y Wagner, E. 1980. Potencial agrícola da região dos Cerrados brasileiros. Pesqui. Agropecu. Bras. 15(1):1-17.

- Guimarães, C. M. y Castro, T. de. 1982. Sistema radicular do feijoeiro condicionado aos efeitos da profundidade de aplicação e tipo de adubo fosfatado. En: Primeira Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão. Goiânia. Anais. Documento no. 1. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), Brasil. p. 138-141.
- Kluthcouski, J. y Yokoyama, L. P. 1994. Arroz nos sistemas de cultivo do Cerrado. En: Novena Conferência Internacional de Arroz para a América Latina e o Caribe. Goiânia. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão-Centro Internacional de Agricultura Tropical (EMBRAPA-CNPAP-CIAT). p. 1-18.
- \_\_\_\_\_; Bouzinac, S.; y Séguy, L. 1988. Preparo do solo. En: Zimmermann, M. J. de O.; Rocha, M.; y Yamada, T. (eds.). Cultura do feijoeiro: Fatores que afetam a produtividade. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. Piracicaba, Brasil. p. 249-259.
- \_\_\_\_\_; Pacheco, A. R.; Teixeira, S. M.; y Oliveira, E. T. de. 1991a. Renovação de pastagens de Cerrado com arroz. I. Sistema Barreirão. Documento no. 33. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), Goiânia, Brasil. 20 p.
- \_\_\_\_\_; Séguy, L.; Bousinac, S. R.; Raissac, M. M. de; y Moreira, J. A. 1991b. O arroz nos sistemas agrícolas do Cerrado. En: 3a. Reunião Nacional de Pesquisa de Arroz. Goiânia. Documento no. 25. Anais. 1987. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP). p. 281-330.
- \_\_\_\_\_; Pinheiro, B. S.; Yokoyama, L. P.; y Oliveira, I. P. de. 1993. El arroz asociado recupera pasturas degradadas en el Cerrado brasileño. Arroz en las Américas 14(1):2-4.
- Lopes, A. S. 1983. Solos do Cerrado: Características, propriedades e manejo. Instituto da Potassa e Fosfato, Piracicaba, Brasil. 162 p.
- Malavolta, E. 1967. Manual de química agrícola: Adubos e adubação. Agronomica Ceres, São Paulo, Brasil. p. 462-464.
- Noticiário Tortuga. 1994. Tortuga Companhia Zootécnica Agrária. São Paulo. 40(390).
- Ohno, Y. y Marur, C. J. 1977. Physiological analysis of factors limiting growth and yield of upland rice. Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Londrina, Brasil. 17 p.
- Prabhu, A. S. 1990. Manejo integrado da brusone em arroz de sequeiro. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP). Dia de campo, fevereiro 22. Goiânia. 5 p.
- Sanz, J. I.; Molina, D. L.; y Rivera, M. 1993. El arroz se asocia con pasturas en la altillanura colombiana. Arroz en las Américas 14(1):8-9.
- Séguy, L.; Bouzinac, S. R.; y Douzet, J. M. 1994. Gestão dos solos e das culturas nas áreas de fronteiras agrícolas dos Cerrados úmidos e das florestas no centro-oeste brasileiro-região centro-norte do Mato Grosso: Campanha Agrícola 1993-94. Lucas do Rio Verde. RPA/COOPERLUCAS/CIRAD-CA. 259 p.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Pacheco, A.; Carpanedo, V.; y Silva, V. da. 1988. Perspectiva da fixação de agricultura na região centro-norte do Mato Grosso: Caso da fazenda Progresso-Sorriso, MT-Cuiabá. 52 p.

- \_\_\_\_\_; Kluthcouski, J.; Silva, J. G. da; Blumenschein, F. N.; y Dall'acqua, F. M. 1984. Técnicas de preparo do solo: Efeitos na fertilidade e na conservação do solo nas ervas daninhas e na conservação de água. Circular técnica no. 17. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), Goiânia. 26 p.
- Yokoyama, L. P.; Kluthcouski, J.; Gomide, J. de C.; Santana, E. P.; Oliveira, E. T. de; Canovas, A. D.; Oliveira, I. P. de; y Guimarães, C. M. 1992. Plantio de arroz em consórcio com pastagem Sistema Barreirão: Análise econômica. Comunicado técnico no. 25. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), Goiânia. 11 p.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; Oliveira, I. P. de.; Dutra, L. G.; Silva, J. G. da; Gomide, J. de C.; y Buso, L. H. 1995. Sistema Barreirão: Análise de custo/benefício e necessidade de máquinas e implementos agrícolas. Documento no 56. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), Goiânia. 31 p.
- Zimmer, A. H. y Corrêa, E. S. 1993. A pecuária nacional, uma pecuária de pasto? En: Primer Encontro sobre Recuperação de Pastagens. 1993. Nova Odessa, SP. Anais. Instituto de Zootecnia, Nova Odessa, p.1-26.
- \_\_\_\_\_; Macedo, M. C. M.; Barcellos, A. de. O.; Kichel, A. N. 1994. Estabelecimento e recuperação de pastagens de Brachiaria. En: Simpósio sobre Manejo de Pastagem. 11. Anais. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiros (FEALQ), Piracicaba. p. 153-208.

## **CAPITULO 16**

# **Sistemas Mejorados Arroz-Pasturas para Sabana Nativa y Pasturas Degradadas en Suelos Acidos de América del Sur**

*J. I. Sanz\*, R. S. Zeigler\*\*, S. Sarkarung\*\*,  
D. L. Molina\* y M. Rivera\**

## **Contenido**

Resumen	233
Abstract	233
Introducción	234
Metodología de Trabajo	235
Localización y suelos	235
Siembra	235
Fertilización	236
Tratamientos y diseño experimental	236
Resultados	237
Experimento 1	237
Experimento 2	238
Experimento 3	239
Experimento 4	240
Experimento 5	240
Discusión	241
Referencias	243

---

\* Respectivamente: Investigador Principal, y Asistentes de Investigación del Programa de Trópico Bajo, CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

\*\* Respectivamente: Líder y Mejorador del Programa de Arroz para Ecosistemas de Tierras Bajas del International Rice Research Institute (IRRI), P.O. Box 933, Manila, Filipinas.

## Resumen

El sistema de cultivos anuales en forma continuada en el ecosistema Sabana de América del Sur ha sido cuestionado a largo plazo. Por otra parte, las pasturas mejoradas gramíneas-leguminosas, aunque protegen el suelo, tienen costos de establecimiento que van más allá de las posibilidades del promedio de los productores. En esta región, caracterizada por suelos ácidos de baja fertilidad, existen más de 15 millones de hectáreas en pasturas de *Brachiaria* sp. en estado avanzado de degradación. La recuperación de estas pasturas como un sistema de sólo gramínea no es atractivo, debido al largo tiempo que debe transcurrir antes de que el productor reciba algún retorno económico por la inversión necesaria en insumos. La siembra de líneas adaptadas de arroz (*Oryza sativa*) en asociación con mezclas de gramíneas-leguminosas seleccionadas para este ambiente, en zonas con pasturas degradadas y como parte de un sistema de cultivo, permite obtener altas producciones de arroz (más de 3 t/ha), a la vez que se logra el establecimiento de una nueva pastura o la recuperación de una ya degradada y el aprovechamiento del fertilizante residual como un mejorador químico de la fertilidad del suelo. Se encontró que las pasturas extraen una cantidad considerable de P, K, Ca y Mg, lo que sugiere que estos nutrientes son retenidos dentro del sistema. La quema de la sabana nativa, seguida por una preparación temprana del suelo al comienzo de la época seca, resultó en una mayor producción de arroz y en una menor invasión de malezas, en comparación con la preparación del suelo inmediatamente antes de la siembra al inicio de las lluvias. El suministro de nitrógeno por las leguminosas presentes en pasturas asociadas cultivadas anteriormente contribuyó de manera significativa al incremento de la producción de arroz. Después de la cosecha de arroz, la pastura recuperada quedó lista para pastoreo con animales. Las leguminosas forrajeras también se pueden sembrar al mismo tiempo con el arroz sobre las pasturas degradadas, y cuando se establecen bien mejoran la calidad de las pasturas y finalmente la calidad del suelo. Los factores que contribuyen a la degradación de las pasturas probablemente afectarán la producción de arroz. El retorno económico de la cosecha de arroz permite corregir los desbalances y deficiencias en el suelo sin asumir grandes riesgos.

## Abstract

Long-term, continuous cultivation of annual crops in the South American savannas is questionable, and, although improved grass/legume pastures protect the soil, their establishment costs are far beyond the reach of the average farmer. Within this region, characterized by low-fertility acid soils, more than 15 million hectares are under highly degraded *Brachiaria* pastures. Reclaiming these pastures as pure-grass systems is impractical because of the length of time farmers must wait to recover the investment made in inputs. More profitable is to plant adapted rice (*Oryza sativa*) lines in association with grass/legume mixtures (selected specifically for this environment) in areas under degraded pastures. Rice yields can be more than 3 t/ha, and, at the same time, either a new pasture is established or the old degraded pasture is reclaimed and the residual fertilizer from the crop improves soil fertility. Pastures extract considerable amounts of P, K, Ca, and Mg, indicating that these nutrients remain within the system. The burning of native savannas, followed by early land preparation at the beginning of the dry season, increases rice production and reduces weed incidence, as compared with preparing land immediately before planting, at the beginning of rainy season. The nitrogen supplied by legumes in the previously planted pasture association contributes significantly to the increase in rice production. After the rice harvest, the reclaimed pasture is ready for grazing. Forage legumes alone can also be

planted simultaneously with rice on degraded pastures. Once these legumes are well established, pasture quality and, ultimately, soil quality improves. Factors contributing to pasture degradation will probably affect rice production. Soil imbalances and deficiencies can be corrected with inputs bought with the income from the rice harvest, without farmers having to assume large risks.

## Introducción

En el ecosistema Sabana de América del Sur existen aproximadamente 250 millones de hectáreas de suelos ácidos (Oxisoles), de los cuales 16 millones se encuentran en Colombia (Cochrane et al., 1985), siendo, la mayoría de ellos, adecuados para cultivos anuales o para el establecimiento de pasturas mejoradas. Como resultado de presiones económicas y de población, actualmente existe la necesidad de intensificar la producción agrícola mediante la transformación de la sabana nativa en cultivos anuales o pasturas mejoradas. El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), conjuntamente con instituciones nacionales de investigación y extensión, han venido desarrollando en los últimos 15 años sistemas agrícolas mejorados para este ambiente (Zeigler y Toledo, 1993); no obstante, es posible que estos sistemas puedan llegar a ser no-sostenibles. Por ejemplo, después de 3 años de cultivo continuo de arroz de secano, la producción disminuye hasta niveles que no son económicamente sostenibles debido a problemas por competencia de malezas y reducción de las bajas reservas de nutrimentos en el suelo (Seguy et al., 1988). De esta misma manera, el cultivo continuo de otras plantas anuales como maíz y soya resulta en serios problemas de erosión. Por otra parte, las pasturas de sólo gramíneas tienden a degradarse después de varios años de pastoreo, sino se fertilizan adecuadamente (Buschbaker, 1986; Uhl y Buschbaker, 1985; Vera y Seré, 1985).

Algunas pasturas asociadas de gramíneas y leguminosas se comportan bien bajo las condiciones comunes en explotaciones comerciales de la región. Sin embargo, existen limitaciones económicas para su establecimiento o recuperación una vez degradadas. Estas pasturas requieren un mínimo de inversión en capital —en preparación de suelos, fertilizantes y semillas— para su adecuado establecimiento o recuperación y, generalmente, los productores no desean invertir lo suficiente en estas prácticas (Vera y Seré, 1985). Cuando las pasturas tienen una leguminosa forrajera entre sus componentes y ésta ha sido bien manejada, se espera que el arroz se beneficie al convertir el aumento en el contenido de nitrógeno en el suelo en una mayor producción. En el caso de las pasturas degradadas, se espera que el fertilizante agregado al cultivo de arroz estimule el crecimiento del banco de semillas en el suelo y permita la incorporación de una leguminosa en el sistema.

El presente capítulo se dividió en dos componentes: (1) uso de un cultivo de arroz de secano para establecer una pastura mejorada gramínea-leguminosa en sabana nativa; y (2) uso de un cultivo de arroz de secano y un componente de leguminosa para recuperar pasturas degradadas.

El primer objetivo consistió en determinar si en un Oxisol ácido era posible establecer, en forma exitosa y permanente, una pastura de gramíneas más leguminosas mejoradas, cuando se cultivan en asociación con arroz de secano. En el segundo objetivo se trató

de identificar el mejor método para establecer la mezcla gramínea-leguminosa-arroz de secano en sabana nativa o en pasturas degradadas. El procedimiento empleado consistió en establecer, tanto el arroz en monocultivo como la mezcla, en parcelas de campo mayores que 2500 m<sup>2</sup> para comparar la producción de los componentes de la segunda (arroz en grano y materia seca de la pastura) 1 año después de la siembra.

## **Metodología de Trabajo**

### ***Localización y suelos***

Para cumplir con el primer objetivo del estudio, se condujeron dos experimentos (experimentos 1 y 2) en la Finca Matazul, localizada a 40 km al oriente del Municipio de Puerto López, en el departamento del Meta (Colombia). La finca está localizada a 4° 19' norte y 72° 39' oeste; a 160 m.s.n.m.; con una temperatura, promedio anual, de 27 °C y 2200 mm de precipitación. La época seca se extiende entre diciembre y marzo seguida de una época lluviosa de forma bimodal. En julio y agosto normalmente ocurren períodos secos de corta duración —entre 1 y 2 semanas. Los suelos son Oxisoles (Tropéptic haplustox isohyperthermic) con pH de 4.5 y baja disponibilidad (meq/100 g) de Ca (0.2), Mg (0.08), K (Bray 2) (0.1) y P (Bray 2) (2 mg/g) y una saturación de Al mayor que 80%. En ambos experimentos se quemó la sabana nativa y e inmediatamente después se preparó el suelo para la siembra de las asociaciones arroz-pastura.

Para el segundo objetivo se realizaron tres experimentos (denominados experimentos 3, 4 y 5 en este capítulo). El experimento 3 se realizó en la estación CIAT-Carimagua, localizada en los Llanos Orientales de Colombia a 4° 36' norte y 71° 19' oeste,

a 175 m.s.n.m. El suelo en el sitio experimental es ultic haplustox de arcilla caolinítica fina. Los experimentos 4 y 5 se realizaron, respectivamente, en las fincas Santa Cruz y El Tigrillo, localizadas aproximadamente a 195 y 200 km al oeste de la estación CIAT-Carimagua, bajo condiciones ecológicas similares. Los valores del análisis de suelos para los tres sitios se encuentran en los rangos siguientes: pH 4.2-4.5; P disponible 1.5-2.0 mg/g; y K, Ca y Mg (meq/100 g) = 0.06-0.10, 0.15-0.20 y 0.06-0.08, respectivamente. La capacidad efectiva de intercambio de cationes tiene entre 80% y 90% de saturación de Al.

### ***Siembra***

En todos los experimentos, para la siembra de arroz en monocultivo, el suelo se preparó en surcos distanciados 17 cm y para la siembra de las asociaciones la preparación se hizo a 34 cm, con el fin de evitar la competencia por las pasturas. Para la siembra de las gramíneas y las leguminosas (experimentos 1 y 2), las semillas se esparcieron a voleo inmediatamente antes de sembrar el arroz. En los experimentos 3, 4 y 5 no se utilizaron semillas de las gramíneas, sino que éstas se restablecieron a partir del banco de semillas y estolones presentes en el suelo.

Para la siembra de los experimentos 1 y 3 se utilizaron 60 kg/ha de semilla de la línea de arroz CT 6196-33-11-1-3 (Línea 3, la más avanzada en 1989 por resistencia a enfermedades). En el experimento 2 se utilizaron 80 kg/ha de la línea CT 6947-7-1-1-1-7-M (Línea 6, con características similares a las de Línea 3, en 1990). En los experimentos 4 y 5 se utilizaron 80 kg/ha de la línea CT 7244-9-2-1-52-1 (Línea 23, que resultó igualmente resistente a enfermedades en 1991).



En los experimentos 2 y 4 (como un tratamiento) y en el experimento 5, la preparación temprana del suelo consistió en la quema de la vegetación seguida de dos pases de arado de cincel rígido a 40 cm de profundidad en el suelo. Estas labores se hicieron al inicio de la época seca (al inicio de diciembre), seguidas de una preparación tardía posterior. En estos mismos experimentos (2 y 4) (como un tratamiento) y en los experimentos 1 y 3, la preparación del suelo consistió en la quema de la vegetación —si no se había hecho previamente una preparación temprana— seguida de dos pases de rastrillo de disco para destruir los agregados grandes en el suelo e incorporar los fertilizantes aplicados a voleo 2 semanas antes de la siembra, al inicio de las lluvias en mayo. La cosecha de arroz se hizo a fines de agosto.

### **Fertilización**

Cuando los nutrimentos no fueron parte de los tratamientos, la fertilización básica (kg/ha) consistió en: N (80-urea) (30 kg a los 25 días; 20 kg a los 40 días; y 30 kg a los 60 días después de la siembra); P (50) (25 kg como roca fosfórica Huila y 25 kg como superfosfato triple (SFT), excepto para el tratamiento 2, donde sólo se aplicó SFT); K (100-KCl) (en tres aplicaciones de 30, 50 y 20 kg al mismo tiempo de la aplicación de N); Zn (5-ZnSO<sub>4</sub>) (excepto en los experimentos 1 y 3); y 300 kg/ha de cal dolomítica (31.3% de Ca y 4.7% de Mg) al voleo e incorporada con el último pase de rastrillo 2 semanas antes de la siembra. El P en los experimentos 1 y 3 se aplicó a voleo y se incorporó antes de la siembra. El P y el Zn en los experimentos 4 y 5 se aplicaron con la semilla al momento de la siembra. La roca fosfórica Huila es una apatita con solubilidad media en citrato de amonio a pH 7.0 y con un contenido de P de 8% (Chien y Hammond, 1988).

### **Tratamientos y diseño experimental**

Los experimentos 1 y 3, en cada uno de los tres sitios seleccionados, y el experimento 5 se dispusieron en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones. En los experimentos 2 y 4 se utilizó un diseño de parcelas divididas con tres repeticiones.

En el experimento 1, arroz vs. asociaciones arroz-pasturas después de sabana nativa (1989), se incluyeron tres tratamientos, cada uno de ellos en nueve parcelas de 100 m x 100 m. La Línea 3 de arroz se sembró en todas las parcelas, sola o en asociación con dos mezclas de gramíneas-leguminosas: *Andropogon gayanus* cv. Carimagua-1/ *Stylosanthes capitata* cv. Capica o *Brachiara dictyoneura* cv. Llanero/ *Centrosema acutifolium* cv. Vichada. Las tasas de siembra de *A. gayanus*, *B. dictyoneura*, *S. capitata* y *C. acutifolium* fueron de 10, 3, 3 y 4 kg/ha, respectivamente.

En el experimento 2, efecto de la época de preparación del suelo y el método de aplicación del fertilizante en el establecimiento y producción de arroz en monocultivo y asociado con pasturas después de sabana nativa (1990), las parcelas principales consistieron en las preparaciones temprana y tardía del suelo; las subparcelas fueron arroz en monocultivo (Línea 6), arroz + (*B. dictyoneura* + *C. acutifolium*) y arroz + (*A. gayanus* + *S. capitata*); y las sub-subparcelas la aplicación de fertilizantes con la semilla o a voleo. Las parcelas principales medían 150 m x 150 m, las subparcelas 50 m x 100 m y las sub-subparcelas 25 m x 100 m. Estas últimas se dispusieron a lo largo del campo para facilitar el laboreo mecánico. El área total fue de 9 ha y la tasa de siembra fue igual a la utilizada en el experimento 1.

Para el experimento 3, arroz en pasturas de gramíneas-leguminosas y en pasturas de sólo gramíneas (1989), se seleccionaron tres sitios adyacentes cultivados previamente con tipos diferentes de pasturas:

(1) *B. decumbens* + *P. phaseoloides* con 10 años de establecida;  
(2) *B. decumbens* sola, con 10 años de establecida; y (3) sabana nativa. En cada pastura se aplicaron como tratamientos dos niveles de P y tres de N (P x N) en parcelas de 400 m<sup>2</sup>. Los niveles de P fueron 25 y 50 kg/ha (50% SFT + 50% roca fosfórica Huila). Los niveles de N (urea) fueron 0 y 40 kg/ha aplicados en dosis de 15, 10 y 15 kg/ha a los 25, 40 y 60 días después de la siembra, respectivamente; y 80 kg/ha de N distribuidos en dosis de 30, 20 y 30 kg/ha con la misma frecuencia de la aplicación anterior.

En el experimento 4, recuperación de pasturas degradadas de *B. decumbens* con cultivo de arroz y pasturas de leguminosas (1990), las pasturas degradadas de *B. decumbens* tenían 10 años de establecidas y habían sido manejadas con mínimo uso de rastrillo para remover el suelo y sin aplicación de fertilizantes. Las parcelas principales fueron las preparaciones temprana y tardía del suelo, y las subparcelas con y sin la siembra por semillas de *S. capitata* (3 kg/ha) + *C. acutifolium* (4 kg/ha). Las parcelas principales median 100 m x 100 m y las subparcelas 100 m x 50 m para un área total de 6 ha.

En el experimento 5, recuperación de pasturas degradadas de *B. humidicola* utilizando cultivo de arroz con y sin leguminosas (1991), debido a la rusticidad y agresividad de esta especie no es fácil encontrarla en estado degradado. No obstante, para este experimento fue posible encontrar una pastura de *B. humidicola* ligeramente degradada con alto porcentaje de malezas debido al sobrepastoreo y a la falta de descanso

adecuado. Los tratamientos consistieron en la siembra o no de *Arachis pintoi* (4.5 kg/ha) + *Desmodium ovalifolium* (1.3 kg/ha). El tamaño de las parcelas era de 150 m x 50 m para un área total de 4.5 ha.

En todos los experimentos se midieron la emergencia de plantas a los 20 días después de la siembra, la producción de M.S. de arroz (grano + tamo) y la biomasa en la parte aérea de las pasturas asociadas (gramíneas + leguminosas + malezas). Estas mediciones se hicieron en ocho sitios de 1 m x 1 m localizados al azar en cada parcela. La producción de grano de arroz comercial en el total del área experimental se determinó usando una cosechadora tipo combinada. El pH y los contenidos en el suelo de P, K, Mg, Al, Zn, Cu, S, B y M.O. en cada tratamiento se determinaron antes de la aplicación de los fertilizantes y después de la cosecha de arroz, mediante la mezcla de varias submuestras de cada replicación. De manera similar, se determinó el contenido de los nutrientes: proteína cruda, P, B, K, Ca, Mg, S y Zn en muestras de planta en cada tratamiento.

## Resultados

### Experimento 1

La nueva línea 3 de arroz seco presento una buena producción (más de 2 t/ha) cuando creció con una aplicación moderada de fertilizantes, y no mostró una reducción significativa de la producción cuando creció asociada con pasturas tropicales mejoradas en Oxisoles ácidos de baja fertilidad (Cuadro 1). Las malezas, un problema importante en sistemas de pasturas, aparecieron en todos los tratamientos, probablemente como resultado de la mayor fertilidad en este nuevo sistema o de su introducción en las semillas de arroz o de pasturas.

Cuadro 1. Producción de arroz paddy (14% de humedad) de la Línea 3 y biomasa de pasturas, en cultivos de arroz en monocultivo y asociado con pasturas. Finca Matazol, Llanos Orientales de Colombia, 1989.

Tratamiento <sup>a</sup>	Arroz (t/ha)	Gramínea	Leguminosa	Maleza
		(M.S., t/ha)		
Arroz en monocultivo	2.23 a*	—	—	0.65 a
Arroz + Bd-Ca	2.09 a	1.22 a	0.21 b	0.67 a
Arroz + Ag-Sc	1.960 a	1.77 a	0.44 a	0.43 a
DMS <sub>0,05</sub>	0.52	0.59	0.14	0.22

a. Arroz línea CT 6196-33-11-1-3 (no. 3). Bd = *Brachiaria dictyoneura*; Ca = *Centrosema acutifolium*; Ag = *Andropogon gayanus*; Sc = *Stylosanthes capitata*.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

El cálculo de la absorción de nutrimentos por unidad de área en la biomasa aérea muestra que el cultivo de arroz fue el principal extractor entre las especies, pero también sugiere que las pasturas compiten con él, particularmente por P, K y Mg (Figura 1), aunque sin afectar su producción de grano. En general, la pastura *A. gayanus* + *S. capitata* absorbió más P, K, Ca y Mg que la pastura *B. decumbens* + *C. acutifolium*. Los análisis de suelos indicaron que los contenidos de P, K, Ca y Mg fueron mayores después de la cosecha (Cuadro 2), excepto el Zn que se había reducido significativamente. Aparte de Zn, los suelos después de la primera cosecha de arroz fueron químicamente mejores que los de la sabana nativa original, las pasturas se desarrollaron bien con la fertilidad residual y estuvieron listas, inicialmente, para pastoreo ligero y, posteriormente, para uso permanente.

## Experimento 2

Con la preparación temprana del suelo, la producción de arroz en todos los tratamientos aumentó 1 t/ha, en comparación con la preparación tardía (Cuadro 3). En monocultivo, la

producción de arroz fue mayor cuando el fertilizante se aplicó a voleo con la preparación temprana, pero no se encontraron diferencias cuando la aplicación se hizo con la preparación tardía. En la asociación con pasturas,

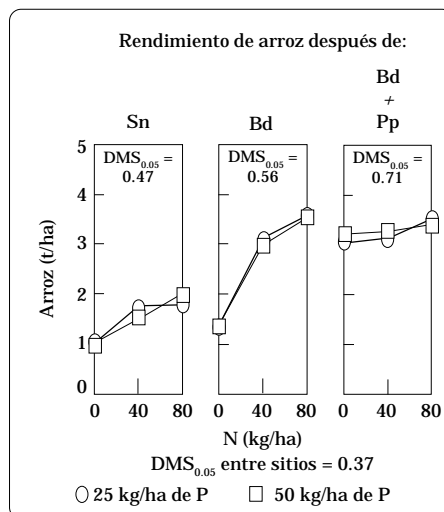


Figura 1. Establecimiento y producción de arroz cultivado en una pastura de *Brachiaria decumbens* después de 10 años de establecida. CIAT-Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, 1989. (Sn = sabana nativa; Bd = *B. decumbens*; Bd + Pp = *B. decumbens* + *Pueraria phaseoloides*.)

Cuadro 2. Estado de disponibilidad de los nutrientes en el suelo (kg/ha) antes y después de un cultivo de arroz en sistemas de arroz-pasturas para el establecimiento de estas últimas. Finca Matazul, Llanos Orientales de Colombia, 1989.

Estado del suelo <sup>a</sup>	P	K	Ca	Mg	Zn
Antes del cultivo de arroz	3.2	54.6	68.0	14.4	0.74
Después del cultivo de arroz	9.1	67.1	112.0	31.2	0.46
Después del cultivo de arroz + Bd-Ca	11.8	89.2	124.0	28.8	0.42
Después del cultivo de arroz + Ag-Sc	19.6	70.2	116.0	28.8	0.42

a. Bd = *B. dictyoneura*; Ca = *C. acutifolium*; Ag = *A. gayanus*; Sc = *S. capitata*.

Cuadro 3. Efecto de la época de preparación del suelo (temprana o tardía) y el método de aplicación del fertilizante (a voleo o con la semilla) en el establecimiento y producción de sistemas arroz-pasturas. Finca Matazul, Llanos Orientales de Colombia, 1990.

Tratamiento <sup>a</sup>	Preparación temprana				Preparación tardía			
	Arroz <sup>b</sup>	Gram.	Leg.	Maleza	Arroz	Gram.	Leg.	Maleza
	(M.S., t/ha)				(M.S., t/ha)			
Arroz en monocultivo								
S	2.87 b*	—	—	0.02 b	2.05 a*	—	—	0.25 c
V	3.07 a	—	—	0.03 ab	1.92 a	—	—	0.48 a
Arroz + Bd-Ca								
S	2.51 c	0.41 c	0.08 a	0.04 ab	1.89 a	0.81 a	0.13 c	0.18 d
V	2.22 d	0.54 c	0.08 a	0.10 a	1.44 b	1.19 a	0.14 bc	0.38 b
Arroz + Ag-Sc								
S	2.31 d	1.24 b	0.06 a	0.01 b	1.58 b	1.01 a	0.19 b	0.17 d
V	1.88 e	2.53 a	0.08 a	0.03 b	0.99 c	1.51 a	0.31 a	0.339 b
DMS <sub>0.05</sub>	0.18	0.67	0.05	0.07	0.18	0.71	0.05	0.075

a. Arroz línea CT 6947-7-1-1-1-7-M (no. 6). S = fertilizante aplicado con semillas; V = fertilizante aplicado a voleo; Bd = *B. dictyoneura*; Ca = *C. acutifolium*; Ag = *A. gayanus*; Sc = *S. capitata*.

b. Arroz paddy corregido a 14% de humedad.

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

la aplicación del fertilizante con la semilla siempre resultó en producciones significativamente más altas de arroz (Cuadro 3). La producción de MS de las malezas fue menor en esta última forma de aplicación del fertilizante, en comparación con la aplicación a voleo en la preparación tardía del suelo (Cuadro 3).

### Experimento 3

La producción de arroz sembrado después de *B. decumbens* + *P. phaseoloides* produjo más de 3 t/ha (Figura 1) en todos los tratamientos, inclusive en aquellos que no recibieron N, o que sólo recibieron 25 kg/ha; no obstante, cuando se duplicó la dosis de P (50 kg/ha) no se encontró efecto sobre

la producción. Cuando la aplicación de N se aumentó de 0 a 80 kg/ha, la producción de arroz aumentó en 0.5 t/ha. La siembra de arroz en pasturas de sólo *B. decumbens* sin aplicación de N, tanto con 25 kg/ha como con 50 kg/ha de P, dio bajos rendimientos de arroz paddy (1.3 t/ha). No obstante, la aplicación de 40 kg/ha de N incrementó la producción a 3 t/ha, y la aplicación de 80 kg/ha la aumentó en 0.5 t/ha más. No se encontraron diferencias en la producción de arroz como resultado de la aplicación de dosis diferentes de P. La producción de arroz sembrado después de la sabana nativa fue baja (menos de 2 t/ha), siendo inferior a la alcanzada con la siembra de arroz después de pasturas mejoradas. El análisis inicial de los suelos en los tres sitios mostró que el estado del K, el Ca y el Mg fue mayor en las pasturas mejoradas que en la sabana nativa.

#### **Experimento 4**

Los resultados en este experimento (Cuadro 4) nuevamente muestran una alta producción para la Línea 23 de arroz (más de 3.4 t/ha) y una buena recuperación de las pasturas

degradadas. No se encontraron diferencias entre los tratamientos de preparación temprana y tardía del suelo, con o sin la introducción de leguminosas forrajeras.

Durante la preparación temprana, la quema de la gramínea fue difícil por la falta de material vegetal en la pastura degradada. Al momento de la cosecha de arroz, la pastura de *B. decumbens* se encontraba recuperada y lista para pastoreo. Las leguminosas se encontraban en las mismas condiciones que las gramíneas y el estado de las asociaciones gramíneas-leguminosas era excelente, siendo su relación (M.S.) 1.5:1 y 1.8:1.

Los análisis de suelos antes del experimento y después de la cosecha de arroz (Cuadro 5) mostraron que los niveles de los nutrimentos no fueron afectados por la fertilización aplicada al cultivo, en contraste con la pastura de 10 años bien fertilizada (ver experimento 3 anterior).

#### **Experimento 5**

Inicialmente, el arroz presentó un crecimiento pobre con síntomas foliares

Cuadro 4. Producción de arroz y de M.S. (t/ha) de pasturas y malezas en la recuperación de pasturas degradadas de *Brachiaria decumbens*. Finca Santa Cruz, Llanos Orientales de Colombia, 1990.

Tratamiento	Arroz <sup>a</sup>	<i>B. decumbens</i>	<i>C. acutifolium</i>	<i>S. capitata</i>	Malezas
Preparación temprana					
Con leg.	3.56 a*	0.44 a	0.11 a	0.17 a	0.093 a
Sin leg.	3.64 a	0.68 a	—	—	0.14 a
Preparación tardía					
Con leg.	3.48 a	0.53 a	0.11 a	0.17 a	0.25 a
Sin leg.	3.40 a	0.74 a	—	—	0.19 a
DMS <sub>0.05</sub>	0.57	0.29	0.06	—	0.22

a. Arroz línea CT 7244-9-2-1-52-1 (no. 23).

\* Promedios en una misma columna seguidos por letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

Cuadro 5. Estado de disponibilidad de los nutrientes en el suelo (kg/ha) antes y después de un cultivo de arroz en la recuperación de pasturas degradadas de *Brachiaria decumbens*. Finca Santa Cruz, Llanos Orientales de Colombia, 1990.

Estado del suelo	P	K	Ca	Mg	S	Zn
Antes del cultivo	6.6	31.2	152.0	12.0	22.7	0.42
Después del cultivo	4.6	46.8	120.0	16.8	21.8	1.12
Después del cultivo arroz + <i>S. capitata-C. acutifolium</i>	6.6	54.6	176.0	19.2	33.4	0.74

de deficiencia severa de Mg; no obstante, *B. humidicola* se desarrolló bien. Los análisis de suelo (0.11 y 0.06 meq/100 g de Ca y Mg, respectivamente) y de tejido (0.21% de Ca y 0.04% de Mg) confirman la deficiencia de Mg en el cultivo de arroz, así como bajos niveles de Ca. Cuando se aplicaron 135 kg/ha de Ca y

160 kg/ha de Mg como cloruros en un tratamiento adicional en una parcela aparte, se observó una buena recuperación del cultivo de arroz. La producción de arroz con este tratamiento adicional fue el doble de la obtenida sin dicha aplicación (Figura 2), a pesar del crecimiento vigoroso de *B. humidicola*. Tanto esta especie como las leguminosas se establecieron bien y se continuaron evaluando en pastoreo.

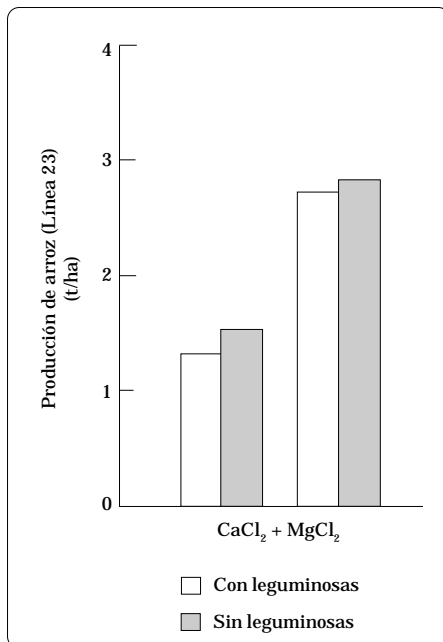


Figura 2. Producción de arroz sembrado con y sin leguminosas forrajeras en una pastura degradada de *Brachiaria humidicola*. Finca El Tigrillo, Llanos Orientales de Colombia, 1991.

## Discusión

En asociación con pasturas y con aplicación de cantidades moderadas de insumos es posible obtener altas producciones de arroz (entre 2 y 3 t/ha). En las pasturas establecidas en forma simultánea con arroz, se obtuvieron producciones entre 0.41 y 2.54 t/ha de M.S. para la gramínea y entre 0.07 y 0.44 t/ha de M.S. para la leguminosa, sin afectar los rendimientos del arroz. El establecimiento de las asociaciones arroz-pasturas permite mantener un bajo nivel de malezas y asegurar la cobertura del suelo a través del año. En trabajos anteriores (CIAT, 1989) se encontró que, con la preparación temprana del suelo, es posible obtener dos veces más producción de arroz que con la preparación tardía. En el experimento 2, el efecto de la preparación temprana del suelo, en adición de la supresión de malezas, se debió al aumento en la liberación de K<sup>+</sup>

y  $\text{NH}_4^+$  a partir de Al-clorita/Al-vermiculita después del secado y el humedecimiento que siguen a la cosecha (Sanz y Rowell, 1988; Sylvester-Bradley et al., 1988).

En este trabajo existió un efecto confundido de componentes en el tratamiento de preparación temprana del suelo: fuego y arado de cincel. Actualmente se conducen experimentos para separar los efectos individuales de estos componentes y para evaluar alternativas de quema. La densidad de plantas en la pastura puede tener un efecto negativo en el desarrollo y producción del cultivo de arroz, particularmente si aquella es alta en el estado inicial del cultivo. En el experimento 1 —arroz + *B. decumbens*/*C. acutifolium* y arroz + *A. gayanus*/*S. capitata*— el promedio de la germinación de los componentes de la pastura fue, respectivamente, de 0.6 y 0.9 plantas/m<sup>2</sup>, 20 días después de la siembra. En el experimento 2 para tratamientos equivalentes con preparación tardía del suelo, este promedio fue de 13.9 y 18.2 plantas/m<sup>2</sup>. En este último, la producción de arroz fue más baja que en el anterior experimento y la producción de las pasturas al momento de la cosecha (Cuadros 1 y 3) no fue afectada por las densidades iniciales de planta.

Las pasturas mejoradas pueden ser aradas, y en forma espontánea se restablecen cuando se asocian con arroz. La producción de arroz después de la siembra de pasturas mejoradas (3.5 t/ha) puede ser aún mayor que después de sabana nativa; esto puede ocurrir inclusive sin la aplicación de N, después de pasturas de gramíneas-leguminosas. En todos los casos, ocurrió el restablecimiento de las pasturas asociadas.

La absorción de nutrimentos por el arroz se redujo cuando éste se sembró en asociación con pasturas en sabana nativa. No obstante, la competencia

por P, Mg y Zn puede limitar la producción bajo estas condiciones. Sin embargo, después del cultivo de arroz y arroz-pasturas, en ambos años los niveles de Ca y Mg en el suelo permanecieron más altos que los iniciales. El P y el K fueron altos después del primer año de cosecha, pero permanecieron en el mismo nivel en el segundo año. Esto indica que después de la cosecha de arroz queda una fertilidad residual significativa que pueden aprovechar las pasturas. Aunque las bajas reservas de P, K y S sugieren que las pasturas se pueden degradar rápidamente, a menos que se reduzca la competencia inicial. El Zn, que es muy bajo en estos suelos, fue altamente absorbido por el arroz y fue necesario aplicarlo en el segundo año.

La contribución de N por la leguminosa en este trabajo se refiere a una asociación gramínea-leguminosa de 10 años. En trabajos realizados en CIAT-Carimagua (CIAT, 1992) utilizando la productividad de las pasturas y el contenido de leguminosas en *B. decumbens* solo y asociado con *P. phaseoloides*, se estimó que entre 80% y 90% del beneficio potencial de esta leguminosa, en términos de fijación de N, se obtiene entre los años 3 y 5. Esto indica que no es necesario esperar 10 años para alcanzar este importante beneficio económico.

El alto beneficio en el corto término de un cultivo anual puede combinarse con la productividad a largo plazo y el mejoramiento de las propiedades del suelo que proporcionan los sistemas pasturas de gramíneas-leguminosas. El sistema arroz-pasturas mejora el estado de los nutrimentos en el suelo mediante la aplicación directa en forma de fertilizantes de los elementos más importantes, la fijación de N por las leguminosas y la M.O. resultante de la acumulación de la abundante biomasa de la pastura asociada. Las alternativas de producción: cultivo anual y pastura permanente, pueden

beneficiarse mutuamente; así, en las zonas ganaderas donde previamente no fue posible cultivar, se pueden utilizar las nuevas líneas de arroz seco desarrollado y adaptadas a estos suelos ácidos de baja fertilidad, lo que representa nuevas opciones de producción.

El tamaño extenso de las parcelas utilizadas en este trabajo en combinación con los niveles de producción comercial indican que el sistema es posible, e igualmente, lo es a nivel comercial la cosecha con combinada del arroz en presencia de la mezcla gramínea-leguminosa. Este experimento en gran escala también permite la realización de estudios a largo plazo bajo condiciones reales de sistemas de producción, con el fin de establecer, documentar y evaluar los determinantes de sostenibilidad de una manera práctica y directa.

La riqueza de especies en los bosques de galería en la sabana nativa (Burman, 1991) y su belleza natural hacen de ellos un recurso natural invaluable. Las alternativas de manejo sostenible pueden ayudar a estabilizar la producción en las áreas abiertas ya existentes. Se requiere el desarrollo de sistemas agrícolas y de políticas apropiadas para asegurar la conservación de las reservas existentes alrededor de la sabana nativa y para la expansión de la frontera agrícola sin alterar el ambiente.

## Referencias

- Burman, A. 1991. Saving Brazil's savannas. *New Scientist* 2:30-34.
- Buschbaker, R. J. 1986. Tropical deforestation and pasture development. *Bioscience* 36:22-28.

- Chien, S. H. y Hammond, L. L. 1988. Agronomic evaluation of partially acidulated phosphate rocks in the tropics. IFDC's experience. Paper Series (International Fertilizer Development Center), IFDC-P-7. 10 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1989. Annual Report, Rice Program. For internal circulation and discussion only. Cali, Colombia. 402 p.
- \_\_\_\_\_. 1992. Pastures for the tropical lowlands, CIAT's contribution. Cali, Colombia. 136 p.
- Cochrane, T. T.; Sánchez, L. G.; Porras, J. A.; Azevedo, L. G. De; y Garver, C. L. 1985. Land in tropical America. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria, Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, D.F. Brasil. 146 p.
- Salinas, J. G. y García, R. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Pastos Tropicales, Cali, Colombia. 83 p.
- Sanz, J. I. y Rowell, D. L. 1988. The use of feldspars as potassium fertilizers in the savannah of Colombia. *Fert. Res.* 17:71-82.
- Seguy, L.; Bouzinac, S.; Pacheco, A.; Carpenedo, V.; y Da Silva, V. 1988. Perspectiva de fixação da agricultura na região centro-norte do Mato Grosso. EMPA-MT, EMBRAPA (CNPAP), CIRAD-IRAT. 52 p.
- Sylvester-Bradley, R; 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.



- Uhl, C. y Buschbaker, R. 1985. A disturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective tree harvesting in eastern Amazonia. *Biotropica* 17:265-268.
- Vera, R. y Seré, C. 1985. Sistemas de producción pecuaria extensiva; Brazil, Colombia, Venezuela. Informe Final de Proyecto ETES (Estudio Técnico y Económico de Producción Pecuaria). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 538 p.
- Zeigler, R. S. y Toledo, J. M. 1993. Sustainable agricultural production systems for the acid soil savannas of Latin America. En: International Symposium on Agroecology and Conservation Issues in Temperate and Tropical Regions. 26-29 September, Padova, Italia.

## CAPITULO 17

# Sistemas Integrados de Producción Agropastoril

*A. H. Zimmer, M. C. M. Macedo, A. N. Kichel y  
V. P. B. Euclides\**

## Contenido

Resumen	246
Abstract	246
Introducción	246
Los Cerrados en Brasil	247
Características de la producción	247
Características edáficas y de clima	250
Problemas del Monocultivo	252
Las pasturas degradadas	252
La agricultura como agente de degradación	254
Alternativa para Integración Agricultura-Ganadería	256
Pasturas asociadas con cultivos anuales	256
Forrajeras Anuales en Areas de Cultivos	269
Utilización de Residuos de Cultivos	272
Suplementación en Pastoreo	273
Confinamiento	275
Aspectos Socioeconómicos	277
Necesidades de Investigación	278
Agradecimientos	281
Referencias	281

---

\* Investigadores de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (Embrapa Gado de Corte), Caixa Postal 154, 79002-970 Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Brasil.

## **Resumen**

Para el establecimiento de sistemas integrados de producción agropastoril es necesario conocer los factores biológicos y socioeconómicos involucrados en los procesos de producción agropecuaria. Estos deben ser ecológica y socialmente aceptables. La degradación de las pasturas en áreas de Cerrado de Brasil es marcada y cerca del 50% de ellas ya están en proceso de degradación; igualmente con cultivos anuales presentan graves problemas de compactación, erosión y ocurrencia de plagas y enfermedades. Para enfrentar este problema existen varias alternativas en proceso en la región que integran sistemas agrícolas y ganaderos. La introducción de la agricultura en fincas ganaderas ha permitido la transformación de áreas con cultivos anuales en sistemas de rotación con forrajeras como avena y maíz. Los sistemas de suplementación de los animales con pastos en confinamiento al final de la época de ceba, han sido posibles por la producción de granos en las propiedades rurales. Varias de esas prácticas han mostrado viabilidad económica, pero aún es necesario desarrollar investigaciones para perfeccionar estos sistemas, especialmente en relación con las técnicas de control y manejo gerencial que faciliten a los ganaderos el uso y desarrollo de los sistemas integrados agricultura-ganadería.

## **Abstract**

To establish integrated agropastoral production systems, the biological and socioeconomic aspects involved in agricultural production must be understood. These systems must be ecologically and socially acceptable. Pasture degradation is visible in the Brazilian savannas (or "Cerrados"), where about 50% of pastures are degraded. Likewise, croplands present severe problems, particularly soil compaction and erosion, and outbreaks of pests and diseases. These problems can be tackled through various alternatives of integrating crops and livestock production. One alternative is to change from growing annual crops to rotating forages with annual crops such as oat and maize and using crop residues as animal feed. Income from grain production also helps buy dietary supplements for animals being fattened, but confined to pasture. Several of these practices are economically feasible, but further research is needed to perfect them, especially those related to control and management, to encourage ranchers to use and develop integrated crop-and-livestock production systems.

## **Introducción**

Para el establecimiento exitoso de sistemas integrados de producción agropastoril es necesario conocer los factores que los afectan, entre ellos: suelo, clima, cultivos en uso, sistemas, especies animales y tipo de explotación —bovinos de carne o leche, caprinos, ovinos y porcinos. Además de los factores biológicos es importante conocer los socioeconómicos relacionados con mercado, sistemas de transporte, almacenamiento, recursos

financieros disponibles y principalmente el tipo de agricultor o ganadero involucrado en el proceso. El tipo de productor, bien sea agricultor o ganadero, será quien tome la decisión final del sistema a utilizar en función de la disponibilidad de recursos, capacidad de manejo, y gusto por determinado tipo de explotación según posibilidad de mejorar su ingreso.

La necesidad de resolver los problemas de preservación del medio ambiente y de perfeccionar los sistemas

de producción, posibilita el resurgimiento de sistemas integrados de conservación de suelos en las microcuencas y de rotación de cultivos de grano, o el uso de los sistemas agropastoriles.

El concepto de agricultura sostenible ha sido ampliamente difundido, siendo indispensable que esta sostenibilidad beneficie a toda la sociedad. Según las leyes agrícolas de E.U. (Affin, 1994), la sostenibilidad en la actividad agropecuaria es un sistema integrado de prácticas con vegetales y animales adaptados a las condiciones específicas de cada localidad o región. La sostenibilidad debe cumplir, de manera simultánea y a largo plazo, varios requisitos, entre ellos, satisfacer las necesidades de alimentos y fibra de la población; el mejoramiento de la calidad ambiental y de los recursos naturales; la utilización eficiente de los recursos no-renovables y de los internos o propios de la comunidad, integrando, siempre que posible, ciclos y controles biológicos naturales; la viabilidad económica y el mejoramiento de la calidad de vida de los agricultores y de la sociedad en su conjunto. En otras palabras, la explotación agropecuaria sostenible debe mantener o mejorar la producción, con ventajas económicas para los productores, sin perjuicio para el medio ambiente y en beneficio de toda la sociedad.

No obstante, para que eso ocurra se necesitan estudios más completos sobre sistemas y flujos de producción agropecuaria. En Brasil, estos estudios son escasos y, sólo ahora, están en progreso en EMBRAPA y son temas de enseñanza en algunas universidades.

La mayoría de los sistemas de producción en Brasil fueron desarrollados por los propios productores rurales que, con su creatividad y por necesidades de producción, reunieron y ensamblaron

diversas actividades y tecnologías agrícolas y pecuarias. Muchos de esos sistemas están siendo ejecutados con muy poco control en los flujos de producción y económico y con baja capacidad gerencial. Son escasas las empresas y propiedades rurales en la región de los Cerrados de Brasil que desarrollan sistemas integrados de producción con buen control sobre los datos y con alto nivel gerencial.

En este capítulo se describen algunas de las condiciones de producción en la región de los Cerrados, señalando los problemas y las necesidades de investigación.

## **Los Cerrados en Brasil**

### ***Características de la producción***

El bioma Cerrados está ubicado, en su mayor parte, en la región centro-este de Brasil, que abarca los Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins y Distrito Federal, y posee un área aproximada de 201.7 millones de hectáreas. Según el Censo Agropecuario de 1995, esta región tenía aproximadamente 30.2 millones de hectáreas en pasturas cultivadas y 28.9 en pasturas nativas (IBGE, 1985). En 1994 se estimaba que el área en pasturas cultivadas era entre 45 y 50 millones de hectáreas y los cultivos anuales mecanizados de 11 millones de hectáreas.

La explotación de ese ecosistema, según datos no publicados de Embrapa Cerrados, tendría el siguiente potencial (en millones de hectáreas): 60 para pasturas cultivadas, un área similar para cultivos de secano, 10 para cultivos irrigados, 66 para preservación ambiental y 6 para cultivos permanentes.

Las pasturas cultivadas crecieron sorprendentemente en la década de los 70, pasando de 11 a 29 millones de hectáreas, en 1980. Ese aumento se explica por la introducción de especies del género *Brachiaria* por programas especiales de desarrollo. La tasa de crecimiento actual es menor, pero se estima que es, aproximadamente, entre 600 y 800 mil hectáreas por año. Estos incrementos han ocurrido mediante sustitución de pasturas nativas y de cultivos anuales o perennes, dependiendo de la situación económica de cada microrregión.

El análisis de la evolución del crecimiento de las pasturas cultivadas en la región, permite concluir que éstas se están acercando al límite del área potencial estimada por Embrapa Cerrados. Las pasturas nativas se limitan, cada vez más, a los hábitat de preservación natural, como la región del Pantanal, y áreas de inserción en la Amazonía y en el Semiárido.

Aunque no se tienen datos precisos sobre la importancia relativa de cada una de las especies forrajeras en la composición de las pasturas cultivadas

en el Cerrado, los datos en el Cuadro 1 muestran que las especies de *Brachiaria* constituyen el 85% de ellas (Zimmer et al., 1993).

La utilización de leguminosas forrajeras es difícil de estimar. Se estima que cubren alrededor de 1% a 2% del área total, siendo *Calopogonium mucunoides* la especie más difundida. Recientemente, el Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (Embrapa Gado de Corte) y el Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (Embrapa CPAC) liberaron algunas especies promisorias de *Stylosanthes*, las cuales se encuentran en etapa inicial de multiplicación por el sector privado.

Los estudios de Corrêa (1995) sobre ganadería de carne en la región de los Cerrados de Brasil Central indican que, entre 1970 y 1985, las pasturas nativas y cultivadas pasaron de 59.7 a 85.2 millones de hectáreas y el hato se incrementó de 26.3 a 53.2 millones de cabezas (IBGE, 1985). Es evidente que el mayor incremento porcentual de este último se debió al aumento en el área de pasturas cultivadas.

Cuadro 1. Distribución relativa aproximada de las gramíneas forrajeras más cultivadas en la región de los Cerrados de Brasil, en 1995.

Especies	Distribución (10 <sup>3</sup> ha)	Distribución relativa (%)
<i>Brachiaria decumbens</i>	26.4	55
<i>B. brizantha</i>	9.6	20
<i>B. humidicola</i>	4.32	9
<i>B. ruziziensis</i> , <i>B. dictyoneura</i>	0.48	1
Subtotal	40.80	85
<i>Panicum maximum</i> cv. Colônia comùn	3.84	8
<i>P. maximum</i> cv. Tanzânia, Tobiata, Vencedor	0.96	2
Subtotal	4.80	10
Otros géneros		
<i>Andropogon</i> , <i>Hyparrhenia</i> , <i>Melinis</i> , <i>Cynodon</i>	2.40	5
Total	48.0	100

El crecimiento de las pasturas cultivadas en la década 1970-80 fue entre 57% y 65%, pero disminuyó a 37.9% en el período 1980-85, o sea, que registró una reducción de 26%, aproximadamente (Corrêa, 1995).

No obstante las dificultades para separar el hato que efectivamente se mantiene en pasturas nativas de aquel que se mantiene en pasturas cultivadas, se puede decir que, en promedio, la carga animal es menor que 1 animal/ha en ambos tipos de pasturas. Aunque en la década de los 70 se logró incrementar de manera significativa la productividad de las pasturas, aún no ha sido posible alcanzar por lo menos 1 unidad animal por hectárea (U.A./ha).

Los animales utilizados en la formación de ganado de carne en la región de los Cerrados son, en su mayoría, mezclas de las razas cebuinas con predominancia de la raza Nelore. Más recientemente, debido a los incentivos fiscales para la producción de novillos precoces, se ha observado la expansión de cruces Nelore x razas europeas de diferentes orígenes. La población de este tipo animal es superior 50 millones de animales y representa más de la tercera parte del rebaño nacional.

Según Corrêa (1995), los sistemas de producción predominantes en la región de los Cerrados se basan en la crianza extensiva en sistemas de pasturas. Si se comparan estos sistemas con los de otros países que tienen hatos más pequeños y donde las condiciones agroclimáticas son más adversas que en los Cerrados, se observa que los índices zootécnicos en esta región son bastante modestos. Mientras tanto, se han introducido y adoptado diversas prácticas, por ejemplo, la clasificación del rebaño por categorías, períodos de monta estacional, destete precoz de terneros,

suplementación mineral adecuada y manejo sanitario del rebaño, las que han contribuido a una evolución gradual de estos índices. Los incentivos especiales de crédito, quizás habrían podido favorecer una más rápida evolución de los índices zootécnicos. De cualquier manera, la falta de este crédito y las fallas en los sistemas existentes, han hecho que el sector ganadero se capitalice y sea menos dependiente de las instituciones de crédito, al contrario de lo que ocurre con la agricultura.

El factor más limitativo de la producción sigue siendo la escasez de forraje en el período seco, lo que hace que el ciclo productivo sea más largo. Ese factor retrasa la época de sacrificio de los novillos y la pubertad en las hembras. Los machos se sacrifican entre 3.5 y 4 años de edad con peso vivo de 450 a 480 kg, con un rendimiento de 52% en carcasa (aproximadamente 225 kg). Las terneras, por otra parte, sólo alcanzan la edad para servicio alrededor de los 3 años y, dan la primera cría a los 4 años. La falta de una alimentación adecuada en el período seco ocasiona pérdidas de peso vivo de las vacas lactantes, provocando anestro o ausencia de celo, lo que representa un alto número de vacas con no-preñadas. En esas circunstancias, el promedio de la tasa de natalidad en los hatos es actualmente de 54% con mortalidad de terneros de 6.5% y tasa de destete de 51% (Corrêa, 1995).

Una característica importante de la explotación pecuaria en esta región es el aumento en la caída de los índices de producción en años recientes. Tal situación sugiere que los sistemas de producción que están siendo utilizados no son posibles desde el punto de vista de la sostenibilidad. La reversión de esta situación ya es, de hecho, uno de los principales retos que deben enfrentar los investigadores, técnicos y productores. Aún, es responsabilidad

principal de la investigación señalar nuevos rumbos y alternativas en la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas productivos.

La producción de cultivos de grano en los Cerrados representa alrededor de 30% de la producción nacional en Brasil, la cual llega a 82 millones de toneladas, siendo los cultivos más importantes arroz, maíz y soya. En el Cuadro 2 se puede observar que las producciones alcanzadas en la región son semejantes o superiores al promedio nacional.

Las tecnologías utilizadas en la producción de granos varían en intensidad. La mayor parte de la producción se obtiene en fincas de tamaños medio y grande, con tecnologías que varían entre media y avanzada.

Uno de los principales obstáculos para la producción de granos es la falta de un sistema de transporte eficiente, lo que dificulta el transporte de insumos y productos. Además, los impuestos excesivos influyen en la competitividad de la producción de granos en la región. Por ejemplo, los impuestos y el costo del transporte de la soya hasta el puerto de Santos (São Paulo), partiendo de Rondonópolis (Mato Grosso) más el costo del embarque en el buque representan aproximadamente 40% del valor del

producto, lo que reduce la competitividad de la producción de los Cerrados, aún con buenos índices de productividad.

### ***Características edáficas y de clima***

De acuerdo con la información anteriormente presentada, la alimentación insuficiente, especialmente en la época seca, es el principal obstáculo para la explotación de ganado de carne en la región de los Cerrados.

Si se considera que la producción de carne es una función de la interacción del animal con el ambiente, representada por el complejo suelo-planta-clima, se puede observar que los Cerrados presentan algunos aspectos limitativos muy típicos, cuando se comparan con otras regiones productoras en el mundo.

Para la producción de granos, las limitaciones climáticas principales son las épocas secas y la ocurrencia de período cortos sin lluvia (veranillos) durante la época lluviosa. La distribución de la precipitación es el componente climático más importante relacionado con las producciones agrícola y pecuaria. Castro et al. (1994) clasificaron los Cerrados como una región con precipitación anual

Cuadro 2. Producción total de granos de los tres principales cultivos (arroz, maíz y soya), en la cosecha 1994-95 en Brasil y en la región de los Cerrados.

	Brasil			Cerrados		
	Area (10 <sup>3</sup> ha)	Producción (10 <sup>3</sup> t)	Rendimiento (t/ha)	Area (10 <sup>3</sup> ha)	Producción (10 <sup>3</sup> t)	Rendimiento (t/ha)
Total de granos	39,000	81,600	2.10	10,000	23,000	2.30
Arroz	4,770	11,430	2.39	1,200	2,262	1.88
Maíz	13,520	36,660	2.71	2,220	7,123	3.23
Soya	11,750	26,350	2.24	5,200	12,100	2.32

FUENTE: CONAB (1995).

entre 1200 y 1800 mm, en 60% del área; y entre 800 a 1200 mm en el 28% del área. Dependiendo de la distribución de las lluvias y el tipo de suelo se pueden presentar riesgos entre medio y alto para la agricultura de secano.

Un fenómeno importante relacionado con la precipitación en los Cerrados es la ocurrencia de veranillos, que son típicos en enero. Su promedio de duración es de 10 días, siendo posible su ocurrencia dos veces en un mismo mes.

Estas características explican parcialmente por qué las pasturas ocupan la mayor parte de las áreas agrícolas exploradas. Cabe recordar que, aunque las pasturas tienen ventaja sobre la agricultura de secano, los períodos secos y los veranillos las afectan por igual.

La interacción del clima con las propiedades químicas y físicas de los

suelos de los Cerrados, constituye un factor importante relacionado con la productividad y la sostenibilidad de la producción, en sistemas asociados de producción cultivos-animales en pasturas.

En el Cuadro 3 aparecen las principales clases de suelos existentes en los Cerrados (Adamoli et al., 1986). Se observa que los Latosol (49%), Podzol (15%) y Arenas Quartzosas (15%) suman alrededor de 80% de los suelos en la región.

Las características físicas de estos suelos muestran que los contenidos de arcilla varían entre 8% y 80%, estando las Arenas Quartzosas en un extremo y los Latosoles muy arcillosos en otro. Los contenidos de arcilla, en general, varían entre el 10% y 20%. El agua disponible en el suelo es removida a presiones entre 0.1 y 1 bar, independientemente de la textura o color de los suelos (Wolf, 1975).

Cuadro 3. Principales clases de suelos en la región de los Cerrados de Brasil.

Clases	Sinonimia (Soil Taxonomy) <sup>a</sup>	Superficie (km <sup>2</sup> )	En la región (%)
Latosoles	Oxisols	935,870	46.0
	Ultisol	57,460	2.8
Podzoles	Ultisols		
	Alfisols	307,677	15.1
Tierras Roxas	Alfisols	34,231	1.7
Cambisoles	Entisols		
	Inceptisols	61,943	3.0
Litosoles	Entisols	148,134	7.3
Arenas Quartzosas	Entisols	309,715	15.2
Lateritas Hidromórficas	Alfisols		
	Inceptisols	122,664	6.0
Gley	Inceptisols	40,752	2.0
Otros		19,154	0.9
Total		2,037,600	100.0

a. Según clasificación de suelos de USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

FUENTE: Adamoli et al. (1986).



Desde punto de vista químico, alrededor del 95% de los suelos son Distróficos, o sea, presentan saturación de bases menor que 50%, lo que puede ser explicado por la baja C.I.C., que se encuentra entre 3.9 y 13.9 meq/100 cm<sup>3</sup> de suelo. La mayoría de los suelos son Alicos, con saturación de Al mayor que 50%. Si se considera que muchas plantas son sensibles a saturaciones de Al por encima del 30%, esto indica que muchas especies, entre ellas gramíneas, no se desarrollan bien en estos suelos. Para cultivos anuales normalmente es necesario corregir las condiciones en el suelo y utilizar cantidades entre media y alta de fertilizantes. En el Cuadro 4 se incluyen las características químicas más importantes de los suelos en los Cerrados.

## Problemas del Monocultivo

### *Las pasturas degradadas*

La degradación de las pasturas es el proceso evolutivo de la pérdida de

vigor, de productividad y de capacidad de recuperación natural de las pasturas para sostener los niveles de producción y calidad requeridos por los animales, así como para superar los efectos nocivos de las plagas, las enfermedades y las malezas, lo que termina con la degradación avanzada de los recursos naturales debido a sistemas de manejo inadecuados (Macedo, 1993).

Las pasturas tropicales del género *Brachiaria* predominan en la región de Brasil Central. Independiente de los cultivares utilizados, la pastura, cuando no se somete a prácticas de manejo relevantes (fertilización, descanso) tiene un ciclo de producción naturalmente descendente, o sea, presenta producciones de materia seca (M.S.) sustancialmente mayores en los primeros años que disminuyen a través del tiempo de forma proporcional a las prácticas de manejo. Ese comportamiento es también caracterizado por la ocurrencia cíclica de los períodos de lluvia y de sequía. Estudios realizados por Euclides et al. (1993a; 1993b) y Euclides (1994) demostraron que la producción de tres cultivares de *Panicum maximum*

Cuadro 4. Características químicas en la capa arable de las principales clases de suelos de los Cerrados de Brasil.

Características químicas	Clase de suelo		
	Latosoles	Podzoles Distróficos	Arenas Quartzosas Distróficas
pH en H <sub>2</sub> O	4.5-5.2	5.0	5.2
C (%)	0.5-2.4	0.9	0.5
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup> (meq/100 g)	0.2-5.7	0.7	0.4
K <sup>+</sup> (meq/100 g)	0.02-0.4	0.1	0.1
<sup>2</sup> Al <sup>+++</sup> (meq/100 g)	0.7-1.4	1.1	0.7
P (ppm)	0.5-3.4	1.0	1.6
CTC (meq/100 cm <sup>3</sup> )	3.9-13.9	5.8	3.7
Saturación de bases (%)	5.9-43.9	13.8	13.5
Saturación de Al <sup>+++</sup> (%)	16.4-85.9	57.0	57.4

FUENTE: Adaptado de Adamoli et al. (1986).

cv. Colonião, Tobiata y Tanzânia-1, y de *B. decumbens* cv. Bazilisk y *B. brizantha* cv. Marandú, cuando se someten a presión controlada de pastoreo, presentaron un ciclo decreciente de producción. En el cuarto año, las ganancias de peso vivo fueron significativamente inferiores a las observadas en los primeros años de utilización de las pasturas (Cuadro 5).

La caída más drástica se presentó con *P. maximum* cv. Colonião, el cual también presentó 45% de suelo descubierto y 5% de invasión por malezas. Además de esto, se observó una caída acentuada en los contenidos de nutrimentos en el tejido de las forrajeras entre el primer y el tercer año. En los cv. de *P. maximum*, las concentraciones (g/kg de M.S.) de N pasaron de 21 a 15, las de P de 1.8 a 0.9 y las de K de 17 a 13. Para las especies de *Brachiaria*, el contenido de N se redujo de 19 a 15, el de P de 1.4 a 1.0 y el de K de 21 a 11 g/kg de M.S. (Macedo et al., 1993).

En el estudio anterior, realizado en un Latosol Rojo Oscuro-arcilloso del Cerrado, con baja fertilidad natural (1 a 2 ppm de P, 0.10 mg de K, 7 a 10% de saturación de bases y 60 a 70 de

saturación de Al), las pasturas recibieron en la siembra 1 t/ha de cal dolomítica, 350 kg de superfosfato simple, 100 kg de cloruro de potasio y 40 kg de FTE. En la fase de desarrollo y producción no se aplicaron fertilizantes y el manejo animal fue uniforme. En los cv. *Panicum* se ofrecieron diariamente 8 kg de M.S. por cada 100 kg de peso vivo animal (PV), y 15 kg de M.S./100 kg de PV en *Brachiaria*.

En un experimento con *B. brizantha* cv. Marandú sin fertilización y utilizando animales desteto fue posible alcanzar el peso de sacrificio a los 30 meses con una carga de 1.4 U.A./ha. No obstante, bajo esas condiciones de suelo este cultivar presentó problemas de rebrote y crecimiento después de 2 años de utilización. En el segundo ciclo la reducción de la ganancia de PV por hectárea fue de 31% y en el tercero de 41%, en comparación con el primero. En este caso, bajo el concepto de degradación, sería necesaria la intervención en el sistema, mediante la aplicación de fertilizantes fosfatados, por lo menos, para reducir o para revertir el proceso de degradación.

Cuadro 5. Ganancia de peso vivo de terneros en pasturas de especies de *Brachiaria* y cultivares de *Panicum*, porcentaje de malezas y de suelo descubierto, después de 3 y 4 años de pastoreo continuo. Cerrado, Brasil.

Cultivares	Carga animal (terneros/ha)	Ganancia de peso (kg/ha por año)		Suelo descubierto (%)	Malezas (%)
		Promedio de 3 años	Cuarto año		
Colonião	2.1	324	240	45	5
Tobiata	2.5	324	240	25	1
Tanzânia-1	2.3	414	330	25	1
Marandú	2.3	446	365	1	0
<i>B. decumbens</i>	2.4	342	310	1	0

FUENTES: Euclides (1994); Euclides et al. (1993a; 1993b).

Partiendo de esa idea, se nota que la degradación es dinámica y está caracterizada por un conjunto de factores que actúan de manera asociada, pudiendo ser reducida o agravada por las prácticas de manejo.

Hasta este punto se ha analizado el aspecto relacionado con la reducción de la productividad de las pasturas, pero aún se deben considerar los aspectos relacionados con la ocurrencia de plagas, enfermedades y malezas.

Aún no está suficientemente aclarada la relación entre el estado nutricional de la pastura y el ataque de mión o salivita de los pastos, pero existe una preferencia por algunas especies. Según Valério (1989), *B. decumbens*, ampliamente cultivada en Brasil Central, es una de las más susceptibles al ataque de esta plaga. Algunas especies como *B. brizantha* y *Andropogon gayanus* son consideradas resistentes. El ataque sucesivo del mión en *B. decumbens*, asociado al manejo animal inadecuado, sin duda alguna aceleran el proceso de degradación.

Otro indicativo de senescencia de las pasturas es la presencia de hormigueros. Su presencia masiva es una característica en áreas de pasturas degradadas. Además del daño directo que las hormigas pueden ocasionar, los montículos que construyen dificultan el movimiento de la maquinaria agrícola.

La ocurrencia de malezas arbustivas en las pasturas degradadas de los Cerrados está relacionada principalmente con el método del desmonte de la vegetación natural. Se ha observado que en áreas desmontadas que han sido sembradas inicialmente con cultivos de arroz, soya o maíz, mediante sistemas intensivos de preparación de suelos con arado y rastrillo, el retoño de malezas no es tan intenso. Las áreas abiertas con tumba y quema de la vegetación y un solo pase

de rastra-arado son más susceptibles a la invasión de malezas. Las pasturas establecidas en esta última condición no persisten y son invadidas por las malezas adaptadas a ese ecosistema.

Los esfuerzos de los productores para limpiar estas áreas enmalezadas no han tenido éxito. Muchas veces el paso de guadaña sólo corta la vegetación, estimulando el rebrote lateral y el rebrote vigoroso de las malezas. Los trabajos realizados en Embrapa Gado de Corte mostraron que el paso de rastra, aun con equipos pesados (rastra-arado) no fue suficiente para impedir el rebrote de la vegetación nativa en pasturas recuperadas con y sin fertilización en la superficie (Cuadro 6).

### ***La agricultura como agente de degradación***

El monocultivo asociado con malas prácticas de manejo han afectado la productividad, favoreciendo la degradación de los recursos naturales. La ocupación de los Cerrados después de la apertura con introducción de la ganadería y el desarrollo de nuevas técnicas de manejo como corrección de acidez y la fertilidad en el suelo, nuevas especies y cultivares mejor adaptados, trajo una gran expansión del cultivo de la soya. Al sur de esta región, el cultivo asociado soya-trigo o el monocultivo de la soya, han sido una constante en la explotación agrícola.

En los últimos años, la ocurrencia de plagas y enfermedades como el chinche castaño de la soya, la pudrición del tallo, el nematodo de las agallas (*Meloidogyne javanica*) y, más recientemente, el nematodo del ciste (*Heterodera glycine*), han causado graves perjuicios al cultivo de la soya (Sosa-Gomez et al., 1993; Yorinore et al., 1993; Mendes, 1993). Estos investigadores enfatizan que el monocultivo de la soya ha contribuido

Cuadro 6. Peso de materia seca de malezas (M.S.) arbustivas en pasturas degradadas de *Brachiaria decumbens* después de tratamiento con o sin rastra y fertilización (1985), y pase de guadaña cada año entre 1986 y 1988, en Bandeirantes, Mato Grosso do Sul (Brasil).

Tratamiento	Malezas (M.S., t/ha por año)		
	1986	1987	1988
Recuperación sin rastra			
<i>B. decumbens</i> (testigo)	0.59	0.39	0.23
<i>B. decumbens</i> (fertilización + leguminosa)	0.51	0.27	0.21
<i>B. decumbens</i> (fertilización)	0.50	0.24	0.16
Recuperación con rastra			
<i>B. decumbens</i> (testigo)	0.37	0.19	0.18
<i>B. decumbens</i> (fertilización + leguminosa)	0.37	0.27	0.16
<i>B. decumbens</i> (fertilización)	0.29	0.25	0.15
Probabilidad (F): Tratamientos	ns	ns	ns
Rastra	0.01	0.05	0.01

FUENTE: Macedo y Zimmer (1993).

especialmente a la persistencia y ha estimulado el desarrollo de plagas y enfermedades. El nematodo del ciste, por ejemplo, fue identificado en áreas soyeras con 10 a 12 años de monocultivo (Mendes, 1993).

En relación con el manejo del suelo, los productores, por razones económicas y de operación, han realizado la preparación prácticamente con el uso exclusivo de rastras. La mala utilización de estos implementos ha ocasionado una serie de problemas

relacionados con la pulverización de las capas superficiales del suelo, destruyendo así la estructura de los agregados y causando compactación en la capa arable. Extensas áreas de cultivo han presentado un deterioro de las propiedades físicas del suelo, como lo demuestran los trabajos de Denardin (1984) en la región Grande Dourados, en Mato Grosso do Sul (Cuadro 7).

Otro problema asociado con el mal manejo del suelo en los monocultivos es la concentración de la fertilidad en las

Cuadro 7. Características físicas de un Latosol Roxo después de 3.5 y 7 años de preparación con rastra pesada + rastra niveladora, en Ponta Porã, Mato Grosso do Sul (Brasil).

Profundidad (cm)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )		Estabilidad de agregados (%)	
	3 años	7 años	3 años	7 años
0-6	— <sup>a</sup>	— <sup>a</sup>	— <sup>a</sup>	— <sup>a</sup>
6-14	1.20	1.43	78	48
14-23	1.19	1.40	79	58
23-30	1.18	1.25	78	56

a. Suelo sin estructura.

FUENTE: Denardin (1984).

capas superiores del suelo (Cuadro 8). En ellos se observa que los niveles de fósforo y los contenidos de Ca y Mg son extremadamente elevados en los primeros 6 a 10 cm. En esas condiciones, la distribución de las raíces se concentra en la superficie del suelo y, en consecuencia, el cultivo es vulnerable a la falta de agua en los veranillo.

## Alternativa para Integración Agricultura-Ganadería

### **Pasturas asociadas con cultivos anuales**

En los Cerrados, la asociación pasturas-cultivos se viene realizando desde las décadas de los 30 y los 40, mediante la siembra de forrajeras con cultivos anuales o después de éstos. El establecimiento de los pastos gordura (*Melinis minutiflora*), cv. Colonião (*Panicum maximum*), Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*) y otros, se hace en suelos fértiles por medio de semillas o estolones colocados en las entrelíneas al momento de la siembra o después de

los cultivos de maíz, arroz y frijol (Rocha, 1988). A partir de la década de los 70, con el apareamiento de las especies de *Brachiaria*, la siembra de *B. decumbens*, al mismo tiempo o después del cultivo de arroz, pasó a ser una práctica de rutina.

En general, las pasturas de las forrajeras se siembran junto con las semillas de arroz o a voleo, e inclusive, con la primera deshierba después de la emergencia del arroz. Los resultados han sido variables, dependiendo de la fertilidad en el suelo, la tasa de siembra de la pastura y las lluvias, entre otros factores. Como la especie forrajera más utilizada ha sido *B. decumbens* cv. Basilisk, las pasturas en su mayoría se han desarrollado en forma satisfactoria. Este cultivar, por su hábito de crecimiento, agresividad y capacidad de adaptación, cubre rápidamente el suelo y permite una carga animal superior a la pastura nativa.

Kornelius et al. (1979) encontraron la posibilidad de la siembra simultánea de arroz con cultivos forrajeros para la formación de pasturas en los Cerrados. En el Cuadro 9 se presentan los

Cuadro 8. Distribución de la fertilidad en el perfil de un Latosol Roxo después de 7 años de cultivo y preparado con rastra, en Ponta Porã, Mato Grosso do Sul (Brasil).

Profundidad (cm)	pH (1:1)	Al	Ca + Mg	P	K	M.O.
		(meq/100 ml)		(ppm)		(%)
0-2	6.0	0	8.10	13	>200	5.4
2-4	5.8	0.05	9.05	82	>200	5.3
4-6	5.8	0	8.60	12	171	5.3
6-10	5.4	0.30	6.00	5	142	5.1
10-15	5.0	1.25	3.90	5	98	5.1
15-20	4.9	1.90	1.95	1	60	4.5
20-25	4.8	2.15	1.30	1	40	3.7
25-30	4.7	2.05	1.15	1	28	3.4

FUENTE: Denardin (1984).

Cuadro 9. Efecto de la siembra simultánea en la producción de granos de arroz y en el número de plantas de *Brachiaria decumbens* y *Melinis minutiflora* bajo dos niveles de fertilización en los Cerrados de Brasil.

Especie	Sistema de siembra	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)			
		0		230	
		Forrajera (plantas/m <sup>2</sup> )		Arroz (t/ha)	
<i>B. decumbens</i>	A voleo	2.2	2.8	0.95	1.66
	Surco arroz	4.8	3.6	0.95	1.63
	Entrelineas	6.4	8.8	1.08	1.24
<i>M. minutiflora</i>	A voleo	23.9	57.7	1.09	1.27
	Surco arroz	36.4	70.8	0.98	0.97
	Entrelineas	40.1	86.6	1.04	1.19
Arroz en monocultivo				0.97	1.86

FUENTE: Adaptado de Kornelius et al. (1979).

resultados obtenidos en diferentes sistemas de siembra y dosis de fósforo en siembras asociadas de arroz con forrajeras. Las conclusiones de este trabajo señalan que, sin fertilización, la competencia de las forrajeras con el cultivo fue menor, o sea, en la medida en que se mejoraba la fertilidad del suelo, se incrementaba la competencia de las forrajeras.

Cuando se aplicaron fertilizantes, las especies forrajeras se comportaron según su grado de adaptación y respuesta a ellos. Las especies más adaptadas y de menor capacidad de respuesta afectaron menos la producción de arroz, siendo *gordura* (*M. minutiflora*) y *B. decumbens*, las especies que más afectaron la producción de arroz cuando se aplicaron fertilizantes (Cuadro 9).

En otro trabajo (Kornelius et al., 1979), se analiza la posibilidad del establecimiento de pasturas con arroz en diferentes secuencias de cultivos, después de la apertura de los Cerrados. Ya en esa época se señalaban las ventajas de la siembra asociada

pasturas + cultivos para cubrir los costos de la aplicación de cal y fertilizantes, los cuales eran muy altos en relación con el valor de la tierra. Los resultados mostraron que la siembra de cultivos durante 1 ó 2 años, serían suficientes para pagar los costos del establecimiento de las pasturas, incluyendo la cal y los fertilizantes.

En un trabajo realizado por Macedo y Zimmer (1990) se muestran las posibilidades de realizar la siembra simultánea de maíz con *B. brizantha* cv. Marandú después del cultivar soya durante 2 años en Arena Quartzosa, en Bandeirantes, Mato Grosso do Sul. En este trabajo se realizaron siembras de maíz en la época convencional (octubre) y tardía (enero) con densidades de siembra de la gramínea forrajera que variaron entre 0 y 0.6 kg/ha de semilla pura viable. La siembra de la forrajera se hizo a voleo e incorporada con rastra-niveladora, seguida de la siembra de maíz a 1 m entre líneas y sin fertilización.

Las producciones de grano de maíz se presentan en el Cuadro 10 e indican

Cuadro 10. Efecto de la densidad de siembra de semillas puras viables de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú en la productividad de los cultivos asociados y en la producción de materia seca de la forrajera. Suelo Arena Quartzo, después de 2 años de soya, en Bandeirantes, Mato Grosso do Sul (Brasil).

Densidad de siembra (kg/ha)	Primer ciclo (enero/87-mayo/87)			Segundo ciclo (octubre/87-febrero/88)		
	Maíz (t/ha)	Forrajera (t/ha)		Maíz (t/ha)	Forrajera (t/ha)	
		Con maíz	Sin maíz		Con maíz	Sin maíz
0	2.02	—	—	—	—	—
0.75	1.79	4.28	4.87	3.73	3.18	10.40
1.50	1.36	3.96	5.99	3.66	3.92	10.35
3	1.08	5.60	6.76	2.99	4.18	13.51
6	0.99	5.77	7.82	3.00	4.51	14.76

FUENTE: Adaptado de Macedo y Zimmer (1990).

que en ese ecosistema, las siembras tardías afectan significativamente las producciones de maíz. En esos casos, la densidad de siembra de la forrajera afecta de manera lineal y negativa la producción de grano de maíz. Por otro lado, la producción de M.S. de la gramínea forrajera en la primera cosecha, aunque alta cuando se estableció en monocultivo, se afectó de manera negativa y significativa por la competencia del cultivo de maíz. No obstante, los resultados posteriores, 480 días después de uso de la pastura y una uniformización a los 410 días, mostraron que la cobertura del suelo y la producción de M.S. total de la forrajera no se afectaron por la siembra simultánea con maíz.

La recuperación de pasturas degradadas con el uso cultivos anuales puede ser realizada de dos maneras: (1) Mediante un método rápido, en el cual los cultivos de arroz y maíz se establecen con preparación del suelo al final de la época seca y siembra en el inicio de las lluvias, con lo cual la forrajera rebrota espontáneamente por resiembra natural. En este caso, la pastura se utilizaría después de la cosecha del cultivo anual. La mayor dificultad de este sistema es el control

de la cantidad inicial alta de semilla de la forrajera presente en suelo, lo que provoca competencia excesiva con el maíz o el arroz. En el caso del cultivo de maíz es necesario que la aplicación de cal se realice, por lo menos, con 90 días de anticipación. (2) A largo plazo, para lo cual se establecen durante 2 ó más años cultivos anuales de arroz, maíz o soya; o se hacen rotaciones de estos cultivos y, posteriormente, después de 2 ó más años, se establece la pastura. Este sistema implica el control total de las plantas viejas y las que emergen de semillas de *Brachiaria*. Para ello es necesario hacer la preparación del suelo en la época seca, con el fin de eliminar las plantas viejas, y utilizar herbicidas para controlar las plántulas. En este caso es más recomendable el cultivo de dicotiledóneas, como soya, girasol y algodón, los cuales facilitan el control de *Brachiaria* con herbicidas.

Los trabajos de investigación en los que se busca la recuperación de pasturas con cultivos anuales normalmente están asociados a otras prácticas, de manera que los resultados puedan ser comparados. Carvalho et al. (1990) en Planaltina, DF., evaluaron varios sistemas de

recuperación de pasturas degradadas de *B. decumbens*, entre ellos, los cultivos de maíz, sorgo y arroz. De éstos, solamente el maíz presentó una producción satisfactoria (Cuadro 11). Los autores atribuyeron este resultado al menor ataque de plagas en ese cultivo y a su mejor capacidad de competencia, por lo que afectó más el crecimiento inicial de la gramínea forrajera, en comparación con los cultivos de sorgo y arroz.

También Zimmer et al. (datos no publicados) observaron una alta competencia de *B. brizantha* sobre cultivos asociados de arroz y maíz, en Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Aunque varios de los métodos de recuperación evaluados dieron resultados satisfactorios, ocurrió una fuerte competencia de *Brachiaria* sobre los cultivos asociados debido al alto número de plantas de la gramínea forrajera que germinó en forma

natural. Se debe señalar que, en las parcelas preparadas en octubre por el método convencional —cal, pase de arado y rastra, y 30 días más tarde aplicación de superfosfato simple incorporado con rastra— la cantidad de semillas puras viables en el suelo era de 25 kg/ha y el número de plantas de *Brachiaria* en las parcelas de sólo arroz y maíz sin deshierba era de 65 plantas/m<sup>2</sup>, mientras que en las parcelas preparadas con aplicación de cal, rastra pesada tipo 'rome' y posterior arada y pase de rastra para nivelación e incorporación de superfosfato (preparación invertida), el número de plantas/m<sup>2</sup> era de 72.

Las fertilizaciones favorecieron de manera significativa la recuperación de la pastura degradada después de 8 años de uso en pastoreo (Cuadro 12); no obstante, se debe resaltar que la aplicación de correctivos y la

Cuadro 11. Efecto de diferentes tratamientos de recuperación de pasturas degradadas en la producción de forraje de *Brachiaria decumbens*, leguminosas forrajeras<sup>a</sup> y granos de varios cultivos<sup>b</sup>. Estudios realizados en el CPAC, Planaltina, DF.

Tratamientos <sup>c</sup>	<i>B. decumbens</i> (t/ha por período)		Leguminosas (t/ha por período)		Granos (t/ha)
	115 días <sup>d</sup>	164 días	115 días	164 días	
T1	2.46 bc*	2.69 bc	—	—	—
T2	1.32 def	2.29 bc	—	—	—
T3	3.46 a	3.97 ab	—	—	—
T4	1.65 cde	2.94 abc	—	—	—
T5	1.09 rf	3.65 abd	0.05 b	0.44 b	—
T6	0.43 f	1.85 c	0.08 b	0.40 b	3.664
T7	2.30 a	4.98 a	0.48 a	1.31 a	0.961
T8	3.15	3.63 abc	0.48 a	1.66 a	0.322

a. *Calopogonium mucunoides*, *Stylosanthes capitata* y *S. macrocephala*.

b. Maíz, sorgo y arroz.

c. T1 = testigo; T2 = rastra; T3 = T2 + fertilización (fertilización de corrección) + encalada; T4 = T3 + arada; T5 = T4 + leguminosas; T6 = T5 + fertilización (fertilización de siembra) + maíz; T7 = T5 + fertilización (fertilización de siembra) + sorgo; T8 = T5 + fertilización (fertilización de siembra) + arroz.

d. Período entre las fechas del primer pase de rastra (20 diciembre) y la evaluación.

\* Promedios en cada columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

FUENTE: Adaptado de Carvalho et al. (1990).



Cuadro 12. Efecto de diferentes métodos de preparación del suelo, fertilización y producción de cultivos anuales de granos en la recuperación de pasturas degradadas de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú en un Latosol Rojo-Oscuro argiloso.

Tipo de preparación	Sistema de cultivo	Granos (t/ha)	Gramínea (M.S., t/ha)		
			Después de la cosecha <sup>a</sup>	Segundo período <sup>b</sup>	Cuarto Período <sup>c</sup>
Sin preparación	Sin abono (degradado)	–	2.02	1.01	2.54
	Arroz fertilizado	–	5.04	1.24	3.20
	Maíz fertilizado	–	7.04	1.42	3.25
Rastra	Sin abono	–	1.61	0.87	2.67
	Arroz fertilizado	–	4.50	1.26	4.17
	Maíz fertilizado	–	4.86	1.40	3.85
Convencional	Sólo arroz	1.78	–	–	–
	Arroz + forrajera	0.68	4.96	1.53	3.36
	Forrajera + arroz fertilizado	–	7.10	1.49	3.31
	Sólo maíz	2.46	–	–	–
	Maíz + forrajera	1.12	5.91	1.57	3.49
	Forrajera + maíz fertilizado	–	8.89	1.40	3.62
	Soya	1.76	–	–	–
	Forrajera + soya fertilizada	–	7.37	1.39	3.42
Inverso	Sólo arroz	1.86	–	–	–
	Arroz + forrajera	0.53	4.51	1.09	2.36
	Forrajera + arroz fertilizado	–	8.38	1.45	3.64
	Sólo maíz	2.85	–	–	–
	Maíz + forrajera	1.19	6.47	1.52	3.43
	Forrajera + maíz fertilizado	–	10.26	1.33	4.12
	Soya	1.94	–	–	–
	Forrajera + soya fertilizada	–	8.75	1.37	3.78

- a. Pastura degradada con 170 días de crecimiento entre enero y marzo, sin preparación y preparación con rastra rome con 125 días de crecimiento, además de 100 días de crecimiento.  
 b. Segundo período de crecimiento de 100 días (10/08/91-20/11/91).  
 c. Cuarto período de crecimiento de 120 días (10/11/93 - 02/03/94).

FUENTE: Zimmer y Macedo, CNPGC/EMBRAPA (datos no publicados).

fertilización se hicieron con dosis alta de insumos. La fertilización de arroz consistió en 1.65 t/ha de cal dolomítica, 350 kg/ha de fórmula 0-20-20 más zinc, y 200 kg/ha de sulfato de amonio en la fase de desarrollo. Para el maíz se aplicaron 3.7 t/ha de cal, 500 kg/ha de superfosfato simple, 450 kg/ha de fórmula 0-20-20, 40 kg/ha de FTE BR-16 y 400 kg/ha de sulfato de amonio en desarrollo. Para la soya se aplicó la misma fertilización que para maíz, pero sin sulfato de amonio.

La siembra y la fertilización de los cultivos se hicieron en hileras, pero debido a la ausencia de lluvias, fue necesario resembrar, lo que requirió de un nuevo pase de rastra. Esa operación perjudicó los cultivos, ya que los fertilizantes se movieron del área de las raíces de los cultivos y beneficiaron el desarrollo de la pastura.

Las producciones de arroz y soya en monocultivo fueron satisfactorias. Sin embargo, la producción de maíz, aún en las parcelas con deshierba, fue reducida como consecuencia de la aplicación tardía de los correctivos en el suelo. La presencia de *Brachiaria* con arroz y maíz redujo la producción de estos cultivos en más del 50%. La aplicación de Trifluralina (1.7 lt/ha) fue suficiente para el control de *Brachiaria* en el cultivo de soya. La soya cv. Doko, con o sin aplicación de la cal 30 días antes de la siembra, dio una buena producción de granos. Por el contrario, el maíz cv. BR-201 fue afectado negativamente cuando la aplicación de cal se realizó muy próximo a la siembra. Se encontró una tendencia hacia una mayor producción de los cultivos cuando la preparación del suelo se hizo por el método invertido.

Las respuestas de la pastura a la fertilización fueron significativas, independientemente de la forma de aplicación. Los cultivos de arroz y maíz compitieron con la forrajera y las

producciones de éstas fueron menores en el primer ciclo de crecimiento, cuando la pastura se encontraba asociada con ellos. La siembra de *B. brizantha* sobre soya, antes de la caída de las hojas de ésta, no produjo resultados positivos en este año agrícola.

Los datos relacionados con el rebrote en el segundo período de crecimiento entre agosto y noviembre —el área experimental fue utilizada en pastoreo entre abril y agosto— mostraron poca diferencia entre los tratamientos. Aunque en ese período la precipitación fue escasa, el crecimiento fue inferior al del primer año. En el cuarto ciclo de crecimiento se observaron tendencias similares —en este caso, con crecimiento entre noviembre y marzo, pastoreo entre febrero y noviembre y buena precipitación— y las diferencias entre los tratamientos fueron poco notorias. Estos efectos se han observado en otros experimentos, donde el impacto de la renovación ha sido más marcada en el primer año.

Como la principal dificultad en el establecimiento de cultivos de arroz y maíz en asociación con *Brachiaria* es el exceso de semillas de ésta, y consecuentemente de plantas, se realizaron algunos ensayos buscando reducir la competencia de esta última gramínea. Barcellos et al. (1993), en Planaltina DF., en épocas seca y lluviosa evaluaron cinco métodos de preparación del suelo con rastra-arado, y arado de disco y de vertedera, en la población de plantas y la producción de *Brachiaria* y de grano de maíz. Los datos del Cuadro 13 muestran que el paso de rastra en el período seco favoreció ligeramente la producción de maíz, pero los diversos métodos de preparación del suelo tuvieron poco efecto en la población y producción de *Brachiaria*.

Cuadro 13. Efecto del sistema de preparación del suelo en la recuperación de pasturas degradadas de *Brachiaria brizantha*, cultivada simultáneamente con maíz. CPAC, Planaltina, DF.

Tratamientos/época		<i>B. brizantha</i>		Maíz
Seca	Lluvias	Plantas <sup>a</sup> (no./m <sup>2</sup> )	M.S. <sup>b</sup> (t/ha)	Granos <sup>c</sup> (t/ha)
Rastra	Rastra	39	5.31	1.36 ab*
Rastra	Arado de discos	26	5.84	1.63 ab
Rastra	Arado de vertedera	24	4.16	1.71 b
	Rastra + arado de discos	23	5.96	1.15 b
	Rastra + arado de vertedera	29	4.68	1.19 b
Testigo			3.57	

a. Plantas nuevas y viejas a los 42 días de la siembra del maíz.

b. Materia seca acumulada en 240 días.

c. Promedio de 2 años de cultivo (1990/91 y 1991/92).

\* Promedios en cada columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

FUENTE: Barcellos et al. (1993).

Una buena posibilidad en los cultivos de arroz o maíz es el uso de herbicidas en el control de la población y el crecimiento de *Brachiaria*, aunque la deshierba en las entrelineas es igualmente una buena alternativa. En el Cuadro 14 se pueden observar los resultados de prácticas de control de *B. brizantha* en cultivos de arroz, y en el Cuadro 15 los resultados en el cultivo de maíz. Se debe resaltar que estos resultados son preliminares y los tratamientos se deben repetir en otras condiciones y también con otros herbicidas bajo otras dosis y métodos de aplicación.

En otros experimentos conducidos en Embrapa Gado de Corte se observó igualmente una fuerte competencia de *B. decumbens* con los cultivos de arroz y maíz, en experimentos de recuperación de pasturas (Cuadros 16 y 17) en un Latosol Rojo Oscuro Álico y Distrófico fase Cerradão, con pH = 5.4; M.O. = 3.08%; P = 1.7 ppm; y Ca, Mg, K, Al, saturación de base y CIC = 0.63, 0.31, 0.07, 0.46, 1.01 y 7.26 mg/100 ml, respectivamente; y 14% y 31% de saturación de bases y aluminio. Los datos en ambos cuadros indican que el

cultivo de arroz fue más competitivo con *B. decumbens* que maíz y que la forrajera redujo de manera más acentuada la producción de este cultivo. Sin embargo, en estos cultivos es importante reducir la competencia de la forrajera en la fase inicial para obtener una buena producción de granos.

El Sistema Barreirão es otra posibilidad para recuperar *Brachiaria* (ver capítulo 15 de este libro). Este sistema fue perfeccionado por Kluthcouski et al. (1991) a partir del sistema de preparación invertido del suelo, adaptado por Seguy et al. (1984) en Embrapa Arroz e Feijão y que consiste en recuperar pasturas de *Brachiaria* mediante la siembra de arroz o maíz.

En Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, el cultivo de soya por 1 ó 2 años proporcionó resultados satisfactorios en la recuperación de pasturas degradadas de *B. decumbens* después de 10 años de utilización en suelos arenosos (Cuadros 18 y 19). Se debe señalar que los tratamientos, sin preparación y preparación superficial,

Cuadro 14. Efecto de varios métodos de recuperación de pasturas en el control de *Brachiaria brizantha* y la producción de arroz. Cerrados del Brasil.

Tratamiento <sup>a</sup>	<i>B. brizantha</i>		Arroz (t/ha)
	Plantas (no./m <sup>2</sup> )	M.S. (t/ha)	
1. Testigo - pasto degradado	–	3.19	–
2. <i>B. brizantha</i> con preparación, sin abono	85	2.42	–
3. <i>B. brizantha</i> con preparación, con abono	95	9.24	–
4. Arroz + <i>B. brizantha</i> con preparación y con abono	88	4.29	0.97
5. <i>B. brizantha</i> + Estilosantes cv. Mineirão	75	5.39	1.18
6. Deshierba a los 20 días	83	3.36	1.26
7. Deshierba a los 20 y 40 días	96	3.00	1.80
8. Deshierba total	–	–	1.93
9. Herbicida Fenoxapipileno (1.5 lt/ha)	94	3.47	1.50
10. Herbicida Pendimethalin (2.5 lt/ha)	67	4.47	1.84

a. En los tratamientos 5 a 10 se realizaron las mismas prácticas de manejo que en el tratamiento 4.

FUENTE: Kichel y Macedo, CNPGC (datos no publicados).

Cuadro 15. Efecto de varios métodos de recuperación de pasturas en el control de *Brachiaria brizantha* y la producción de maíz. Cerrados del Brasil.

Tratamiento <sup>a</sup>	<i>B. brizantha</i>		Maíz (bultos/ha)
	Plantas (no./m <sup>2</sup> )	M.S. (t/ha)	
1. Testigo - pasto degradado	–	2.89	–
2. <i>B. brizantha</i> con preparación, sin abono	104	12.74	–
3. <i>B. brizantha</i> con preparación, con abono	108	4.97	–
4. Maíz + <i>B. brizantha</i> con preparación y con abono	77	4.86	3060
5. <i>B. brizantha</i> + Estilosantes cv. Mineirão	87	5.25	3120
6. Deshierba a los 20 días	105	1.83	4080
7. Deshierba a los 20 y 40 días	80	–	5640
8. Deshierba total	–	–	5760
9. Herbicida Fenoxapipileno (1.5 lt/ha)	20	1.70	4860
10. Herbicida Pendimethalin (2.5 lt/ha)	35	2.70	2280

a. En los tratamientos 5 a 10 se realizaron las mismas prácticas de manejo que en el tratamiento 4.

FUENTE: Kichel y Macedo, CNPGC (datos no publicados).

Cuadro 16. Número de plantas por m<sup>2</sup>, producción de materia verde seca (MVS) y MS total (MST) de *Brachiaria decumbens* y leguminosas, y producción de granos del cultivo del arroz en el Cerrado de Brasil. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento <sup>a</sup>	<i>B. decumbens</i>			Arroz (t/ha)
	Plantas (no./m <sup>2</sup> )	MVS (t/ha)	MST (t/ha)	
1. Testigo	—	2.54 b <sup>*</sup>	6.52 b <sup>b</sup>	—
2. Recuperación directa	16	6.93 a	10.00 a	—
3. Recuperación directa + leguminosa	29	6.64 a	9.44 a <sup>c</sup>	—
4. Arroz convencional	55	1.31 c	1.98 c	0.99 c
5. Arroz preparación invertida + abono	23	1.56 c	2.03 c	2.22 b
6. Igual al T5 + cal + abono	25	1.05 c	1.39 c	2.59 b
7. Igual a T6 + deshierba	25	0.76 c	1.07 c	2.78 a

## a. Tratamientos (T):

1. *B. decumbens* degradada.2. Recuperación directa con la aplicación superficial de 2 t de cal, 90 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simple), 16, 80 y 80 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, 50 kg de FTE BR-16 incorporados con rastra pesada.3. Igual a T2 más la introducción de *C. mucunoides* y *S. guianensis*.4. Arroz convencional, arada y pase de rastra y fertilización de 6, 30 y 30 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O.5. Arroz con preparación invertida (pase de rastra pesada, arada con vertedera y pase de rastra de nivelación y fertilización de 12, 90 y 48 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O y más 30 kg de FTE-BR 12, 20 kg de sulfato de zinc y 20 kg/ha de N 45 días después de la siembra. En la siembra del arroz se adicionaron 3 kg/ha de semillas de *B. brizantha*.6. Igual a T5 más la adición de 2 t de cal, 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simple) y 20 kg de N a los 15 días y 20 kg a los 35 días después de la siembra.7. Igual a T6 con una deshierba para control de *B. decumbens* a los 20 días después de la siembra.

b. 300 días de crecimiento. Los demás tratamientos con 135 días.

c. Incluyendo las leguminosas.

\* Promedios en cada columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (P &lt; 0.05), según la prueba de Duncan.

FUENTE: Adaptado de Kichel et al. (1996).

no eliminaron el rebrote de los arbustos del Cerrado, que son frecuentes en esas áreas. El cultivo de soya con aplicación de 1.7 lt/ha de Trifluralina posibilitó un buen control de *B. decumbens* y permitió el establecimiento de *B. brizantha* y *A. gayanus*, asociados con *Calopogonium*, después de 1 ó 2 años de cultivo de soya.

El menor crecimiento de la forrajera en el segundo año se debió a la lixiviación del potasio, que es alto en suelos arenosos. En el Cuadro 20 se pueden observar los contenidos de fósforo y potasio en el perfil de suelos con *B. decumbens* degradado y en suelo con 1 ó 2 años de cultivo de soya. En este último caso, fue necesario aplicar

potasio en las gramíneas establecidas, debido al bajo contenido de este nutrimento en el suelo, siendo importante la incorporación más profunda de los fertilizantes.

En el primer año, la incorporación se hizo con dos pases de rastra-arado y en el segundo con un pase de arado antes de la siembra de soya, lo que resultó en mejor distribución de los nutrimentos en el perfil del suelo.

En esos suelos arenosos se recomienda la aplicación, por lo menos, de dos tercios del potasio necesario para el cultivo de soya en desarrollo; además, la utilización del área con cultivos anuales debe ser máximo

Cuadro 17. Número de plantas por m<sup>2</sup>, producción de materia verde seca (MVS) y MS total (MST) de *Brachiaria decumbens* y leguminosas, y producción de granos del cultivo de maíz en el Cerrado de Brasil. Promedio de cuatro repeticiones.

Tratamiento <sup>a</sup>	<i>B. decumbens</i>			Maíz (t/ha)
	Plantas (no./m <sup>2</sup> )	MVS (t/ha)	M.S. (t/ha)	
1. Testigo	–	2.21	6.89 c*	–
2. Recuperación directa	26	4.85	12.24 ab	–
3. Recuperación directa + leguminosa	40	5.69	10.91 b <sup>b</sup>	–
4. Arroz convencional	75	3.58	5.76 cd	0.39 d
5. Arroz preparación invertida + abono	35	2.85	7.68 b	1.55 c
6. Igual al T5 + cal + abono	35	4.89	7.73 b	2.98 b
7. Igual a T6 + deshierba	35	3.33	3.64 d	4.56 a

a. Tratamientos (T):

1. *B. decumbens* degradada.

2. Recuperación directa con la aplicación superficial de 3.6 t de cal, 40 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simple), 16, 20 y 20 kg de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, 40 kg de FTE BR-16 incorporados con rastra pesada.

3. Igual al T2 más la introducción de *C. muconoides* y *S. guianensis*.

4. Recuperación con maíz en siembra convencional, arada y pase de rastra y fertilización de 2.0 t de cal, 50 y 50 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O y 22 de N en cobertura a los 35 días.

5. Recuperación con maíz con preparación invertido (pase de rastra pesada, arada con vertedera) y fertilización de 2 t de cal, 45 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simple), 16, 40 y 40 de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y K<sub>2</sub>O, más 40 kg de FTE-BR 16 y 45 kg/ha de N en cobertura 45 días después de la siembra.

6. Igual al T5 más 3.6 t de cal, 90 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simple) y 40 kg de N a los 15 días y 40 kg a los 35 días después de la siembra.

7. Igual al T6 con una deshierba para control de *B. decumbens* 20 días después de la siembra.

b. Incluye 20% de leguminosas.

\* Promedios en cada columna seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (P < 0.05), según la prueba de Duncan.

FUENTE: Adaptado de Miranda et al. (1996).

durante 3 años, para regresar a pastura. En estos casos se recomienda el cultivo de soya por 1 ó 2 años y en el último año sembrar la forrajera con maíz o arroz.

Recientemente se ha despertado interés por la renovación de pasturas con cultivos de sorgo granífero, sorgo forrajero y maíz, con énfasis especial en los dos últimos que pueden ser utilizados directamente por los animales. Esto constituye un sistema de cultivo y recuperación de pasturas, sin necesidad de inversiones en maquinaria e instalaciones para la producción de granos.

En Goiânia, Goiás, Carvalho et al. (1995) obtuvieron un restablecimiento

más rápido y mejor de *B. brizantha* utilizando el Sistema Barreirão con maíz que con sorgo, arroz o maíz, encontrando, después de 180 días, 462, 405, 202 y 183 macollas/m<sup>2</sup> respectivamente. La producción de M.S. de la forrajera fue inferior en las asociaciones con cultivo que en monocultivo, y la producción de grano fue, respectivamente, de 3.58, 2.24, 1.16 y 2.56 t/ha de maíz, sorgo y arroz.

La renovación de pasturas con maíz facilita la utilización de la biomasa total entre 45 y 50 días después de la siembra del maíz. En Río Brilhante, Mato Grosso do Sul, *B. decumbens* renovado con maíz en el periodo 1993-94, permitió un periodo de ocupación de 114 días, con 3 U.A./ha

Cuadro 18. Disponibilidad de materia seca de gramíneas y leguminosas y porcentaje de leguminosa después de 1 año de cultivo de la soya sobre *Brachiaria decumbens* degradada y recuperada con fertilización y/o preparación superficial en Arena Quartzosa, en Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, 1986.

Tratamientos	Gram.	Leg.	Leg.	Gram.	Leg.	Leg.
	(t/ha) <sup>b</sup>		(%)	(t/ha) <sup>c</sup>		(%)
Después de soya <sup>a</sup>						
<i>B. brizantha</i> + <i>Calopogonium</i> sp.	3.94	0.72	15	5.07	0.38	7
<i>B. decumbens</i> + <i>Calopogonium</i> sp.	4.11	0.35	8	3.95	0.24	6
<i>A. gayanus</i> + <i>Calopogonium</i> sp.	1.79	1.36	43	1.19	1.30	52
Preparación superficial <sup>d</sup>						
<i>B. decumbens</i> + abono + <i>Calopogonium</i> sp.	3.28	Escaso	Escaso	1.89	Escaso	Escaso
<i>B. decumbens</i> + abono	2.83	-	-	2.28	-	-
<i>B. decumbens</i>	2.34	-	-	1.72	-	-
Sin preparación <sup>e</sup>						
<i>B. decumbens</i> + abono + <i>Calopogonium</i> sp.	2.96	-	11	1.73	-	1
<i>B. decumbens</i> + abono	3.29	-	-	-	-	-
<i>B. decumbens</i>	2.53	-	-	0.14	-	-

a. Siembra convencional después de 1 año de cultivo con soya.

b. Cosecha a los 90 días.

c. Cosecha a los 120 días.

d. Fertilización y siembra en la superficie + rastra tipo rome.

e. Fertilización y siembra superficial.

Observación: En el área de soya, la corrección y la fertilización para el cultivo de *Brachiaria* fue de 300 kg/ha cal dolomítica, 250 kg/ha superfosfato simple, 50 kg/ha K<sub>2</sub>O, 40 kg/ha FTE BR-16.

FUENTE: Zimmer et al. (1994).

Cuadro 19. Disponibilidad de materia seca (M.S.) de gramíneas y leguminosas, después de 2 años de cultivo de soya/avena sobre pastura de *Brachiaria decumbens* degradadas en Arena Quartzosa, Bandeirantes, Mato Grosso do Sul, 1987.

Tratamiento	Gramínea	Leguminosa
	(M.S., t/ha)	
Sin avena después soya		
<i>B. brizantha</i> + <i>Calopogonium</i>	1.42	0.52
<i>B. decumbens</i> + <i>Calopogonium</i>	1.43	0.44
<i>A. gayanus</i> + <i>Calopogonium</i>	1.37	0.66
Promedio	1.41	0.54
Con avena después soya		
<i>B. brizantha</i> + <i>Calopogonium</i>	2.37	0.63
<i>B. decumbens</i> + <i>Calopogonium</i>	2.10	0.38
<i>A. gayanus</i> + <i>Calopogonium</i>	1.71	0.61
Promedio	2.06	0.65

FUNTE: Zimmer et al. (1994).

Cuadro 20. Contenidos de fósforo y de potasio en el suelo (Arena Quartzosa) después de 1 y 2 años de cultivo de soya en la renovación de *Brachiaria decumbens*. Cerrado del Brasil.

Profundidad (cm)	Contenidos de P y K en el suelo					
	Soya 1 año P (ppm)	<i>Brachiaria</i> 10 años P (ppm)	Soya		<i>Brachiaria</i> 11 años	
			P (ppm)	K (meq/100 g)	P (ppm)	K (meq/100 g)
0-5	60	4	25	10	5	20
5-10	55	3	34	13	4	14
10-15	15	3	27	15	3	15
15-20	4	2	12	11	2	13
20-30	3	2	18	10	4	13
30-40	—	—	9	8	2	10
40-50	—	—	8	9	1	8

FUENTE: Zimmer et al. (1994).

(4.8 animales/ha), con una ganancia de peso vivo animal de 850 g/día y 470 kg/ha. En esta evaluación, el ingreso por ganancia de peso animal fue US\$325/ha y el costo de la renovación fue de US\$210, resultando en una ganancia de US\$115/ha (Kichel, EMBRAPA-CNPGC, datos no publicados).

Otras prácticas de recuperación de pasturas, que realmente son de mantenimiento, están siendo utilizadas por productores y evaluadas por investigadores, como es el caso de la siembra directa sobre *Brachiaria* sp. Esa práctica parece ser muy promisoriosa y consiste en la siembra directa de la soya sobre áreas de pasturas degradadas establecidas sobre suelos anteriormente utilizados con cultivos anuales. El objetivo es mantener la fertilidad y la productividad de la pastura.

La técnica consiste de las labores siguientes:

1. Retiro de los animales al final del período de sequía.

2. Después de las primeras lluvias, en septiembre u octubre, después del rebrote de la pastura, se aplica un herbicida (glifosato) a razón de 2.5 a 3 lt/ha, 21 días después de la siembra. Es necesario que la pastura se encuentre bien desarrollada. La soya se siembra 3 meses más tarde.
3. En Mato Grosso do Sul, la soya se siembra normalmente entre el 15 de octubre y el 30 de noviembre, en forma directa. La fertilización se hace según la condición del suelo.
4. Se aplican herbicidas de posemergencia para eliminar las malezas germinadas.
5. La soya se cosecha entre marzo y abril y seguidamente se siembra avena o maíz para pastoreo por los animales. En septiembre se hace la siembra directa del maíz, conjuntamente con el rebrote de *Brachiaria*.



Este sistema de siembra es utilizado en un área de 700 ha, bajo la administración de la Fundación Mato Grosso do Sul. En esta área se han alcanzado producciones promedio de 2.16 y 2.76 t/ha con *B. decumbens* y *B. brizantha*, respectivamente.

En el área para evaluación de las características del suelo, la producción de biomasa por el sistema de siembra directa fue de 3.5 t/ha y por siembra convencional fue de 3.7 t/ha. Como puntos positivos en la siembra directa se observó una alta población de raíces, un mejoramiento en la estructura del suelo y una alta cantidad de materia seca en descomposición (Salton, J. C., información personal). En otra finca, la siembra directa sobre *B. brizantha* produjo 3.6 t/ha de M.S., mientras que con la siembra convencional se obtuvieron 3.53 t/ha de M.S., siendo en el primer caso US\$34 más bajo los costos.

Existen casos donde los productores realizan la siembra directa durante 2 años. Un productor en Maracajú, Mato Grosso do Sul, en un área de 700 ha —350 ha establecidas con *B. brizantha*, la mitad de esta área tiene 1 año y la otra mitad 2 años, y 350 ha con soya en siembra directa con distribución en área y tiempo similar a la pastura. Este productor aplica un sistema de rotación consistente en el uso de la pastura por 2 años seguido de siembra de soya, avena y maíz por un período igual. En el área de *B. brizantha* (350 ha) mantiene aproximadamente 1000 animales en el período lluvioso y en el invierno adiciona las 350 ha donde sembró avena y maíz después de soya. El sistema con avena sólo es posible en la parte sur de los Cerrados, donde la sequía es menos drástica.

Este sistema de cultivo tiene en cuenta la sostenibilidad de la productividad de la pastura, pero en

áreas de pastura y de suelos recuperados con cultivos anuales aún tiene una serie de problemas, ya que el gran impacto de la renovación se manifiesta solamente en el primer año. En consecuencia, se debe permitir que la pastura se degrade nuevamente para renovarla con cultivos, aplicar fertilización de mantenimiento o hacer siembra directa sobre ella. Después de la recuperación del suelo y de la pastura, el factor limitativo para ésta es la aplicación de nitrógeno. Surgen aquí varios interrogantes. ¿Es viable la fertilización nitrogenada? ¿Cuál es su costo? ¿Cómo desarrollar leguminosas que fijen suficiente nitrógeno?.

La fertilización de mantenimiento es básica para la persistencia de la pastura, especialmente las leguminosas, y para la producción animal. En Minas Gerais, Vilela et al. (1982) obtuvieron buenas producciones de forrajes en pasturas de gramínea y leguminosa y, consecuentemente, incrementos en las ganancias de peso vivo animal con la aplicación anual de 20 y 40 kg/ha de  $P_2O_5$  y  $K_2O$  durante 7 años (Cuadro 21).

Mediante la fertilización de mantenimiento o la recuperación de pasturas se puede mejorar la sostenibilidad de los sistemas. Macedo (1995) encontró un mejoramiento de las condiciones físicas (permeabilidad, porosidad y retención de humedad) de un Latosol Rojo Oscuro Distrófico y arcilloso cuando aplicó fertilización de mantenimiento en *B. decumbens* y *P. maximum* cvs. Tanzânia y Tobiata en Campo Grande, Mato Grosso do Sul.

No obstante, aún no son claras las ventajas de la fertilización de mantenimiento sobre la producción de carne después de algunos años de uso de la pastura, ni cuál sería la condición física y química del suelo para cultivos anuales, especialmente en pasturas asociadas. Estos interrogantes aún no

Cuadro 21. Efecto de niveles de fertilización de mantenimiento con  $P_2O_5$  y  $K_2O$  en la asociación pasto *Panicum maximum-Stylosanthes guianensis* cv. Gracilis-*Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro y *Neonotonia wightii* después de 7 años de utilización, en Alto São Francisco, Minas Gerais.

Características	Niveles de fertilización					
	0		20 <sup>a</sup>		40 <sup>b</sup>	
	Año 1	Año 7	Año 1	Año 7	Año 1	Año 7
Cobertura gramíneas (%)	53	15	58	58	59	74
Cobertura leguminosa (%)	11	2	15	10	15	25
Ocupación U.A./ha	1	0.3	1.2	1.2	1.4	2
Ganancia PV/ha por año	229	70	360	360	376	500

a. 20 kg/ha por año de  $P_2O_5$  y  $K_2O$ .

b. 40 kg/ha por año de  $P_2O_5$  y  $K_2O$ .

FUENTE: Vilela et al. (1982).

tienen respuestas claras y es necesario más investigación a largo plazo.

## Forrajeras Anuales en Areas de Cultivos

En los Cerrados, las áreas de producción de cultivos anuales como soya, maíz y arroz, generalmente permanecen en descanso después de la cosecha, durante la época seca de mayo a octubre. Sin embargo, muchos productores de la región sur siembran avena después de la cosecha del cultivo de verano, y en las regiones menos frías, al centro y norte, siembran maíz.

Con estos sistemas se pretende proteger los suelos y proporcionar materia muerta seca para la siembra directa; recientemente, con la aparición de nuevos cultivares de maíz de ciclo más largo, esa práctica tiende a extenderse. Pero, además de cubrir el suelo, surgió el interés de utilizar las especies establecidas para pastoreo directo con animales durante los periodos secos y lluviosos, tal como se ha venido haciendo con maíz, o para fabricar heno y ensilaje.

El maíz se puede establecer en rotación con cultivos anuales o para la renovación de pasturas, como se describió anteriormente. Su utilización bajo pastoreo puede ser en otoño, cuando se siembra después de la cosecha de soya, o en primavera y verano. Estas pasturas también se pueden cultivar con irrigación suplementaria, y muchos productores las utilizan para el ganado de carne o leche. En trabajos realizados en el municipio de Ponta Porã, Mato Grosso do Sul, Thiago et al. (1995) obtuvieron un mejor desempeño de terneros de carne en pastoreo de avena en el período seco y de maíz en el verano. Los tratamientos evaluados fueron: (1) Pastura 100% con *B. brizantha* (sistema tradicional). (2) Pastura 50% de área con *B. brizantha* y 50% con avena en el invierno y maíz en el verano. (3) Tratamiento 2 + suplementación de concentrado a razón de 0.8% de peso vivo. La carga fue de 1 U.A./ha y solamente fue ajustada en el testigo. Se utilizaron terneros de la raza Nelore y mestizos Nelore/Charole y Nelore/Chianina, divididos en destetos y de 1 año en el inicio del experimento. Los animales permanecieron durante dos ciclos en

avena y un ciclo en maíz; sólo los animales Nelore permanecieron más de dos ciclos en maíz antes de alcanzar el peso para sacrificio.

El pastoreo en avena y maíz favoreció el desempeño animal, pero en el segundo ciclo de avena el desempeño no fue satisfactorio, ya que solamente la suplementación proporcionó una mejor ganancia de peso, como se observa en los Cuadros 22 a 24. Se debe resaltar que sólo los animales mestizos con suplementación de la pastura anual o con pastura anual más concentrado alcanzaron pesos para sacrificio en noviembre de 1994. Los Nelore alcanzaron este peso solamente después del periodo de las lluvias siguientes (febrero-95). En el invierno (época seca), *B. brizantha* presentó contenidos de proteína bruta (PB) de 5.8% y digestibilidad (DIVMO) de 47%; la avena alcanzó 21.7% de PB y 70% de

DIVMO. En el verano, *B. brizantha* tenía 11.5% de PB y 67% de DIVMO, y el maíz 21% de PB y 74% de DIVMO.

También en Río Brillhante, Mato Grosso do Sul, novillos de 220 kg de peso vivo inicial presentaron buen desempeño en pastoreo de avena, y *P. maximun* cv. Tanzânia seguidos de maíz (Cuadro 25). En esa evaluación también se encontraron diferencias entre los grupos genéticos utilizados.

El sistema que involucra la utilización de forrajeras anuales (avena, maíz o sorgo) en pastoreo, en realidad es más importante en aquellas explotaciones donde se realiza la producción conjunta de ganado y granos. En estos sistemas también es importante el potencial genético del animal, ya que animales mestizos han proporcionado mejor desempeño, no sólo en ganancia de peso vivo, sino en

Cuadro 22. Efecto de la suplementación de avena en la ganancia de peso vivo (g/animal por día) en animales mestizos y Nelore.

Tratamientos <sup>a</sup>	Ciclo de pastoreo	Mestizo		Nelore		Promedio tratamientos
		D <sup>b</sup>	So <sup>c</sup>	D	So	
T1		253	175	148	189	191 A*
T2	Julio/oct.	590	569	363	460	499 B
T3	1993	655	760	438	576	607 C
Grupo genético		503 A		362 B		
T1		48	-175	-117	-213	-38 A
T2	Julio/sept.	8	-145	-119	-147	-105 B
T3	1994	366	-187	331	224	327 C
Grupo genético		62 A		7 B		

a. Los tratamientos evaluados fueron: (T1) Pastura 100% con *B. brizantha* (sistema tradicional). (T2) Pastura 50% de área con *B. brizantha* y 50% con avena en el invierno y maíz en el verano. (T3) T2 + suplementación de concentrado a razón de 0.8% de peso vivo.

b. Animales destetos de 7 a 8 meses.

c. Animales de 12 a 13 meses.

\* Promedios en cada columna o hilera seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

FUENTE: Thiago et al. (1995).

Cuadro 23. Efecto del maíz en la ganancia de peso vivo (g/animal por día) en animales mestizos y Nelore. Cerrado, Brasil.

Tratamientos <sup>a</sup>	Ciclo de pastoreo	Mestizo		Nelore		Promedio tratamientos
		D <sup>b</sup>	So <sup>c</sup>	D	So	
T1		690	651	592	631	641 A*
T2	Nov./feb.	959	993	764	805	880 B
T3	1993-94	810	775	703	882	817 B
Grupo genético		830 A		730 B		
T1		824	726	743	726	726 A
T2	Nov./feb.	998	895	739	721	811 A
T3	1994-95	611	639	611	603	616 B
Grupo genético		765 A		695 B		

- a. Los tratamientos evaluados fueron: (T1) Pastura 100% con *B. brizantha* (sistema tradicional). (T2) Pastura 50% de área con *B. brizantha* y 50% con avena en el invierno y maíz en el verano. (T3) T2 + suplementación de concentrado a razón de 0.8% de peso vivo.
- b. Animales destetos de 7 a 8 meses.
- c. Animales de 12 a 13 meses.
- \* Promedios en cada columna o hilera seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

FUENTE: Thiago et al. (1995).

Cuadro 24. Peso vivo (kg/animal) en noviembre de 94 y febrero de 1995 dentro de grupos genéticos para cada tratamiento. Cerrado, Brasil.

Tratamientos <sup>a</sup>	Epoca	Mestizo		Nelore		Promedio tratamientos
		D <sup>b</sup>	So <sup>c</sup>	D	So	
T1		342	370	282	328	331 A*
T2	Nov./94	370	427	323	380	331 A
T3		428	478	362	421	422 C
Grupo genético		407 A		350 B		
T1		425	443	358	405	408 A
T2	Feb./95	487	518	398	453	464 B
T3		490	542	423	482	484 C
Promedio		467 A	501 B	393 C	447 D	
Grupo genético		484 A		420 B		

- a. Los tratamientos evaluados fueron: (T1) Pastura 100% con *B. brizantha* (sistema tradicional). (T2) Pastura 50% de área con *B. brizantha* y 50% con avena en el invierno y maíz en el verano. (T3) T2 + suplementación de concentrado a razón de 0.8% de peso vivo.
- b. Animales destetos de 7 a 8 meses.
- c. Animales de 12 a 13 meses.
- \* Promedios en cada columna o hilera seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa ( $P < 0.05$ ), según la prueba de Duncan.

FUENTE: Thiago et al. (1995).

Cuadro 25. Comportamiento de animales mestizos y Nelore en pasturas de avena, maíz y *Panicum maximum* cv. Tanzania. Hacienda Remanso, Río Brilhante, Mato Grosso do Sul (1994-95).

Grupo genético	Avena (J-A) <sup>a</sup> GPD <sup>b</sup> (56 días) (g)	cv. Tanzânia (S-O) <sup>a</sup> GPD (65 días) (g)	Maíz (N-D) <sup>a</sup> GPD (69 días) (g)	Ganancia total	
				GPD (190 días) (g)	GPP <sup>c</sup> (190 días) (kg)
½ Hereford x ½ Nelore	939	139	700	579	110
½ Pardo Suizo x ½ Nelore	795	75	728	524	100
½ Simental x ½ Nelore	921	35	738	552	105
¾ Nelore x ¼ Pardo Suizo	789	63	690	505	97
¾ Nelore x ¼ Simental	716	37	671	467	88
7/8 Nelore x 1/8 Simental	513	120	652	429	81
Three Cross (1/2 Chia x Ne/P.Suizo)	1020	86	738	599	114
Three Cross (1/2 Devon x Ne/P.Suizo)	977	-12	651	520	98
Ganado lechero	902	128	642	540	103
Promedio de ganancias/períodos	840	60	710	520	100

a. J-A = julio y agosto; S-O = septiembre y octubre; N-D = noviembre y diciembre.

b. GPD = Ganancia de peso promedio diario.

c. GPP = Ganancia de peso en el período.

FUENTE: Porto, J. C. et al. (1995), CNPGC-EMBRAPA (datos no publicados).

la fase de terminación durante la época seca cuando el precio de mercado es entre 20% y 30% mayor.

## Utilización de Residuos de Cultivos

En los sistemas sostenibles de producción agropecuaria, la utilización de residuos de cultivos no es promisoría, ya que se estaría afectando la cobertura del suelo, el costo de recolectar los residuos es alto y su valor nutritivo es muy bajo. No obstante, algunos métodos de utilización pueden ser importantes; así, el libre acceso de los animales a las áreas de cultivo les permite seleccionar componentes de mejor calidad, aunque con este sistema se puede favorecer la invasión de malezas en áreas de cultivo.

Bajo ciertas circunstancias, es necesario remover el exceso de residuos para establecer el cultivo siguiente. Esto puede facilitar la cosecha, como en el caso de arroz bajo riego, cuando se desea una segunda siembra del cultivo. Siempre es importante que las heces de los animales se incorporen en las áreas donde se retiran los residuos.

En el Cerrado, la disponibilidad de residuos de cultivos es alta, pero su recolección no es factible; además, los suelos son pobres en M.O. y la remoción de estos residuos perjudica algunas características como la M.O. y la capacidad de intercambio de cationes ligada a ella.

Los residuos de arroz, frijol, maíz y trigo, y aún los de caña de azúcar, deben ser utilizados en un sitio próximo a la cosecha, ya que el transporte a más de 25 km eleva los

costos de manera significativa. La aplicación de urea o amonio a los residuos de cosecha incrementa los contenidos de PB y reduce la fibra, mejorando su uso por los animales (Reis y Rodrigues, 1993). Este tratamiento es más interesante en henos de baja calidad y su costo generalmente no tiene ventajas. Cuando se ofrecen como fuente exclusiva de nutrientes para los animales, proporcionan sólo pequeñas ganancias de peso vivo.

Los residuos de caña de azúcar, cogollos o bagazo, tienen la misma limitación que los residuos de cosechas. El bagazo auto-hidrolizado presenta mejor calidad y está siendo utilizado en confinamiento de bovinos cerca a las industrias de alcohol y azúcar. La principal perspectiva para el uso de estos residuos se centra en la producción de energía para la industria.

Silva et al. (1992) presentan información completa sobre uso de residuos agrícolas e industriales para la alimentación animal, considerando las etapas de cosecha, tratamiento y aprovechamiento.

## **Suplementación en Pastoreo**

La suplementación en pastoreo ha despertado el interés de muchos ganaderos y de manera especial a quienes manejan sistemas integrados agricultura-ganadería. Este sistema se realiza normalmente en una o varias de las etapas: cría junto a la madre, recría o levante, y ceba.

La edad avanzada al sacrificio de los bovinos en la región del Cerrado es resultado de su pobre desempeño en las etapas de cría y especialmente en el levante, debido al estrés durante la época seca. La suplementación en esta

época favorece un desarrollo continuo de los animales, evitando interrupciones en el crecimiento.

En la región, el 80% del crecimiento de las pasturas ocurre en el período lluvioso y el 20% en el seco, por tanto, una estrategia de manejo consiste en guarda parte del excedente de forraje del primero disponible para el segundo. Sin embargo, este forraje es de baja calidad, siendo necesario mejorar la dieta de los animales con suplementación proteica y energética. Dicha suplementación busca reducir la edad para sacrificio, produciendo un ternero precoz con mayor valor comercial o reduciendo la edad a primer parto.

Normalmente, la suplementación se hace con granos como maíz, sorgo y soya; o con harinas, tortas, henos y productos industriales como urea. La suplementación es más lógica cuando el agricultor produce los insumos en su propiedad. Otra alternativa es cultivo de leguminosas forrajeras en bancos de proteína a los cuales los animales tienen acceso durante el período de sequía.

La suplementación en la etapa de cría tiene como fin mejorar el peso de los terneros en el momento del destete. Normalmente se utiliza maíz triturado más 20% de harina de soya. Con esta ración es posible obtener aumentos adicionales de peso vivo entre 20 y 30 kg al momento del destete de los terneros.

Euclides et al. (1995), en Campo Grande, Mato Grosso do Sul, evaluaron cuatro alternativas de suplementación en pasturas de *B. decumbens*. Los animales utilizados eran terneros destetos de la raza Nelore y se sometieron a tratamientos siguientes:

- (1) Suplementación en la primera época seca, después del destete.
- (2) Suplementación solamente en la

segunda época seca.

(3) Suplementación en la primera y la segunda época seca.

(4) Suplementación en la primera época seca y confinamiento en la segunda.

Todos los animales se sometieron a los tratamientos hasta el momento de sacrificio con peso vivo de 440 kg.

La suplementación consistía en una ración compuesta de 80% de maíz triturado y 20% de torta de soya (17% de PB y 76% de NDT). Para garantizar un consumo promedio diario de la ración equivalente a 0.8% de peso vivo, se proporcionaron 1700 g/animal por día en la primera época seca de 75 días, y 3500 g/animal por día en segunda de 85 días. En el Cuadro 26 se incluyen los resultados económicos de este trabajo, siendo importante señalar que:

1. La edad de sacrificio a 26 y 28 meses de edad (tratamientos C y B), a pesar de ocurrir fuera de la época seca, posibilitan la liberación de pasturas que se utilizan en el período seco siguiente;
2. El descanso de la pastura a partir de enero y febrero es ideal para *B. decumbens* en la región de Brasil Central;

3. Los animales con edad entre 26 y 28 meses al momento de sacrificio se clasifican como terneros precoces; y
4. La mayor o menor rentabilidad de sistemas alternativos de producción de ganado de carne, aún es función de los precios medios de novillos gordos vigentes en los períodos de sequía. Por ejemplo, si no se considera la diferencia de precio en estos períodos, los tratamientos A y E seguirían en los últimos lugares, mientras el tratamiento B sería el mejor, seguido de los tratamientos C y D.

El mismo patrón de respuesta se presentó con animales media sangre Angus x Nelore; inclusive, éstos alcanzaron el peso de sacrificio de una manera más precoz (Cuadro 27) (Euclides et al., 1996).

Cuando se evalúa la oportunidad de suplementar durante el período seco es importante considerar, además de los puntos antes mencionados, los siguientes:

1. Para que la suplementación sea exitosa es necesario que la pastura proporcione una biomasa

Cuadro 26. Efecto de sistemas de suplementación en pastoreo sobre la edad y época de sacrificio de terneros Nelore. Cerrados, Brasil.

Tratamiento de sacrificio	Edad de sacrificio (meses)	Epoca de rentabilidad	Orden
A. Suplementación sólo en la primera época seca	31	Junio	4
B. Suplementación sólo en la segunda época seca	28	Febrero	2
C. Suplementación en la primera y segunda época seca	26	Diciembre	3
D. Suplementación en la primera época seca y confinamiento en la segunda	23	Septiembre	1
E. Sin suplementación (testigo)	38	Diciembre	5

Cuadro 27. Efecto de los sistemas de suplementación en pastoreo en la edad y época de sacrificio de terneros Angus x Nelore. Cerrado, Brasil.

Tratamiento <sup>a</sup>	Edad (meses)	Epoca
A	26	Marzo
B	25	Febrero
C	24	Enero
D	21	Octubre
E	29	Julio

a. Los tratamientos son iguales a los que aparecen en el Cuadro 26.

FUENTE: Euclides et al. (1996).

suficiente, 2.5 a 3 t de M.S., en el inicio de la época seca. En el caso de *B. decumbens*, la pastura debe tener entre 25 y 30 cm de altura; y

2. Antes de iniciar la suplementación, el productor debe medir la ganancia de peso de los animales a partir del mes de mayo, de manera que sólo suplemente en el período estrictamente necesario, iniciando la oferta de la ración cuando los animales se encuentran próximos a perder peso.

Un segundo experimento está en progreso con animales Angus x Nelore, siendo la ganancia de peso vivo en el primero período seco de 620 g/animal por día en los animales suplementados y de sólo 73 g en los testigos sin suplemento.

También es posible suplementar urea, pero su manejo es difícil. Valadares Filho (1995) menciona que la adición de 3% a 5% de urea reduce el consumo de concentrado por animales en pastoreo.

## Confinamiento

Esa actividad es realizada por diferentes tipos de productores que tienen cultivos para producción de

ensilaje y granos, y que mantienen animales en compañía con otros ganaderos. El grupo más interesante es el de productores que tienen animales destinados al confinamiento con granos y ensilaje con equipos y tecnología adecuados. Este productor normalmente adquiere la cosechadora y el equipo para el acarreo del forraje a los comederos en campo abierto.

El confinamiento tiene una duración entre 80 y 120 días y constituye la etapa de terminación de los animales durante el período seco, para la venta en el período entre agosto y noviembre. El objetivo es producir un animal más joven y de mejor calidad (Cebú x una raza europea), levantado en pastoreo, con o sin suplemento de avena o maíz. Los animales normalmente son confinados cuando tienen un peso vivo entre 350 y 380 kg y se venden en la época cuando el precio en el mercado es entre 20% y 30% mayor, con peso entre 450 y 470 kg.

Otra ventaja del confinamiento es la reducción de la ocupación de las pasturas durante el período seco. Para los productores de granos y de bovinos, este sistema mejora el flujo financiero de la explotación por venta de animales en la época previa a la inversión de recursos para cultivos de verano.

Las técnicas para confinar animales son ampliamente conocidas. La principal dificultad es producir los volúmenes de concentrado necesarios para alimentar los animales. La alimentación representa entre 70% y 80% de los costos de operación del sistema. Según Thiago y Costa (1994), el rango de ganancia de peso vivo animal económicamente viable está entre 700 y 1100 g/día, dependiendo del tipo de animal, edad y peso inicial.

Las dietas normalmente contienen de 50% a 70% en volumen como heno, ensilaje, o caña, y 30% a 50% de



concentrado de maíz, sorgo, soya, algodón, tortas, harinas y residuos de la limpieza de granos.

La necesidad de producir alimentos con costos dio origen a nuevas alternativas agrícolas. Los ensilajes, heno o granos para confinamiento se producen en la época normal de siembra o en cultivo en rotación. Este último sistema se ha difundido en los últimos años, con la siembra de maíz, sorgo o avena después de los cultivos de verano. La rotación de cultivos presenta, entre otras ventajas, el mantenimiento de la cobertura del suelo; la posibilidad de rotar cultivos a corto plazo; el uso intensivo del suelo; el control de malezas y el uso más racional de maquinaria y mano de obra.

A continuación se citan algunos sistemas de cultivos en rotación, en los cuales el cultivo principal se siembra en el período normal entre octubre y noviembre y el de rotación desde febrero hasta final de abril.

- Soya seguida del maíz, sorgo, o avena;
- Maíz seguido de millo o avena;
- Maíz para ensilaje seguido de sorgo, millo, avena o leguminosas

para abono verde o corte. La leguminosa puede estar asociada con sorgo o millo;

- Frijol seguido de maíz, sorgo, o millo; y
- Arroz seguido de sorgo o millo.

Los cultivos de rotación pueden ser destinados a producir granos, ensilaje, heno o corte para suministro directo a los animales. Estos cultivos generalmente rinden menos que el cultivo en el período normal, su productividad es altamente dependiente de la ocurrencia de lluvias y temperaturas favorables durante su ciclo de crecimiento.

El maíz en cultivo de rotación normalmente produce entre 2 y 3.5 t/ha de granos y entre 10 y 15 t/ha de ensilaje. El sorgo, por resistir la sequía, presenta productividades superiores. Sin embargo, su potencial es variable, dependiendo de la variedad más adaptada para siembra en rotación. En Dourados, Mato Grosso do Sul, en ensayos realizados por Embrapa Agropecuária Oeste, se encontraron comportamientos diferentes de tres cultivares de sorgo, dependiendo de la época de siembra (Cuadro 28). Ribas y Zago (1986)

Cuadro 28. Análisis de cultivar dentro de época y análisis conjunto para cultivares de sorgo, en Dourados, Mato Grosso do Sul, 1982.

Cultivar	Epoca de verano (kg/ha) <sup>a</sup>	Epoca de invierno		Análisis conjunto verano/invierno (kg/ha)
		(kg/ha) <sup>b</sup>	(kg/ha) <sup>c</sup>	
BR-300	2556	1796 a*	1577 a	1796 a
Contiouro	2401	233 c	368 b	1000 c
AG-1002	1919	1204 b	1499 a	1541 b
F	2.27 ns	49.99**	14.59**	38.75**
C.V. (%)	19	21	31	10

a. Siembra en noviembre 21.

b. Siembra en marzo 30.

c. Siembra en abril 23.

\* Promedios en cada columna o hilera seguidos de letras iguales no difieren en forma significativa (P < 0.05), según la prueba de Duncan.

presentan resultados con ocho cultivares de sorgo de grano cultivados en rotación en diferentes localidades. En Capinópolis, MG, las producciones variaron entre 3.5 y 4.8 t/ha; en Patos de Minas, MG, entre 5.6 y 6.7 t/ha; en Santa Helena, Goiás, entre 5 y 6.6 t/ha; y en Inhumas, Goiás, entre 1.4 y 7.9 t/ha. Estos mismos investigadores mencionan producciones entre 26 y 38 t/ha de MS de cinco cultivares de sorgo forrajero en áreas idénticas; y de 28 líneas de sorgo para corte y pastoreo en siembras en rotación en la localidad de Capinópolis, con producción entre 36 y 50 t/ha con siembra en febrero y cortes entre abril y mayo. En Mato Grosso do Sul se han encontrado producciones de sorgo de grano entre 1.5 y 4 t/ha en siembras en rotación.

Considerando una producción de 30 t/ha de ensilaje, 2 t de sorgo como cultivo en rotación y 2.1 t/ha de soya, para un confinamiento de 100 animales durante 100 días con ganancias de peso vivo entre 0.7 y 1 kg/animal por día, con un consumo promedio diario/animal estimado de 20 kg de ensilaje, 2 kg de sorgo y 0.5 kg de soya, más 130 g de urea y 50 g de mezcla mineral, sería necesario utilizar 19.5 ha, de la manera siguiente:

Ensilaje de maíz: 20 kg/animal por día =  
 $2000 \text{ kg} \times 100 = 200,000 \text{ kg} (\pm 7 \text{ ha})$ ;

Sorgo de grano: 20 kg/animal por día =  
 $200 \text{ kg} \times 100 = 20,000 \text{ kg} (\pm 10 \text{ ha})$ ; y

Soya de grano: 0.5 kg/animal por día =  
 $50 \text{ kg} \times 100 = 5000 \text{ kg} (\pm 2.5 \text{ ha})$ .

En ese sistema, el maíz se siembra en octubre, antes de la siembra de la soya, el cultivo más frecuente en la región que se siembra en noviembre. El sorgo se siembra en rotación con maíz para ensilaje, el cual se cosecha al final de enero. Se debe señalar que la cosecha de maíz para ensilaje dificulta un poco el cultivo de soya, ya que al final de enero es necesario hacer el

control de plagas en este cultivo. El sorgo se cosecha al final de mayo, después de la cosecha de soya. Otro aspecto importante es que el confinamiento se hace entre mayo y junio hasta agosto u octubre, cuando la mano de obra en la propiedad es relativamente poco utilizada.

Existen otras formas de producción de forrajes para confinamiento de animales, dependiendo de las facilidades de equipos, disponibilidad de residuos y subproductos de las agroindustrias.

## Aspectos Socioeconómicos

Para alcanzar una alta eficiencia productiva en términos económicos y de preservación de los recursos naturales, en los sistemas integrados de producción agropastoril es fundamental que los productores dispongan de una buena organización gerencial y un nivel razonable de controles sobre las operaciones de campo y de un apoyo financiero suficiente.

El interés del productor en determinado tipo de explotación depende del gusto personal y de las posibilidades de alcanzar una ganancia económica razonable. Bajo ciertas circunstancias, un ganadero puede que no esté interesado en la producción de granos; sin embargo, podrá contratar servicios o arrendar en sociedad tierras agrícolas para dedicarlas a cultivos anuales —en el Cerrado, alrededor de 40% de la producción de granos se hace en tierras bajo arriendo. Por otra parte, teniendo en consideración los elevados costos de ciertos cultivos anuales, podrá ser interesante no cobrar el arriendo de tierras cuando se trata de renovación de pasturas, e inclusive, colaborar en la compra de insumos para obtener como retorno áreas con mejores pasturas en un tiempo más corto. En estas condiciones

el productor puede aprovechar el área para sembrar avena o maíz para el pastoreo de animales con ganancias de peso vivo entre 36 y 50 kg/ha, en comparación con 25 ó 36 kg/ha en la pastura degradada.

Los costos de oportunidad de la renovación directa de la pastura o a través de cultivos anuales deben ser bien analizados, especialmente las inversiones necesarias, ya que el productor tiene gastos mayores y necesita garantizar el retorno de ellos. Se debe poner especial atención en los costos de los insumos y en las posibilidades de comercialización en el futuro para garantizar la economía del negocio a largo plazo.

Se debe igualmente prestar una atención especial a la productividad del sistema: si se hicieron inversiones en la recuperación de pastura es necesario que el hato tenga potencial genético y manejo adecuado para garantizar el uso eficiente de la pastura. Para un hato con 60% de natalidad y 8% de mortalidad, la tasa interna de retorno de renovación de pasturas fue de 6.9% cuando se cultivó arroz por 1 año, de 8.43% en la recuperación directa, y de 10.1% cuando se cultivó soya por 2 años. Cuando la natalidad incremento a 80% y la mortalidad se redujo a 4%, las tasas de retorno para cada uno de los sistemas anteriores fueron, respectivamente, de 12.7%, 12.8% y 18.3%.

Cuando se utilizan avena y maíz para pastoreo o suplementación en confinamiento, es importante que el objetivo y el tipo de animales estén bien definidos, considerando la edad a sacrificio en la época de mejor precio de mercado y la calidad de la carne en canal. Algunos estados de Brasil están aplicando menores impuestos para terneros hasta de 30 meses de edad al sacrificio.

Para un buen desarrollo físico y económico de los hatos se deben considerar las diversas formas de utilización de pasturas y suplementación. Cezar (1995), en trabajos de simulación sobre utilización de sistemas agropastoriles, encontró reducciones de la edad a sacrificio de 42 a 26 meses y en el uso de pasturas de 28%, para vender un número igual de animales, lo que representa un aumento de 40% en la producción de carne por hectárea.

En el Cuadro 29 se observan algunos datos sobre los indicadores económicos y físicos. Cuando se agrega el incentivo fiscal a los terneros precoces, el margen bruto es del 42% (Cuadro 30), aunque su desempeño no fue superior al de novillos con 37 meses de edad y confinados durante 65 días. Esto se debió al mayor período de confinamiento (96 días) de los terneros, lo que incrementó los costos por animal. En los Cuadros 31 y 32 se observan aspectos relacionados con el efecto del peso vivo en el momento del destete sobre la producción y la rentabilidad de la producción de carne.

## **Necesidades de Investigación**

Antes del establecimiento de sistemas de producción agropastoriles sostenibles, es necesario responder una serie de preguntas. En consecuencia, se debe investigar más sobre:

1. Las características de la degradación en los suelos agrícolas y las aposturas.
2. Sistemas de cultivos en rotación, incluyendo cultivares, variedades forrajeras anuales y precoces.
3. Cultivares para recuperación de pasturas degradadas,

Cuadro 29. Efecto de la reducción de la edad de sacrificio sobre algunos indicadores físicos.

Especificación	42 meses		37 meses		26 meses	
	Cantidad	Índice	Cantidad	Índice	Cantidad	Índice
<b>Caracterización del sistema</b>						
Area (ha)	4047	100	3443	85	2901	72
Suplementación primera sequía	No	—	No	—	Sí	—
Confinamiento	No	—	Sí	—	Sí	—
Edad al primer parto (años)	3	—	3	—	3	—
Peso al destete (kg)	150	—	150	—	150	—
Epoca de venta de novillo gordo	Cosecha	—	Entre cosecha	—	Entre cosecha	—
<b>Indicadores físicos</b>						
Total de animales/año	7138	100	6466	90	5787	81
Total animales vendidos/año	1325	100	1326	100	1329	100
Días de confinamiento	0	—	65	—	96	—
Disfrute anual (%)	18.55	100	20.50	110	23	124
Peso vivo venta/ha por año (kg)	114.01	100	134.14	118	159.76	140
Carne en canal vendida/ha por año (kg)	38.51	100	57.09	118	68.04	140
Ternero destetado/vaca por año (kg)	108	100	108	100	108	100

FUENTE: Cezar (1995).

Cuadro 30. Efecto de la reducción de la edad de sacrificio sobre los indicadores económicos, sin considerar el interés sobre el capital.

Especificación	42 meses		37 meses		26 meses			
					Sin incentivo		Con incentivo	
	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice	Valor	Índice
Margen bruto/ha por año (R\$)	48.80	100	63.94	131	64.38	132	69.62	142
Margen bruto/animal vendido (R\$)	148.05	100	166.02	111	140.55	94	151.94	102
Margen bruto/peso vivo vendido (R\$)	0.42	100	0.47	111	0.40	95	0.43	102
Margen bruto/kg carcasa vendida (R\$)	1.00	100	1.12	112	0.95	95	1.02	102

FUENTE: Cezar (1995).

4. Prácticas de fertilización de mantenimiento de pasturas degradadas.
5. Manejo de forrajeras para establecimiento de cultivos anuales.
6. Metodologías sobre investigación efectiva en sistemas sostenibles de producción.

Cuadro 31. Efecto del peso al destete en la economía de producción del ternero precoz. Cerrados, Brasil.

Especificación	Peso al destete					
	150 kg		180 kg		220 kg	
	Valor	Indice	Valor	Indice	Valor	Indice
<b>Caracterización del sistema</b>						
Area	2901		2901		2901	
Suplementación primera época seca	Sí		Sí		Sí	
Confinamiento	Sí		Sí		Sí	
Alimentación restringida	No		No		No	
Edad al primer parto	3		3		3	
Días de confinamiento	96		66		26	
Edad de sacrificio (meses)	26		25		23	
<b>Indicadores físicos</b>						
Uso animal	23		23		23	
Carne en canal (kg/ha)	68.04		68.06		68.04	
<b>Indicadores económicos</b>						
Margen bruto/ha	56.98	100	63.61	111	71.01	127
Margen bruto/kg de carne	0.83	100	0.93	112	1.04	125

FUENTE: Cezar (1995).

Cuadro 32. Estimativo del efecto de la alimentación restringida en la rentabilidad de la producción del ternero precoz en relación con el peso al destete de 150 kg. Cerrado, Brasil.

Especificación	Peso al destete					
	150 kg		180 kg		220 kg	
Margen bruto/ha por año	56.98	100 <sup>a</sup>	59.12	104 <sup>a</sup>	67	118 <sup>a</sup>
Margen bruto/kg de carne en canal vendida por año	0.83	100	0.86	104	0.98	118

a. Rentabilidad relativa.

FUENTE: Cezar (1995).

7. Obtención de cultivares de maíz y arroz adaptados para siembra conjunta con forrajeras.

La investigación en sistemas parece que no atrae mucho la atención de personas e instituciones, debido a que los experimentos tienen un alto costo y son a largo plazo. En el Cerrado, la experiencia de EMBRAPA en CNPGC y CPAC ha mostrado que

desde los primeros años las informaciones son relevantes y útiles para los productores interesados. Este hecho debe servir para garantizar la continuidad de las investigaciones con el objeto de consolidar esas informaciones. Es necesario, aún, que esta línea de investigación sea institucional y no de un investigador o grupo de investigadores.

## Agradecimientos

A los investigadores del Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (EMBRAPA-CNPGC) que colaboraron para la recolección y análisis de la información aquí presentada.

## Referencias

Para reducir espacio, las siglas y acrónimos siguientes se utilizan en el espacio respectivo:

- CNPAF = Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão  
CNPGC = Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte  
CPAC = Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados  
EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Adamoli, J.; Macedo, J.; Azevedo, L. G. de; y Mattos, J. M. 1986. Caracterização da região dos cerrados. En: EMBRAPA-CPAC. Solos dos Cerrados. Nobel, São Paulo. p. 33-74.

Affin, O. A. 1994. Planejamento e execução de projetos e subprojetos de P&D em sistemas sustentáveis de produção usando enfoque sistêmico ou holístico e o paradigma de agroecossistemas para uma agricultura sustentável. EMBRAPA-CPAC, Planaltina. 179 p. (Sin publicar.)

Barcellos, A. de O.; Diniz, A. V.; y Vilela, L. 1993. Recuperação de pastagens degradada *B. brizantha* cv. Marandú através da cultura de milho. En: 30a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Rio de Janeiro. Anais. Sociedade Brasileira de Zootecnia. p. 79.

Carvalho, S. I.; Vilela, L.; Spain, J. M.; y Karia, C. T. 1990. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk na região dos Cerrados. Pasturas Tropicales 12(2):24-28.

\_\_\_\_\_. 1995. Interferências do arroz, milho, sorgo e milho sobre o crescimento de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, consorciados no Sistema Barreirão. En: 32a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Rio de Janeiro. Anais. Sociedade Brasileira de Zootecnia. p. 50.

Castro, L. H.; Moreira, A. M.; y Assad, E. S. 1994. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos cerrados brasileiros. En: Chuvas nos cerrados: análise e especialização. EMBRAPA-CPAC, Planaltina. p. 13-23.

Cezar, I. M. 1995. Sistemas de produção de novillo precoce. En: Encontro Nacional sobre Novillo Precoce. Anais. CATI, Campinas. p. 39-55.

CONAB. 1995. Previsão e acompanhamento de safras. Companhia Nacional de Abastecimento, 19(3):1-27.

Corrêa, A. S. 1995. Pecuária de corte na região de Cerrados do Brasil Central. EMBRAPA/CNPGC, Brasil. 10 p.

Denarnin, J. E. 1994. Manejo adequado do solo para áreas motomecanizadas. En: 9o. Simpósio de Manejo do Solo e Plantio Direto no Solo do Brasil. 1983. Simpósio sobre Manejo do Solo e Plantio Direto no Sul do Brasil, 1994. Passo Fundo. Anais. p. 107-123.

Euclides, V. P.; Zimmer, A. H.; y Oliveira, M. P. 1993a. Evaluation of *Panicum maximum* cultivars under grazing. En: 17th International Grassland Congress. Rockhampton. Proceedings. p. 1997-1998.

\_\_\_\_\_; Zimmer, A. H.; y Oliveira, M. P. 1993b. Evaluation of *Brachiaria decumbens* under grazing. En: 17th International Grassland Congress, Rockhampton. Proceedings. p. 1999-2000.

\_\_\_\_\_. 1994. Algumas considerações sobre o manejo de pastagens. Documentos 57. EMBRAPA-CNPGC, Brasil. 31 p.

- \_\_\_\_\_; Zenith, J. A.; Euclides Filho, K.; y Figueiredo, G. R. 1995. Suplementação a pasto: Uma alternativa para a produção de novilho precoce. Divulgação no. 1. EMBRAPA-CNPGC, Campo Grande, Brasil.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1985. Censo agropecuário do Brasil. Rio de Janeiro, Brasil.
- Kichel, A. N.; Miranda, C. H. B.; y Macedo, M. C. M. 1996. Conventional and multiple cropping systems of upland rice for reclamation of degraded *Brachiaria decumbens* pastures. En: Octavo Simpósio sobre o Cerrado. Anais. Brasília. EMBRAPA-CPAC. p. 443-445.
- Kluthcouski, J.; Pacheco, A. R.; Teixeira, S. M.; y Oliveira, E. T. 1991. Renovação de pastagens de Cerrado com arroz. 1. Sistema Barreirão. Documento 33. EMBRAPA-CNPAF, Goiânia, Goiás, Brasil. 20 p.
- Kornelius, E.; Sauerssing, M. G.; y Goedert, W. J. 1979. Establecimiento y manejo de praderas en los Cerrados de Brasil. En: Tergas, L. y Sánchez, P. (eds.). Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 159-79.
- Macedo, M. C. y Zimmer, A. H. 1990. Implantação de pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em plantio simultâneo com milho em sucessão à soja em Mato Grosso do Sul. En: 27 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Rio de Janeiro. Anais. Sociedade Brasileira de Zootecnia. Campinas. p. 290.
- \_\_\_\_\_; Euclides, V. P.; y Oliveira, M. P. 1993. Seasonal changes in the chemical composition of cultivated tropical grasses in the Savannas of Brazil. En: 17th International Grassland Congress. Proceedings. Rockhampton. p. 9-10.
- \_\_\_\_\_. 1993. Recuperação de áreas degradadas: Pastagens e cultivos intensivos. En: Setimo Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Goiânia. Resumos. p. 71-72.
- \_\_\_\_\_. 1995. Pastagens no ecossistema Cerrados: Pesquisa para o desenvolvimento sustentável. En: Simpósio sobre Pastagens nos Ecossistemas Brasileiros. Brasília DF. Anais. Sociedade Brasileira de Zootecnia. p. 28-62.
- \_\_\_\_\_. y Zimmer, A. H. 1993. Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. En: Segundo Simpósio sobre Ecossistemas de Pastagens. Jaboticabal. Fundação de Estudos e Pesquisa em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia (FUNEP), Brasil. p. 226-245.
- \_\_\_\_\_; Euclides, V. P.; y Oliveira, M. P. 1993. Seasonal changes in the chemical composition of cultivated tropical grasses in the savannas of Brazil. En: 17th International Grassland Congress. Proceedings. Rockhampton. p. 2000-2002.
- Mendes, M. de L. 1993. O nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycine*). En: Cultura da soja nos Cerrados. Potafos, Piracicaba, Brasil. p. 399-413.
- Miranda, C. H.; Kichel, A. N.; y Macedo, M. C. 1996. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens* com o cultivo simultâneo de milho. En: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ). Anais. Fortaleza, Brasil. 2:75-77.
- Reis, R. A. y Rodrigues, L. R. 1993. Amonização de volumosos. Fundação de Estudos e Pesquisa em Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia (FUNEP), Jaboticabal. 22 p.
- Ribas, P. M. y Zago, C. P. 1986. Sorgo: Uma opção para a produção em cultivos de sucessão. En: 8o. Simpósio sobre o Manejo da Pastagem. Anais. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiros (FEALQ), Piracicaba. p. 243-260.

- Rocha, G. L. 1988. Evolução da pesquisa em forragicultura e pastagens no Brasil. Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz 45(1):50-51.
- Seguy, L.; Kluthcouski, J.; Silva, J.; Blu Menschein, J. G.; y Dall'Aqua, F. N. 1984. Técnicas de preparo do solo: Efeitos da fertilidade e na conservação do solo, nas ervas daninhas e na conservação de água. Circular técnica no. 17. EMBRAPA-CNPAP, Goiânia. 26 p.
- Silva, A. G.; Barbosa, H. P.; y Wanderley, R. C. 1993. Utilização de sub produtos agro-industriais e resíduos de colheita na alimentação de ruminantes. En: Simpósio. 1992. EMBRAPA/Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual (UEPAE), São Carlos. 351 p.
- Sosa-Gomez, D. R.; Gazzoni, D. L.; Ferreira, B. C.; y Moscardi, F. 1993. Pragas da soja e seu controle. En: Cultura da soja nos Cerrados. Potafos, Piracicaba. p. 299-326.
- Thiago, L. R. y Costa, F. P. 1994. Confinamento na prática: Sistemas alternativos. Comunicado técnico no. 50. EMBRAPA-CNPGC, Campo Grande. 17 p.
- \_\_\_\_\_. Silva, J. M.; Gomes, R. F.; Macedo, M. C. M.; Almeida, Z. J.; y Porto, J. C. A. 1995. Validação de técnicas de alimentação visando a redução da idade de abate de novilhos de corte. En: 32. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ). Anais. Brasília. p. 276-278.
- Valadares Filho, S. C. 1995. Nutrição de bovinos de corte: Problemas e perspectivas. En: 32. Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ). Anais. Brasília. p. 156-162.
- Valério, J. R. 1988. Pragas das pastagens. EMBRAPA-CNPGC, Campo Grande, Brasil. 12 p. (Mimeografiado.)
- Vilela, H.; Valadares, A. C.; y Pires, J. A. 1982. Adubação de manutenção em pastagens de capim guiné. En: 19 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia (SBZ). Anais. Piracicaba. p. 333-334.
- Wolf, J. M. 1975. Soil-water relations in Oxisols of Puerto Rico and Brazil. En: Bornemisza, E. y Alvarada, A. (eds.). Soil management in tropical American. Univ. de Carolina del Norte Raleigh, E.U. p. 145-154.
- Yorinori, J. T.; Charchar, M. J. D.; Nasser, L. C. B.; y Henning, A. A. 1993. Doenças da soja e seu controle. En: Cultura da soja nos Cerrados. Potafos, Piracicaba. p. 333-390.
- Zimmer, A. H.; y Pimentel, D. M. 1986. Aspectos práticos ligados à formação de pastagens. Circular técnica no. 12. EMBRAPA-CNPGC, Campo Grande. 42 p.
- \_\_\_\_\_.; Macedo, M. C. M.; Barcellos, A. O.; y Kichel, A. N. 1994. Estabelecimento e recuperação de pastagens de brachiária. En: 11 Simpósio sobre o Manejo da Pastagem. Anais. Piracicaba. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiros (FEALQ). Anais. p. 153-208.
- \_\_\_\_\_. y Correa, E. S. 1993. Pecuária nacional ¿Uma pecuária de pasto? En: Encontro sobre Recuperação de Pastagens. Nova Odessa. Anais. p. 1-25.



## **CAPITULO 18**

# **Evaluación de Sistemas Agropastoriles en la Altillanura de la Orinoquia Colombiana**

*R. A. Valencia R., C. R. Salamanca, G. E. Navas R.,  
J. E. Baquero P., A. Rincón y H. Delgado\**

## **Contenido**

Resumen	284
Abstract	285
Introducción	286
Metodología de Trabajo	288
Resultados	289
Comportamiento agronómico de los cultivos dentro de sistemas de producción	289
Cambios en las propiedades microbiológicas del suelo	291
Cambios en las propiedades químicas del suelo	293
Cambios en las propiedades físicas del suelo	296
Conclusiones	298
Referencias	299

## **Resumen**

La investigación en cultivos para incorporar las sabanas de la Altillanura colombiana a la producción de alimentos, a través de la generación de variedades mejoradas tolerantes a la acidez del suelo, ha sido liderada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Para la producción animal en esta región, estas instituciones, conjuntamente con el CIAT, han introducido pasturas y leguminosas forrajeras adaptadas y con alto potencial genético. La evaluación de sistemas agropastoriles se viene realizando en suelos Clase IV con una saturación de aluminio inicial del 86%, 2 ppm de P y 2.5% de materia

\* Investigadores de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), C.I. La Libertad, Apartado Aéreo 3129, Villavicencio, Colombia.

orgánica. Se adelanta investigación con tres sistemas de labranza (convencional, vertical y mínima), en un diseño de franjas, seis sistemas de producción y dos niveles de fertilidad. La evaluación de sistemas de producción se inició en el primer semestre de 1995, con la siembra de arroz (*Oryzica Sabana 10*) y pasto *Brachiaria dictyoneura*, que se comparan con sabana nativa. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre los sistemas de labranza para el rendimiento del arroz (convencional 2.13 t/ha, vertical 2.03 t/ha y mínima 1.73 t/ha), mientras que la respuesta a la fertilización fue evidente y significativa. Posterior al cultivo de arroz, la soya (*Soyica Altillanura-2*), como cultivo de rotación produjo, en promedio, 1.36 t/ha, sin diferencias estadísticas entre sistemas de labranza (convencional 1.28 t/ha, vertical 1.26 t/ha y mínima 1.56 t/ha) ni entre niveles de fertilidad. En el segundo ciclo (primer semestre de 1996), después de la rotación con soya, los rendimientos de arroz aumentaron significativamente (convencional 3.34 t/ha, vertical 3.35 t/ha y mínima 3.06 t/ha). Los mayores incrementos se lograron con el sistema arroz-caupí (incorporado)-arroz. La población de bacterias en los sistemas de producción evaluados incrementó significativamente de  $10^2$  a  $10^4$  unidades formadoras de colonias por gramo (ufc/g) de suelo, particularmente en el sistema de labranza convencional. Por otra parte, los hongos y actinomicetos presentaron mayor estabilidad en comparación con las bacterias, con poblaciones, promedio, de  $10^4$  ufc/g de suelo. Los sistemas de rotación de cultivos e incorporación de abonos verdes permitieron incrementar, en relación con la sabana nativa, los contenidos de fósforo (2 a 4.4 ppm), calcio (0.14 a 0.28 meq/100g) y magnesio (0.04 a 0.1 meq/100 g) pero, a la vez, se redujeron significativamente los contenidos de materia orgánica como consecuencia del incremento de la población de bacterias. En las propiedades físicas se observó que los menores valores de resistencia a la penetración de raíces los presentó el sistema arroz-caupí con la labranza mínima; la menor densidad y mayor porosidad se presentaron en los primeros 10 cm del suelo, con reducción significativa de la porosidad a mayor profundidad en el perfil. Estos resultados preliminares de investigaciones en sistemas agropastoriles demuestran los beneficios obtenidos del proceso de rotación de cultivos e incorporación de abonos verdes para el establecimiento de pasturas de alta calidad y bajo costo, en las sabanas ácidas de la Orinoquia colombiana.

## Abstract

To convert the savannas of the Colombian "Altillanuras" into a food production area, varieties must be developed that can tolerate the region's acid soils. To improve and adapt forage grasses and legumes for animal production, the Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) and the Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) collaborated with the Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). The three institutions also evaluated agropastoral systems on class IV soils, which are characterized by an 86% aluminum saturation, and P contents at 2 ppm and organic matter contents at 2.5%. Three tillage systems (conventional, vertical, and minimum) were applied, in a strip design, to six cropping systems with two fertilization levels. The first system, evaluated in 1995A, was rice/pasture (*Oryzica Sabana 10* and *Brachiaria dictyoneura*, respectively), with native savanna as control. While differences for rice yields among fertilization levels were significant, they were not among tillage systems (conventional = 2137 kg, vertical = 2036 kg, and minimum = 1736 kg/ha). The next crop rotated after rice was soybean (*Soyica Altillanura 2*), which produced an average of 1367 kg/ha. Again, no statistical differences were found among tillage systems (conventional = 1281 kg, vertical = 1260 kg, and minimum 1561 kg/ha), but were found between fertilization levels. In the second cycle (1996A), in rotation after soybean, rice yields increased significantly from the previous

cycle, although not between tillage systems (conventional = 3340 kg, vertical = 3356 kg, and minimum = 3062 kg/ha). The highest increases in yield were obtained with rice/cowpea/rice, in which cowpea was used as green manure. Bacterial populations increased significantly from  $10^2$  to  $10^4$  cfu/g of soil, particularly under conventional tillage. Fungi and actinomycetes were more stable than the bacteria, having average populations of  $10^4$  cfu/g of soil. The soil's properties also changed: nutrient availability increased for P (from 2 to 4.4 ppm), calcium (from 0.14 to 0.28 meq/100 g), and magnesium (from 0.04 to 0.10 meq/100 g). However, organic matter content dropped significantly as the bacterial populations increased. The lowest values for resistance to root penetration were observed in the rice/cowpea rotation with minimum tillage. The first 10 cm of topsoil presented the lowest values for bulk density and the highest for porosity, but values for porosity dropped significantly with increasing soil depth. These preliminary results demonstrate the benefits of crop rotation and green manure incorporation in establishing high-quality, low-cost pastures in acid soils.

## Introducción

Las sabanas de la Altillanura plana en la Orinoquia colombiana tienen una extensión aproximada de 3.1 millones de hectáreas, que se encuentra actualmente subutilizada con una ganadería extensiva en pasturas naturales de bajo poder nutricional. Esta región tiene un gran potencial para la producción agrícola y animal, ya que sus suelos tienen características físicas, químicas y biológicas que ameritan un manejo especial. La estrategia está en la búsqueda de nuevos patrones tecnológicos que contribuyan con el crecimiento agropecuario bajo los principios de equidad y de conservación, donde se promueva el uso de tecnologías como el manejo integrado de cultivos y manejo más eficiente de los recursos.

El establecimiento de sistemas integrados de producción sostenible es, a mediano y largo plazo, el mayor desafío de la investigación, más aun cuando se trata de incorporar nuevas áreas al desarrollo agropecuario del país. La investigación en cultivos para incorporar estas áreas a la producción de alimentos, ha sido liderada por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), conjuntamente con la

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), a través de la generación de variedades mejoradas tolerantes a la acidez del suelo (ver Capítulo 9, este libro). Para la producción animal se han introducido, conjuntamente con el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), pasturas y leguminosas forrajeras de alto potencial genético (Valencia y Leal, 1996). Este germoplasma disponible es fuente importante para la producción sostenible en las condiciones de la Orinoquia colombiana. No obstante, aún es necesario desarrollar tecnologías para un uso eficiente y racional del recurso suelo bajo el modelo de sistemas integrados de producción, que contribuya con el establecimiento de pasturas mejoradas de bajo costo. Estas tecnologías deben estar orientadas hacia la recuperación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos degradados; y un manejo eficiente de los factores bióticos con programas integrados de control de plagas, para que la explotación agropecuaria sea una actividad altamente estable y competitiva.

En los sistemas actuales de producción, uno de los campos de

investigación más incipiente es el relacionado con la población microbiana en el suelo. Los microorganismos nativos del suelo son los responsables del mejoramiento de las propiedades físicas y químicas de los suelos y de la nutrición de los cultivos, lo que ocurre por medio de procesos como la fijación de nitrógeno atmosférico; la degradación de substratos de difícil descomposición, que hacen más eficiente la solubilización de los fertilizantes; y la absorción y translocación de los nutrientes (García, 1984). En los sistemas de agricultura sostenible, los microorganismos en el suelo ejercen un papel importante en la dinámica de la materia orgánica (M.O.) y en el reciclado de nutrientes mediante su intervención en los procesos de inmovilización y mineralización (Castro y Amézquita, 1991).

La microflora del suelo se caracteriza por su diversidad que comprende cinco grupos principales: hongos, bacterias, actinomicetos, algas y protozoarios que pertenecen a innumerables géneros y especies. Las bacterias más numerosas en el suelo pertenecen a los géneros *Pseudomonas* y *Arthrobacter* (75% a 90%). Los actinomicetos en el suelo son heterotróficos y degradan una amplia gama de compuestos nitrogenados y carbonados, tales como celulosas, hemicelulosas, proteínas y, posiblemente, ligninas. En forma similar a los hongos, son más comunes en suelos secos que en húmedos y con una temperatura cercana a 28 °C. Se encuentran en placas con los valores de  $10^5$  a  $10^8$  colonias por gramo de suelo (Pelczar et al., 1982).

Las micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) endotróficas son raíces asociadas simbióticamente con hongos de la familia *Endogonae* que se forman en casi todas las especies de plantas superiores. Para la formación de la simbiosis no se conoce

especificidad entre especies de hongos MVA y especies determinadas de plantas. Aunque las MVA se encuentran en todos los climas y suelos en forma natural, su presencia puede variar cuantitativamente. La MVA es una asociación simbiótica esencial para la nutrición de muchas especies de plantas, y es un recurso microbiológico con alto potencial de explotación que representa beneficios económicos y ecológicos (Sieverding et al., 1989).

En general, los beneficios para la planta de la asociación con los hongos formadores de MVA son muchos, siendo la nutrición la función más importante, ya que mediante el micelio externo del hongo, la raíz micorrizada explora un volumen más grande de suelo para la absorción de nutrientes, en especial los elementos poco móviles como P, Zn, S, Ca, Mo y B. El hongo transporta los nutrientes, principalmente el P (organo-fosfatos), a través del micelio hacia la raíz y los intercambia en las células epidérmicas de la misma por carbohidratos que requieren para su desarrollo. Otros beneficios son la síntesis de hormonas vegetales, el mejoramiento de la resistencia o tolerancia de la planta a enfermedades radiculares y el aumento de la eficiencia de otros simbiontes, como el *Rhizobium*. Indirectamente, esta asociación contribuye a la tolerancia de la planta a condiciones adversas en su entorno, entre ellas, estrés por agua, extremos de temperatura del suelo, pH, desbalances de nutrientes, presencia de sustancias o elementos tóxicos en el suelo (Sieverding et al., 1989).

Una alternativa para determinar los cambios que ocurren en un ecosistema es la evaluación de la dinámica de los microorganismos como un indicador del impacto agroecológico que puede causar la introducción de los diferentes sistemas de labranza y rotación de cultivos en los sistemas de producción agropastoril. Por medio de

este tipo de evaluación de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas en suelos ácidos, se pretende definir el manejo más sostenible para el sistema agropastoril, que garantice el reciclado de nutrimentos y un mayor equilibrio en el ecosistema, al disminuir el patrón de erosión y promover la actividad biológica.

## Metodología de Trabajo

La evaluación de sistemas agropastoriles se viene realizando en la finca La Maloca, a 31 km de Puerto López vía Puerto Gaitán, en suelos Clase IV de la Altillanura colombiana, con una saturación de aluminio inicial del 86%, 2 ppm de P y 2.5% de M.O. La zona se encuentra a 360 m.s.n.m.; con una precipitación, promedio anual, de 2200 mm; una temperatura de 27 °C y humedad relativa de 78%.

En una investigación en 4 ha se evalúan tres sistemas de labranza, seis sistemas de producción y dos niveles de fertilidad del suelo. Las unidades experimentales de 320 m<sup>2</sup> se distribuyeron en un diseño de franjas divididas con tres repeticiones.

La aplicación de los sistemas de labranza se realiza exclusivamente en el primer y segundo semestre de cada año. Todas las unidades experimentales reciben un mismo tratamiento que consiste en un pase de rastra-pulidor para la incorporación de cal dolomítica. Los sistemas son: (1) convencional con dos pases de rastra profunda y un pase de pulidor; (2) vertical consistente en un pase de cincel vibratorio y un pase de pulidor; y (3) mínima con un pase de pulidor.

Los materiales genéticos de arroz utilizados corresponden a variedades desarrolladas para suelos ácidos: arroz (*Oryzica Sabana 10*), soya (*Soyica Altillanura-2*), maíz (*Sikuaní V-110*) y

pasto mejorado (*Brachiaria dictyoneura*). Los sistemas de producción en evaluación son los siguientes:

1. Arroz-soya (3 años-3 ciclos) y arroz/pastos (cuarto año).
2. Arroz-soya (3 años-3 ciclos) y maíz/pastos (cuarto año).
3. Arroz-caupí (3 años-3 ciclos) y arroz/pastos (cuarto año).
4. Arroz-caupí (3 años-3 ciclos) y maíz/pastos (cuarto año).
5. Pasto mejorado introducido (de 1 a 4 años).
6. Sabana nativa (de 1 a 4 años).

Como especie forrajera introducida se seleccionó *Brachiaria dictyoneura* (cv. Llanero), que tiene buena adaptación a las condiciones de la Altillanura, con características sobresalientes en cobertura, producción de forraje, tolerancia al mión de los pastos, buena producción de semilla y consumo por animales en pastoreo.

En esos estudios se utilizan los niveles de fertilización recomendados para cada cultivo en condiciones de sabana, así: para arroz = 120-120-120-3 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y Zn; y para soya = 0-80-60-0, respectivamente. El primer nivel con dosis completa y el segundo nivel con el 66% del primero.

Durante 18 meses de evaluación de los sistemas de producción se ha obtenido información sobre altura de planta, producción de materia seca (M.S.), reacción a enfermedades y componentes de rendimiento en cultivos de arroz, soya, caupí y pastos. También se han hecho análisis de caracterización química de suelos, incluyendo elementos menores; análisis físicos como la penetrometría, infiltración, densidad y porosidad del suelo; análisis biológico de suelos para

determinar las unidades formadoras de colonias de bacterias, hongos, actinomicetos y micorrizas.

Para los análisis fisicoquímicos del suelo se tomaron muestras entre 0 y 30 cm de profundidad en cada unidad experimental, después del primer ciclo de rotación arroz-soya. Los análisis físicos de densidad aparente y densidad real se efectuaron con muestras sin disturbar obtenidas con anillos metálicos —tres muestras por tratamiento a profundidades entre 0-10, 10-20 y 20-30 cm— con el método gravimétrico y método del picnómetro, respectivamente. Las medidas de resistencia del suelo se hicieron con un penetrómetro electrónico, tomando cuatro lecturas por tratamiento después de la cosecha del cultivo. La medición de infiltración se realizó una vez al año en la época seca y en cada tratamiento, usando anillos infiltrómetros. La estabilidad estructural se determinó superficialmente por el método de Yoder en tres muestras por tratamiento (IGAC, 1990).

## Resultados

La evaluación de sistemas agropastoriles se inició en el primer semestre de 1995, con la siembra de la

variedad de arroz *Oryzica Sabana 10*, altamente tolerante a saturación de aluminio (85%-90%), alto potencial de rendimiento y buena calidad de grano. La siembra se realizó sobre los sistemas de labranza convencional, vertical y mínima, en un diseño de franjas.

### **Comportamiento agronómico de los cultivos dentro de sistemas de producción**

En el análisis de los resultados no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los sistemas de labranza para la variable rendimiento, mientras que la respuesta a la fertilización fue evidente y significativa. Con la aplicación de 120-120-120-3 kg/ha de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O y Zn, respectivamente, el promedio del rendimiento fue de 2.19 t/ha de arroz paddy y con 66% de esta fertilización fue de 1.76 t/ha. En el segundo ciclo (1996A), después de la rotación con soya, aunque los rendimientos aumentaron significativamente (en promedio, 1.20 t/ha) no se observaron diferencias entre sistemas de labranza, tanto en el sistema arroz-soya como en el sistema arroz-caupí. Los mayores incrementos en rendimiento se lograron con el sistema arroz-caupí (incorporado) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rendimiento (t/ha) de arroz *Oryzica Sabana 10* en sistemas de producción agropastoril en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistema de labranza	Arroz después de sabana nativa 1995A	Arroz después de caupí 1996A	Arroz después de soya 1996A	Soya después de arroz 1995B
Convencional	2.13	3.39	3.28	1.28
Vertical (cincel)	2.03	3.50	3.21	1.26
Mínima	1.73	3.25	2.87	1.56
Promedio	1.98	3.38	3.12	1.36
C.V. (%)	15.6	8.6	8.4	21.4
DMS	0.53	0.32	0.62	0.39

Los beneficios obtenidos por la rotación arroz-soya o por la incorporación de caupí se deben, en parte, a la fijación simbiótica de nitrógeno por las bacterias *Bradyrhizobium japonicum* en soya y *Rhizobium* sp. en caupí, que contribuyen con nitrógeno para los cultivos subsiguientes; sin embargo, los mayores beneficios se obtuvieron cuando el material vegetal fue incorporado en el suelo.

Por otra parte, la variedad de soya Soyica Altillanura-2, tolerante a 70% de saturación de aluminio, es una de las alternativas más viables para los sistemas de producción sostenible de las sabanas ácidas de la Orinoquia colombiana. En el primer ciclo después de arroz, el rendimiento promedio de la variedad fue de 1.36 t/ha, sin diferencias estadísticas entre los sistemas de labranza y niveles de fertilidad, pero sí con tendencia a incrementar el rendimiento con la labranza mínima (1.56 t/ha). Es necesario observar que, para las siembras (soya y caupí) del segundo semestre, la preparación fue homogénea para todas las unidades experimentales, y consistió en un pase de guadaña para cortar la soca de arroz, aplicación de cal dolomítica (300 kg/ha) y un pase de rastra para incorporar la cal. Con este procedimiento se pretende aplicar los

sistemas de labranza únicamente en el primer semestre para reducir la mecanización excesiva de los suelos durante el segundo semestre.

El caupí se considera como cultivo para descanso de los lotes, ya que no se cosecha sino que se incorpora y tiene como propósito mantener y mejorar la productividad de los suelos y reducir los problemas de malezas, insectos plaga y enfermedades. Además, es una especie de ciclo vegetativo corto, tolerante a aluminio y multipropósito, que contribuye a mejorar las propiedades del suelo. La mejor respuesta en producción de arroz se logró en el sistema arroz-caupí-arroz, con un rendimiento, promedio, de 3.38 t/ha. No obstante, una de sus desventajas es su rápida descomposición y pérdida acelerada de nitrógeno.

Cuarenta y cinco días después de la emergencia, se evaluaron las producciones de materia fresca (M.F.) y M.S. en soya y caupí. El análisis estadístico mostró diferencias en ambas entre cultivos. El caupí produjo, en promedio, 2.50 t/ha de M.S., mientras que la soya produjo 1.87 t/ha de M.S. (Cuadro 2).

Entre sistemas de labranza no se encontraron diferencias. Aunque la relación M.S./M.F. fue mayor para soya

Cuadro 2. Producción de materia fresca (M.F.) y seca (M.S.) de soya (Soyica Altillanura-2) y caupí (ICA Menegua), en tres sistemas de labranza, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1995B.

Sistema de labranza	Caupí (t/ha)		Soya (t/ha)	
	M.F.	M.S.	M.F.	M.S.
Convencional	11.39	2.52	5.33	1.89
Vertical	12.05	2.47	5.05	1.77
Mínima	11.73	2.50	6.27	1.95
Promedio	11.69	2.50	5.55	1.87
Relación (M.S./M.F.)	21.4%		33.8%	

(33.8%), mientras que caupí presentó una mayor producción de M.S. (0.62 t/ha más que soya). Estos resultados sugieren que los altos contenidos de agua que acumula la planta de caupí favorecen los procesos de descomposición vegetal por la acción de las bacterias.

Con el método de labranza mínima, el rendimiento de arroz paddy presentó una tendencia decreciente, en comparación con los otros sistemas, mientras que en soya ocurrió lo contrario (Cuadro 1). Una de las causas de estos efectos es el endurecimiento por formación de costras superficiales en el suelo debido a los pases de rastra superficial (pulidor) y al impacto de las lluvias. Las semillas pequeñas, como las de arroz y pastos, presentan mayores dificultades para emerger y crecer en suelos endurecidos en los primeros 3 cm de la capa vegetal, a diferencia de las semillas de mayor tamaño como las de soya, que con su imbibición y fuerza de cotiledones rompen con más facilidad esta pequeña capa endurecida.

Efectos similares se presentaron en el establecimiento de *B. dictyoneura*. Después de 45 días de la siembra, la población de plántulas/m<sup>2</sup> de esta especie presentó una reducción, siendo inferior a 1 planta/m<sup>2</sup> en el tratamiento de labranza mínima; esto contrasta con el número aceptable de plántulas en los tratamientos de labranza convencional y con cincel. En estos últimos métodos, la población fue de 5 plántulas/m<sup>2</sup>, lo cual asegura un buen establecimiento con una rápida cobertura del área por el crecimiento estolonífero de esta gramínea. Como consecuencia de lo anterior, la cobertura de esta gramínea fue superior a 75%, sin presencia de malezas, lo que contrasta con el tratamiento de labranza mínima que presentó una cobertura entre 10% y

15% e invasión de malezas de hoja ancha y angosta superior a 60%.

Las producciones de M.S. (t/ha) de *B. dictyoneura* cv. Llanero fueron de 4.82 en el sistema convencional, 4.70 en el vertical y de 0.42 en el de labranza mínima. En estos sistemas, las producciones de malezas de hojas anchas fueron, respectivamente, de 0.07, 0 y 1.04 t/ha; y de malezas de hoja angosta de 0.040, 0 y 2.55 t/ha.

Las labranzas convencional y con cincel son adecuadas para sembrar pasturas bajo las condiciones específicas de este suelo, ya que proporcionan buena producción de forraje después de 5 meses, con más de 4 t/ha de M.S. y presentan una baja incidencia de malezas.

En los sistemas en evaluación, hasta el momento no se ha observado incidencia alta de enfermedades ni de plagas que justifiquen la aplicación de productos químicos. La incidencia de malezas entre los sistemas de producción fue mayor en la labranza mínima, como resultado de una menor competencia del cultivo de arroz o pasturas en condiciones de manejo sin control de aquellas.

### ***Cambios en las propiedades microbiológicas del suelo***

La población de bacterias en el suelo bajo los sistemas de producción evaluados incrementó significativamente de 10<sup>2</sup> a 10<sup>4</sup> conteos de unidades formadoras de colonias por gramo (ufc/g) de suelo, particularmente en el sistema de labranza convencional. Por otra parte, los hongos y actinomicetos presentaron mayor estabilidad en comparación con las bacterias en los diferentes sistemas de producción, con un promedio de poblaciones de 10<sup>4</sup> ufc/g de suelo.

La evaluación de la dinámica de la población de microorganismos en el



sistema agropastoril se realizó en 1995 y 1996 mediante la medición de ufc/g de suelo rizosférico. En el Cuadro 3 se observa el efecto de la labranza y los sistemas de producción en la población microbiana de la rizosfera, 1 día después de la cosecha de arroz (1995A).

El suelo en sabana nativa presentó una población inicial de bacterias muy baja ( $5.4 \times 10^2$  ufc/g), la cual se incrementó al introducir los sistemas de arroz y *B. dictyoneura*, especialmente en la labranza convencional. Las bacterias encontradas en el suelo rizosférico nativo y en el suelo disturbado son heterótrofas, es decir, que dependen de las sustancias orgánicas para el

suministro de energía.

Morfológicamente presentaron dos tipos de colonias y al microscopio se observaron bacilos móviles en forma de bastones cortos, los cuales se caracterizaron como Gram-negativos (Sánchez, 1986). En este campo falta aún realizar las pruebas fisiológicas específicas para clasificar e identificar las bacterias.

Las bacterias presentaron incrementos en su población al introducir el sistema agropastoril, debido a que se pueden multiplicar muy rápidamente bajo condiciones favorables y pueden agotar temporalmente los nutrimentos. Poco se conoce sobre el comportamiento de las bacterias bajo condiciones de los

Cuadro 3. Efecto de la labranza y sistemas de producción en la población microbiana (ufc/g)<sup>a</sup> de la rizosfera, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1995A.

Sistema de labranza	Arroz			<i>Brachiaria dictyoneura</i>		
	Bacterias x10 <sup>2</sup>	Hongos x10 <sup>3</sup>	Actinomicetos x10 <sup>4</sup>	Bacterias x10 <sup>2</sup>	Hongos x10 <sup>2</sup>	Actinomicetos x10 <sup>4</sup>
Convencional	580.0	3.5	4.4	1100.0	3.0	29.0
Vertical	130.0	3.0	23.0	230.0	51.0	8.7
Mínima	21.0	1.5	3.7	500.0	1.5	11.0
Suelo nativo <sup>b</sup>	5.4	8.0	4.9	5.4	8.0	49.0

a. ufc = unidades formadoras de colonias por gramo de suelo. Promedio de 2 repeticiones.

b. Suelo sin disturbar.

Cuadro 4. Efecto de la labranza y sistemas de producción en la población microbiana (ufc/g)<sup>a</sup> de la rizosfera en los sistemas arroz-soya y arroz-caupí, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistema de labranza	Arroz-soya			Arroz-caupí		
	Bacterias x10 <sup>2</sup>	Hongos x10 <sup>2</sup>	Actinomicetos x10 <sup>4</sup>	Bacterias x10 <sup>2</sup>	Hongos x10 <sup>2</sup>	Actinomicetos x10 <sup>4</sup>
Convencional	92.0	16.0	3.0	260.0	16.0	4.3
Vertical	48.0	4.0	3.9	88.0	2.8	4.3
Mínima	68.0	2.8	2.6	64.0	40.0	3.6
Suelo nativo <sup>b</sup>	5.6	12.0	1.7	5.6	12.0	1.7

a. ufc = unidades formadoras de colonias por gramo de suelo. Promedio de 2 repeticiones.

b. Suelo sin disturbar.

Cuadro 5. Efecto de la labranza y sistemas de producción en la población microbiana (ufc/g)<sup>a</sup> de la rizosfera en sistemas con *Brachiaria dictyoneura* y en la sabana nativa, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistemas de labranza	<i>B. dictyoneura</i>			Sabana nativa		
	Bacterias x10 <sup>2</sup>	Hongos x10 <sup>2</sup>	Actinomicetos x10 <sup>4</sup>	Bacterias x10 <sup>2</sup>	Hongos x10 <sup>2</sup>	Actinomicetos x10 <sup>4</sup>
Convencional	18.0	24.0	3.9	52.0	12.0	3.0
Vertical	60.0	2.0	4.1	72.0	0.8	2.2
Mínima	81.0	7.6	3.2	44.0	2.5	5.7
Suelo nativo <sup>b</sup>	5.6	12.0	1.7	5.6	12.0	1.7

a. ufc = unidades formadoras de colonias por gramo de suelo. Promedio de 2 repeticiones.

b. Suelo sin disturbar.

suelos de la Altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia, o de su importancia en relación con la fertilidad y la estructura del suelo. La población de hongos y actinomicetos permaneció estable en relación con la introducción de sistemas agropastoriles durante el primer ciclo de los cultivos en 1995A (Cuadro 3).

En los Cuadros 4 y 5 se observan los resultados en el muestreo de 1996A, después del primer ciclo de rotación e incorporación de caupí. Los resultados indican que el mayor incremento en la población de bacterias ocurrió en el sistema arroz-caupí, que pasó de 10<sup>2</sup> a 10<sup>3</sup> ufc/g, mientras que en los sistemas arroz-soya, *B. dictyoneura* y sabana nativa presentaron un promedio de 10<sup>2</sup> ufc/g. La población de actinomicetos fue muy estable en todos los sistemas de producción y labranza.

Los hongos encontrados en la rizosfera del suelo nativo y en los sistemas de producción son heterótrofos. Las colonias se aislaron en cultivo puro y se caracterizaron por estructuras reproductivas especializadas (hifas, esporas sexuales o conidias y conidióforos) y se clasificaron en géneros como: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium* y *Mucor*. La población de hongos en el suelo fue más estable y su crecimiento

más lento en relación con las bacterias. Estos hongos son los responsables de la degradación de la celulosa y la hemicelulosa.

Dentro de la flora microbiana en la rizosfera del suelo de sabana nativa se encontraron micorrizas, con un bajo porcentaje de infección y un reducido número de esporas. En la población inicial de microorganismos se encontró mayor cantidad de actinomicetos (10<sup>4</sup> ufc/g) en sabana nativa en comparación con las poblaciones de bacterias y hongos. Las poblaciones de actinomicetos permanecieron estables en los sistemas de producción. En el medio de cultivo se observaron diferentes tipos de colonias que se identificaron como Gram-positivos por medio de la tinción de Gram y por observación a través de microscopio.

Los actinomicetos son organismos heterotróficos de morfología muy variable, difíciles de clasificar y comunes en suelos secos. Se considera que desempeñan un papel importante en la formación de humus, por su capacidad para degradar sustancias resistentes de los tejidos de las plantas (celulosa, polisacáridos, humicelulosa, queratina y ácido oxálico) de alto peso molecular que son convertidas en ácidos húmicos altamente polimerizados (Burbano, 1989).

### **Cambios en las propiedades químicas del suelo**

Se presentaron cambios en los contenidos de nutrientes en el suelo por efecto de la labranza, rotación e incorporación de abonos verdes, en comparación con el suelo testigo. En general, en los diferentes sistemas de producción evaluados se observaron incrementos en los contenidos de P, Ca y Mg, pero se redujeron los contenidos de M.O. como consecuencia del incremento de la población de bacterias. En el sistema arroz-soya se encontró un menor contenido de M.O. y Al, y un incremento de P, Ca y Na en relación con los demás sistemas de producción (Cuadro 6). Entre sistemas de labranza se presentó una tendencia similar con reducción de la M.O., especialmente en los sistemas arroz-soya y arroz-caupí (Cuadros 7 y 8).

Los elementos menores variaron de manera diferente. En los diferentes sistemas de producción se observó una reducción de los contenidos de Fe, Cu y Mn, e incremento en B y Zn, comparativamente con el suelo nativo testigo. En general, los mayores cambios se presentaron en el sistema arroz-caupí con incrementos de 0.15 a 0.76 ppm en B y de 1 a 2.37 ppm en Zn (Cuadro 9). Estos resultados concuerdan con los obtenidos en otros estudios (Angel y Prager, 1990; Restrepo y Navas, 1982; Sánchez y López, 1983).

Dentro de los sistemas de labranza, el contenido de elementos menores presentó una tendencia similar a la observada en los sistemas de producción, en relación con el suelo testigo. Las mayores diferencias se observaron con la preparación por

Cuadro 6. Análisis químico de elementos mayores de los suelos en varios sistemas de producción, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistemas de producción	pH	M.O. (%)	P (ppm)	Al	Ca	Mg	K	Na	Sat. Al (%)
Arroz-soya	4.6	1.6	4.4	1.2	0.28	0.10	0.05	0.12	71
Arroz-caupí	4.6	1.9	3.2	1.6	0.24	0.10	0.06	0.07	77
<i>B. dictyoneura</i>	4.6	1.9	2.6	1.4	0.25	0.10	0.03	0.06	76
Sabana nativa	4.6	2.2	2.8	1.6	0.25	0.10	0.03	0.07	78
Suelo nativo	4.8	2.3	2.0	1.4	0.14	0.04	0.04	0.12	80

Cuadro 7. Efecto de la labranza sobre las propiedades químicas del suelo en el sistema arroz-soya, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistema de labranza	pH	M.O. (%)	P (ppm)	Al	Ca	Mg	K	Na	Sat. Al (%)
Convencional	4.5	1.5	2.2	1.3	0.27	0.09	0.05	0.07	73
Vertical	4.6	1.7	6.7	1.2	0.27	0.10	0.04	0.07	71
Mínima	4.6	1.5	4.2	1.2	0.29	0.10	0.04	0.07	71
Suelo nativo	4.8	2.3	2.0	1.4	0.14	0.04	0.04	0.12	80

Cuadro 8. Efecto de la labranza sobre las propiedades químicas del suelo en el sistema arroz-caupí, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistema de labranza	pH	M.O. (%)	P (ppm)	Elementos intercambiables (meq/100 g)					Sat. Al (%)
				Al	Ca	Mg	K	Na	
Convencional	4.6	2.0	2.5	1.6	0.23	0.09	0.04	0.05	80
Vertical	4.6	1.9	3.5	1.5	0.24	0.09	0.05	0.07	77
Mínima	4.7	1.8	2.5	1.5	0.24	0.09	0.09	0.07	75
Suelo nativo	4.8	2.3	2.0	1.4	0.14	0.04	0.04	0.12	80

Cuadro 9. Análisis de elementos menores del suelo en sistemas de producción, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistemas de producción	Elementos menores (ppm)				
	Fe	B	Cu	Mn	Zn
Arroz-soya	26	0.32	0.32	1.20	1.23
Arroz-caupí	20	0.76	0.31	1.39	2.37
<i>B. dictyoneura</i>	21	0.26	0.28	1.22	1.12
Sabana nativa	19	0.31	0.32	1.21	1.77
Suelo nativo	43	0.15	0.40	1.40	1.00

Cuadro 10. Efecto de la labranza sobre los elementos menores del suelo en el sistema arroz-soya, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistema de labranza	Elementos menores (ppm)				
	Fe	B	Cu	Mn	Zn
Convencional	23.0	0.30	0.22	1.2	1.4
Vertical	23.5	0.24	0.35	1.2	1.4
Mínima	31.2	0.41	0.37	1.2	0.8
Suelo nativo	43.0	0.15	0.40	1.4	1.0

el sistema de labranza mínima (Cuadros 10 y 11).

En los sistemas de producción con *B. dictyoneura* y sabana nativa se observaron aumentos en los contenidos de P, Ca y Mg y disminución en la M.O. y el K intercambiable, presentando un

mayor contenido de nutrientes el suelo de la sabana nativa. En estos sistemas, los elementos menores presentaron un comportamiento similar al que presentaron en el sistema con arroz, o sea, disminución en los contenidos de Fe, Cu y Mn, y aumento de los de Fe, B y Zn, siendo

Cuadro 11. Efecto de la labranza sobre los elementos menores del suelo en el sistema arroz-caupí, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistema de labranza	Elementos menores (ppm)				
	Fe	B	Cu	Mn	Zn
Convencional	19.5	0.37	0.32	1.3	1.3
Vertical	18.5	0.87	0.30	1.3	3.1
Mínima	22.7	1.24	0.30	1.5	2.6
Suelo nativo	43.0	0.15	0.40	1.4	1.0

mayores estos últimos en el suelo con la sabana nativa. Resultados parecidos se encontraron en trabajos similares realizados por otros investigadores (Restrepo y Navas, 1982; Sánchez y López, 1983).

### ***Cambios en las propiedades físicas del suelo***

En todos los sistemas de producción, la resistencia del suelo para el desarrollo de las raíces fue menor (0.5 a 1.5 MPa) en los primeros 6 cm de profundidad. El sistema arroz-caupí presentó los

valores más bajos, en comparación con los demás sistemas de producción, especialmente en la labranza mínima. En el sistema arroz-soya, los valores fueron más altos que en el caso anterior y no se observaron diferencias entre sistemas de labranza. Un comportamiento similar al sistema arroz-soya se presentó en la sabana nativa y en la pastura de *B. dictyoneura*. Otras características físicas como la densidad aparente y porosidad total del suelo, confirmaron los resultados en el sistema arroz-caupí con labranza mínima, ya que el suelo presentó densidad aparente normal

Cuadro 12. Efecto de la labranza y sistemas de producción sobre la porosidad y densidad aparente del suelo en los sistemas arroz-soya y arroz-caupí, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistema	Arroz-soya			Arroz-caupí	
	Profundidad (cm)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
Mínima	0-10	1.38	44.8	1.30	47.8
	10-20	1.43	42.8	1.31	47.4
	20-30	1.50	40.0	1.35	45.8
Convencional	0-10	1.28	48.6	1.26	49.4
	10-20	1.40	44.0	1.37	45.2
	20-30	1.46	41.6	1.51	39.6
Vertical	0-10	1.32	47.0	1.36	45.4
	10-20	1.34	46.4	1.42	43.0
	20-30	1.48	40.6	1.48	40.6

Cuadro 13. Efecto de la labranza y sistemas de producción sobre la porosidad y densidad aparente del suelo en los sistemas *Brachiaria dictyoneura* y en la sabana nativa, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistema	Profundidad (cm)	<i>B. dictyoneura</i>		Sabana nativa	
		Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)
Mínima	0-10	1.35	46.0	1.29	48.2
	10-20	1.36	45.4	1.35	45.8
	20-30	1.48	40.8	1.50	39.8
Convencional	0-10	1.32	47.0	1.24	50.4
	10-20	1.38	44.8	1.35	45.8
	20-30	1.48	40.8	1.44	51.8
Vertical	0-10	1.27	49.2	1.17	53.0
	10-20	1.42	43.0	1.30	48.0
	20-30	1.47	41.0	1.38	44.8

Cuadro 14. Efecto de la labranza sobre la porosidad y densidad aparente del suelo, en los sistemas de producción arroz-soya y arroz-caupí, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia (Puerto López). 1996A.

Sistemas de labranza	Arroz-soya		Arroz-caupí	
	Porosidad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Convencional	44.7	1.38	44.6	1.38
Vertical	44.5	1.39	42.9	1.42
Mínima	42.4	1.43	47.0	1.31

Cuadro 15. Efecto de la labranza sobre la porosidad y densidad aparente del suelo, en los sistemas de producción de *Brachiaria dictyoneura* y sabana nativa, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia (Puerto López). 1996A.

Sistemas de labranza	<i>B. dictyoneura</i>		Sabana nativa	
	Porosidad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
Convencional	44.2	1.39	46.0	1.34
Vertical	44.3	1.39	47.9	1.30
Mínima	43.9	1.40	44.6	1.38

(1.30 g/cm<sup>3</sup>) y buena porosidad total (47%). Otros investigadores encontraron respuestas similares al evaluar diferentes sistemas de labranza (Castro y Amézquita, 1991; Herrera, 1989), mientras que en el sistema arroz-soya ocurrió lo contrario: incremento de la densidad en la labranza mínima y reducción de la porosidad (Cuadros 12 a 15). Este efecto diferencial de la densidad del suelo entre sistemas de producción se atribuye a la incorporación de material vegetal, que contribuye al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.

En general, la porosidad del suelo en los primeros 10 cm varió entre 44.8% y 53% y se redujo con la profundidad, alcanzando a los 30 cm valores entre 39.6% y 51.8%. Los cambios en la densidad y la porosidad del suelo son relativamente bajos, cuando se comparan los sistemas de producción y de labranza. Estas características inversamente proporcionales presentaron cambios estadísticamente significativos en relación con la profundidad en el suelo (Cuadro 16).

Es importante señalar que, por la fragilidad de estos suelos, cualquier sistema de labranza que se utilice aumenta el valor de la tasa básica de infiltración desde moderada (2 a 6.3 cm/h) hasta moderadamente rápida

Cuadro 16. Efecto de la labranza y sistemas de producción sobre la porosidad y la densidad aparente, en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Profundidad (cm)	Porosidad (%)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
0-10	48.0 a*	1.30 c
10-20	44.9 b	1.38 b
20-30	41.4 c	1.47 a

\* P < 0.05.

(6.3 a 12.7 cm/h) (Cuadro 17). Si la infiltración se hace más rápida influirá negativamente en un mayor consumo y pérdida de agua por percolación, ocasionando un mayor lavado de bases intercambiables.

## Conclusiones

Los resultados de este trabajo permiten concluir lo siguiente:

1. Con el sistema de rotación arroz-caupí-arroz se obtuvieron mejores resultados que con el sistema arroz-soya-arroz, aunque en ambos fueron altos.
2. En arroz se incrementaron significativamente sus rendimientos con el aumento en la fertilización, contrario a lo ocurrido con soya.
3. El mejor establecimiento de la pastura de *B. dictyoneura* se logró con las labranzas convencional y vertical.
4. La población de bacterias en los sistemas de producción evaluados incrementó significativamente, particularmente en el sistema de labranza convencional. Los hongos y actinomicetos presentaron mayor estabilidad, en comparación con las bacterias en los diferentes sistemas de producción.
5. Los sistemas de rotación de cultivos e incorporación de abonos verdes permitieron incrementar los contenidos de P, Ca y Mg, en relación con los suelos nativos; sin embargo, redujeron significativamente los contenidos de M.O.
6. En los sistemas de producción arroz-caupí y arroz-soya, la resistencia en el suelo para el desarrollo radicular fue inferior a

Cuadro 17. Efecto de la labranza y sistema de producción sobre la tasa básica de infiltración (cm/h), en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia. 1996A.

Sistemas de labranza	Arroz-soya	Arroz-caupí	<i>B. dictyoneura</i>	Sabana nativa	Clasificación
Convencional	5.25	11.35	14.01	8.24	Moderada/rápida
Vertical	10.28	10.13	8.46	14.2	Moderada/rápida
Mínima	9.30	8.92	11.18	7.09	Moderada/rápida
Suelo nativo	3.05	3.05	3.05	3.05	Moderada

0.5 MPa en los primeros 6 cm, y aumentó progresivamente con la profundidad. Los menores valores de resistencia los presentó el sistema arroz-caupí con labranza mínima.

Los resultados presentados en este capítulo corresponden a 2 años de investigación sobre sistemas de producción agropastoriles en suelos ácidos de la Orinoquia colombiana. El trabajo está proyectado para 5 años, etapa en la cual se harán evaluaciones del comportamiento animal en los diferentes sistemas de producción. No obstante, las informaciones generadas hasta el momento están mostrando el potencial de los sistemas de rotación y de asociación de cultivos y pasturas para las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia.

## Referencias

- Angel, S. D. y Prager, M. M. 1990. Evaluación de abonos verdes en el sistema de maíz-leguminosas. Suelos Ecuatoriales 20(2):38-44.
- Burbano, O. H. 1989. Los microorganismos del suelo. En: El suelo, una visión sobre sus componentes biogénicos. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Pasto, Colombia. p. 75-183.
- Castro, F. y Amézquita, C. E. 1991. Sistemas de labranza y producción de cultivos en suelos con limitantes físicos. Suelos Ecuat. 21(1):21-28.
- García, T. A. 1984. Bioquímica y microbiología de suelos. En: Experimentos en microbiología del suelo. México. 75 p.
- Herrera, P. 1989. Efecto de la labranza sobre algunas propiedades físicas del suelo. Tesis de grado. Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia.
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 1993. Análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Manual de asistencia técnica no. 4. 236 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1990. Propiedades físicas de los suelos. Santafé de Bogotá, D.C., Colombia. 813 p.
- Pelczar, M. J.; Reid, R. D.; y Chan, E. C. 1982. Características de las bacterias, hongos y actinomicetos. En: Microbiología de suelos. México. p. 633-663.
- Restrepo, H. y Navas, J. 1982. Conservación de suelos de la Orinoquia: La erosión física y química al establecimiento de praderas con diferentes niveles de labranza. Suelos Ecuat. 12(2):146-160.
- Sánchez, L. F. y López, N. A. 1983. Efectos de la rotación e incorporación de Caupí (*Vigna unguiculata*) sobre la producción de arroz de riego en los Llanos Orientales. Rev. ICA 18(3):159-166.
- Sánchez, M. P. 1986. Manual de procedimientos en bacteriología clínica. Bogotá, Colombia.



Sieverding, E; Sánchez, P. M.; y Bravo, O. N. 1989. Investigaciones sobre micorrizas en Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional, Palmira, Colombia. p. 1-43.

Valencia, R. R.; y Leal M., D. 1996. Alternativas genéticas para sistemas de producción en sabanas ácidas de la Orinoquia colombiana. Suelos Ecuat. 26(1):35-43.

## **PARTE 5**

# **Experiencias Adquiridas y el Camino Hacia el Futuro**

## CAPITULO 19

# Investigaciones en Sistemas Agropastoriles: Qué Hemos Aprendido y Qué Debemos Hacer en el Futuro

*E. P. Guimarães\**, *J. I. Sanz\*\**, *I. M. Rao\*\** y *E. Amézquita\*\**

## Contenido

Resumen	301
Abstract	302
Introducción	302
Experiencias Adquiridas	304
Transferencia de Tecnología	307
Problemas para la Expansión del Uso de los Sistemas Agropastoriles	308
Perspectivas	309
Referencias	310

## Resumen

El ecosistema de sabanas en Brasil, Colombia, Venezuela y Bolivia presenta alto potencial para la producción sostenible de granos, carne, leche, frutas y maderas. Sin embargo, para alcanzar este objetivo es necesario desarrollar sistemas apropiados para el manejo de los suelos. Los suelos en este ecosistema son ácidos y de baja fertilidad, de estructura frágil y biológicamente pobres; por tanto, requieren sistemas de manejo que mitiguen y corrijan estas condiciones. En esta región predomina la ganadería extensiva de baja eficiencia basada en pasturas nativas; no obstante, en los últimos años ha sufrido una transformación importante, mediante el reemplazo de la sabana nativa por pasturas y cultivos mejorados. En Brasil, especialmente en los campos Cerrados, se ha venido haciendo un gran esfuerzo en investigación sobre sistemas sostenibles para

---

\* Investigador de Embrapa Arroz e Feijão, Caixa Postal 179, 75375-000 Santo Antônio de Goiás, Goiás, Brasil, apoyado por el CNPq.

\*\* Investigadores del CIAT, Apartado Aéreo 6713, Cali, Colombia.

solucionar los problemas de producción agrícola. Como resultado de estos esfuerzos se han desarrollado materiales genéticos de soya, arroz, maíz y otros cultivos, con potencial para crecer en suelos con limitaciones edáficas. En la búsqueda de soluciones productivas, la combinación de pasturas con cultivos adaptados cambió el escenario de las sabanas brasileñas y los sistemas agropastoriles comenzaron a hacer parte de la estrategia de utilización del ecosistema. En Colombia, como resultado de la obtención de germoplasma adaptado de arroz, se intensificó el uso del ecosistema sabanas de los Llanos Orientales. En Venezuela, la situación ha sido similar a la de Colombia, pero en Bolivia ha sido un poco diferente, ya que allí se decidió concentrar los esfuerzos de investigación en sistemas agrosilvopastoriles. En todos los casos, los problemas de sostenibilidad siempre han sido el objetivo principal de las investigaciones. Por otra parte, la inseguridad social en algunas regiones, como es el caso de los Llanos Orientales de Colombia, la falta generalizada de maquinaria agrícola apropiada para el desarrollo de nuevos sistemas de producción y de infraestructura han desestimulado las inversiones de los productores —agricultores y ganaderos— en estas regiones. La tarea en el futuro consistirá en la motivación de los dirigentes y la comunidad internacional para dar seguimiento a los trabajos de utilización sostenible de los recursos en este ecosistema.

## **Abstract**

The savannas of Brazil, Colombia, Venezuela, and Bolivia offer high potential for the sustainable production of grains, meat, milk, fruit, and forest products. To successfully exploit these regions, suitable systems must be developed for managing the soils, which are typically of low fertility, acid, and physically fragile. The savannas are already used for livestock production, an inefficient system of exploitation. Recently, the entire savanna ecosystem, particularly in the Brazilian "Cerrados", has undergone an important transformation in which native pastures are replaced by introduced pastures, crops, and crop/pasture rotations. Research on soybean, rice, maize, and other species has led to the development of cultivars adapted to acid soils. By combining adapted cultivars of both crops and forages in agropastoral systems, farmers have changed the savannas, showing the crop/livestock production system to be a significant component in strategies for exploiting savannas. In Colombia and Venezuela, adapted rice cultivars led to the intensified exploitation of their respective Plains. In Bolivia, more emphasis was given to agrosilvopastoral systems, in which trees play an important role. The social insecurity of certain regions, such as the Colombian Eastern Plains, has prevented the development of infrastructure (e.g., machinery, roads, and storage facilities), thus limiting the adoption of agropastoral technology. Thus, while the overall research objectives for the Latin American savannas are to improve the economic and ecological sustainability of crop/livestock production, the major challenge is to encourage national leaders and the international community to continue supporting research efforts for the sustainable development of these savannas.

## **Introducción**

Las sabanas en Brasil, Colombia, Venezuela y Bolivia constituyen aproximadamente 50% de este ecosistema en el mundo y son una de las únicas fronteras disponibles para la

expansión agrícola (Borlaug y Dowsell, 1994). Los suelos de sabana se caracterizan por su alta acidez, baja fertilidad natural y actividad biológica y, aunque sus condiciones físicas son buenas, son altamente susceptibles a erosión y a la pérdida de estructura

cuando se someten a labranza. Predominan los sistemas de explotación extensiva, poco eficientes y, en su gran mayoría, basados en las pasturas nativas.

Este ecosistema ha sufrido una transformación importante en los últimos años y la sabana nativa ha sido reemplazada en forma paulatina por pasturas mejoradas y cultivos adaptados (Vera, Capítulo 1, este libro). El Brasil ocupa el primer lugar dentro de la escala de desarrollo y de utilización económica y sostenible de esta región, debido a la implementación de políticas de incentivos fiscales para los productores, que ocurrió a partir de la década de los 70. Inicialmente se trabajó con tecnologías y germoplasma introducidos de las regiones del sur del país y, como consecuencia, los resultados en producción y económicos fueron poco halagadores, principalmente aquellos relacionados con cultivos. Inicialmente, la ganadería se desarrolló lentamente, pero este proceso se aceleró con la introducción de especies forrajeras tropicales mejoradas y adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas prevalentes en la región. Para obviar las limitaciones edáficas fue necesario hacer un gran esfuerzo en investigación, lo que hizo posible la generación de cultivares principalmente de soya, arroz y maíz, capaces de producir bajo esas condiciones. La combinación de pasturas y cultivos adaptados cambió el escenario de las sabanas brasileñas: Inicialmente se generaron sistemas agropastoriles poco tecnificados que empezaron a hacer parte de una estrategia de utilización más racional del ecosistema (Lopes et al., Capítulo 2, este libro).

En Colombia, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), conjuntamente con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y

posteriormente con la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA) adelantaron investigaciones para encontrar soluciones tendientes a la intensificación de la utilización de las sabanas (Llanos Orientales) y desarrollaron, a principios de los años 90, el primer germoplasma de arroz, con capacidad para producir eficientemente bajo las condiciones limitantes existentes. Con anterioridad se habían generado varias alternativas de germoplasma de pasturas y de cultivos como soya, que fueron poco utilizadas por los productores. La historia de los sistemas agropastoriles en las sabanas colombianas es aún parte del esfuerzo de quienes quieren edificar la sostenibilidad de sus fincas y de producción en estas regiones.

La situación en Venezuela es similar a la de Colombia. Allí se desarrollaron alternativas de pasturas antes que de germoplasma de cultivos anuales adaptados a las condiciones limitantes de las sabanas. La investigación del Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias (FONAIAP) enfatizó la utilización de los Llanos Orientales, buscando materiales tolerantes a problemas de fertilidad en los suelos y a la deficiencia hídrica. El progreso de estas estrategias fue lento y en la actualidad la integración de esa investigación en sistemas agropastoriles es todavía una ambición de investigadores y productores agrícolas y ganaderos de avanzada.

La historia en las sabanas de Bolivia es un poco diferente. El Centro de Investigación Agrícola Tropical (CIAT/Santa Cruz) decidió concentrar sus esfuerzos de investigación en sistemas en los cuales los árboles tienen un rol importante. Las pasturas fueron combinadas con cercas y barreras vivas de árboles en sistemas

agrosilvopastoriles. Los cultivos dentro de este sistema aún están bajo estudio y en pruebas de adaptación en las regiones de interés del gobierno.

En los países anteriores, los problemas de sostenibilidad de los sistemas de producción han sido el objeto fundamental de las investigaciones, ya que se ha encontrado que el uso continuado de los suelos con cultivos como la soya en Brasil (Cardoso, 1993) y el arroz en Colombia (Preciado, 1997) se manifiesta en reducciones progresivas en los rendimientos. Por otro lado, los problemas de degradación de las pasturas ocasionados por sobrepastoreo o mal manejo, han favorecido la caída en los rendimientos, la erosión, la deficiencia hídrica, la pérdida de estructura y la compactación, ocasionando la pérdida general de la capacidad productiva del suelo, como se ha observado en Colombia y Venezuela.

La ausencia de seguridad social en algunas regiones de sabana, como en el caso de los Llanos Orientales de Colombia; la falta generalizada de maquinaria agrícola apropiada para manejo de suelos y de cultivos; y la deficiente infraestructura de carreteras y silos son algunos de los factores que han desestimulado a los productores a invertir en esas regiones. Sin embargo, la investigación ha generado un gran volumen de información que está estimulando las inversiones en la región.

A continuación se describen los procesos evolutivos del desarrollo de esas tecnologías, los problemas encontrados y las expectativas futuras en los sistemas agropastoriles.

## Experiencias Adquiridas

En cada país, y de forma independiente, el inicio del proceso de utilización de las sabanas se basó en el

desarrollo aislado de los componentes agrícolas y pecuarios. Los esfuerzos se enfocaron hacia la identificación del mejor germoplasma de pasturas o cultivos y las mejores técnicas de manejo agronómico (Friesen et al., 1997; Kluthcouski et al., 1991; Macedo, 1995; Rao et al., 1993; Spain et al., 1996; Thomas et al., 1995; Thomas et al., 1999; Vera et al., 1992; Zeigler y Toledo, 1993; Zeigler et al., 1995), sin considerar cómo serían los resultados de utilizar estas tecnologías dentro de sistemas integrados pasturas-cultivos.

En Brasil, después de que se identificaron algunas especies de *Brachiaria* como alternativa para aumentar la productividad de las sabanas, se desarrolló germoplasma de cultivos como el arroz, que se adaptaron bien en asociaciones con *Brachiaria* sp. (Kluthcouski et al., 1991). La soya fue otro cultivo tropical seleccionado que rápidamente ocupó la mayor parte de la región de sabanas (Roessing y Guedes, 1993; Spehar et al., 1993) estimulando el desarrollo. Se generaron igualmente variedades de maíz adaptadas a suelos ácidos y pobres (Bahia-Filho et al., 1997).

La utilización aislada de los componentes de pasturas o cultivos mostró rápidamente la falta de sostenibilidad de los sistemas. Seguy et al. (1988) muestran cómo los rendimientos de arroz en Mato Grosso se redujeron drásticamente debido, probablemente, a la competencia de las malezas y a la caída en las reservas de los nutrimentos en el suelo. Euclides (1994) presenta datos similares que muestran la degradación de las pasturas. En Colombia, Valencia et al. (Capítulo 9, este libro) muestran las alternativas desarrolladas para la Orinoquia colombiana e identifican especies forrajeras como *B. dictyoneura* y *Andropogon gayanus*, y la variedad de arroz Oryzica Sabana-6 adaptada a las condiciones prevalentes en la región como material genético útil para la

renovación de pasturas. Sin embargo, antes de la aparición del arroz se encontraba disponible la variedad de soya Soyica Altillanura 2 (Valencia, 1994). Preciado (1997) muestra datos importantes sobre manejo del suelo y la importancia de las malezas en la estabilidad de los sistemas agropastoriles en los Llanos Orientales de Colombia.

En Venezuela (Rodríguez et al., Capítulo 11, este libro) en trabajos colaborativos dentro de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT) identificaron germoplasma de gramíneas y leguminosas con potencial para pasturas en los Llanos Orientales de Venezuela. Igualmente se han identificado líneas promisorias de arroz y maíz que están en proceso final de evaluación y de multiplicación de semillas.

El caso de Bolivia no es diferente; la necesidad de los ganaderos por pasturas mejoradas hizo que las investigaciones se orientaran hacia la búsqueda de alternativas basadas en componentes de pasturas y de cultivos (Martínez, Capítulo 12, este libro).

Como se observa, el objetivo de todos los programas nacionales de investigación en la región consistió en desarrollar de una forma aislada los componentes de los sistemas, identificando, principalmente, variedades de pastos para atender la demanda de los ganaderos que fueron los primeros colonizadores de las sabanas. Los cultivos de soya, maíz y arroz surgieron más recientemente, debido a la demanda del mercado por granos. Posteriormente surgió la idea de sistemas integrados de exploración agropecuaria, debido a la necesidad de resolver los problemas de sostenibilidad originados en los monocultivos de pasturas, cereales o leguminosas.

Los productores en fincas que utilizan sistemas agropastoriles se interesan, no sólo en los rendimientos y la rentabilidad de los cultivos, sino, y aun más, en la productividad de sus hatos. Estudios realizados en pasturas mejoradas de los Llanos Orientales de Colombia muestran ganancias de peso vivo animal en la época seca hasta de 600 g/animal por día (Lascano y Euclides, 1996).

Para la explotación sostenible de los sistemas agropastoriles es importante que en las investigaciones se tenga en cuenta el componente animal, principalmente su potencial genético buscando una mayor productividad por animal y por área. En la región de los Cerrados de Brasil, el promedio de la edad al sacrificio de los bovinos es de 48 meses, como resultado de su baja calidad genética. Magnabosco (comunicación personal) encontró que animales seleccionados de la raza Nelore presentaron ganancias diarias de peso vivo de 300 g/animal durante el período seco y de 700 g en la época de lluvias. En este caso, la edad al sacrificio se redujo a 24 meses con un peso de 450 g/animal.

Además de los avances en la producción de germoplasma forrajero, se generó información importante en otras áreas. El suelo, el factor más responsable de la sostenibilidad de la producción, ha recibido cada vez más atención. Se han generado nuevos conceptos para garantizar el mejoramiento integral —físico, químico y biológico— y la estabilidad en la intensificación de uso y mayor sostenibilidad. Amézquita et al. (Capítulo 4, este libro) discuten la forma cómo el uso de los suelos afecta sus propiedades e interfiere con la sostenibilidad del ecosistema, lo que también se demuestra con los resultados obtenidos en Brasil y Colombia (Amézquita, 1998a; 1998b).

La maquinaria agrícola para la preparación de los suelos y el efecto en la sostenibilidad del ecosistema de sabana ha merecido un estudio especial. Se ha podido determinar que el uso continuado de rastras pesadas destruye la estructura, produce sellamiento superficial y causa compactación, impidiendo el desarrollo de las raíces de pasturas y de cultivos, lo que favorece su rápida degradación y el estrés por sequía y falta de nutrimentos. En ensayos sobre suelos arenosos y arcillosos, típicos de las sabanas, se ha encontrado que la preparación temprana, antes del inicio del período lluvioso, es recomendable para incrementar la producción de granos. Con esta labor es posible duplicar la producción de arroz (CIAT, 1989). Equipos como el subsolador, arado de disco y arado de vertedera han sido alternativas recomendables para una buena preparación de los suelos en los Cerrados de Brasil. Sin embargo, su utilización no puede ser generalizada para todas las condiciones. En Colombia, los suelos que fueron sometidos a preparación con arado de vertedera no produjeron los resultados esperados, debido a que toda la M.O. y los nutrimentos fueron incorporados en el subsuelo perjudicando el desarrollo del arroz. En los Llanos Orientales de este país, lo más recomendable es la preparación vertical con cinceles rígidos, complementada con un mínimo número de pases de rastra (Amézquita, 1998a).

Las investigaciones en labranza que actualmente realiza el CIAT en los Llanos Orientales (Amézquita, 1998b) están orientadas hacia la creación de una 'capa arable', entendida ésta como la formación de una capa superficial de 0 a 30 cm de profundidad (dependiente del cultivo) que no presente limitaciones físicas, químicas ni biológicas para los cultivos que se van a establecer. Dentro de esta estrategia,

el uso de sistemas agropastoriles y agrosilvopastoriles es fundamental, ya que las raíces de las plantas son las únicas capaces de mantener una condición física favorable creada por la labranza correctiva y conducir al suelo hacia su sostenibilidad física, química y biológica. Un vez construida la capa arable, los suelos deben pasar a sistemas conservacionistas de cero-labranza y labranza reducida.

Los estudios sobre fertilidad de suelos han demostrado que es recomendable sembrar cultivos antes de la pastura, ya que los residuos de éstos y la fertilización residual son útiles para suplir los requerimientos de aquellas que se siembran solas o en asociación. Para el componente cultivo, son bastante conocidas las recomendaciones de fertilización, pero cuando se trata de pasturas, los ganaderos aún son poco flexibles en relación con las necesidades de mantener la fertilización en ellas. Zimmer et al. (Capítulo 17, este libro) muestran los resultados de la fertilización de mantenimiento en las pasturas mejoradas y su efecto en la sostenibilidad de la producción. Kluthcouski et al. (Capítulo 15, este libro) muestran una serie de ensayos con aplicación de cal y fertilización con fósforo y potasio en cultivos de arroz y maíz, e indican las consecuencias provechosas en las pasturas que siguen a éstos.

También se han logrado avances en los estudios sobre competencia entre cultivos y pasturas. Pinheiro et al. (Capítulo 13, este libro) muestran algunos datos preliminares que indican las principales características fisiológicas que favorecen el desarrollo del cultivo de arroz en competencia con pasturas. Esta información podrá ser útil para trabajos de fitomejoramiento en la selección de genotipos de este cultivo mejor adaptados a sistemas



agropastoriles. En estos estudios se encontraron diferencias entre cultivares en relación con tolerancia a la competencia. Los genotipos precoces presentaron mayores rendimientos, ya que alcanzaron la fase productiva antes de que la pastura ejerciera un efecto negativo sobre su rendimiento.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación en sistemas generó muchos interrogantes, desde aspectos que se relacionan con el cómo y cuándo hacer las evaluaciones, hasta los métodos de análisis de los resultados. Por ejemplo, en la asociación de arroz y pasturas, la expectativa del productor de granos es obtener el máximo de ganancias en la producción del arroz, pero a partir del momento en que la competencia de este cultivo con la pastura empieza a ser perjudicial, ya no es interesante para el ganadero obtener máximos rendimientos en arroz.

Las apreciaciones anteriores deben ser consideradas en los análisis de viabilidad de los sistemas agropastoriles. A su vez, la fuerte competencia de la pastura con los cultivos posiblemente no resulta en las ganancias iniciales esperadas y perjudica el flujo de caja de la propiedad.

La mayoría de los trabajos en sistemas deben ser conducidos en fincas, como lo recomienda Muzilli (Capítulo 3, este libro). Bajo esas condiciones, la utilización de los diseños estadísticos tradicionales no siempre es viable. Esto requiere que los investigadores sean creativos para lograr las comparaciones y las respuestas deseadas. A su vez, los análisis estadísticos deben ser conducidos de otra manera y las metodologías deben ser ajustadas a esa realidad. Amézquita et al. (Capítulo 6, este libro) muestran

algunos ejemplos de esos procedimientos.

## **Transferencia de Tecnología**

Como se mencionó anteriormente, los sistemas agropastoriles en América Latina generaron sus propias tecnologías. Las variedades de pasturas y de cultivos fueron adaptadas considerando las exigencias de las condiciones edáficas y agroclimáticas de las sabanas. Los estudios con los animales enfatizaron las razas adaptadas y más productivas en esas condiciones. Las prácticas de manejo de suelos y cultivos en sistemas agropastoriles fueron desarrolladas considerando las interacciones del sistema. Para todo ello fue necesario adaptar metodologías experimentales para determinar la significancia de los resultados.

Una de las estrategias utilizadas para la difusión de las informaciones generadas con los estudios de los sistemas agropastoriles fue la tradicional, o sea, preparar algunas publicaciones técnicas para divulgación de los resultados. Sin embargo, muchos resultados y experiencias fueron transferidos a través de visitas técnicas, apoyadas por el Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología para los Trópicos Suramericanos (Proctropicos). Este programa contrató consultores para que, conjuntamente con las instituciones nacionales, desarrollaran proyectos para captación de recursos.

La FAO también estuvo involucrada en el desarrollo de este proyecto y su objetivo principal fue transferir tecnologías. Desafortunadamente, esas iniciativas no alcanzaron los logros esperados, principalmente por falta de apoyo

financiero de la comunidad internacional.

Sin embargo, considerando que los países con áreas de sabana están en diferentes niveles de desarrollo y que participaron con diferentes intensidades en la acumulación de las experiencias para la explotación racional del ecosistema, la principal estrategia de transferencia de tecnología utilizada fue el CIAT, que con el apoyo del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la participación de los programas nacionales, realizó talleres sobre sistemas agropastoriles en diferentes países. Los logros tecnológicos conseguidos y las experiencias obtenidas en estos talleres son presentados en este libro.

El objetivo principal de esos eventos fue la difusión de los resultados y el intercambio de ideas y experiencias entre los países participantes. Para el efecto se realizaron cinco talleres en Colombia (1992 y 1996), Brasil (1993), Venezuela (1994), Bolivia (1995).

Los eventos consistieron en 1 ó 2 días de presentaciones teóricas con discusiones de los resultados, 2 días siguientes para visitas de ensayos en campos y un quinto día reservado para la planeación de las actividades conjuntas e individuales para el año siguiente.

Esa estrategia permitió crear, de manera informal, la Red Agropastoril, mencionada por Vera (Capítulo 1, este libro). La distribución de tareas que se presenta en el Cuadro 1 de ese capítulo, muestra el nivel de interacción existente entre los grupos que investigan en sistemas agropastoriles en la región. Obviamente, la limitación financiera y la capacidad de captación de recursos de cada país e institución es el elemento que determinará la velocidad

con que tal estrategia puede ser implementada.

## **Problemas para la Expansión del Uso de los Sistemas Agropastoriles**

De los cuatro países donde el ecosistema sabana es importante, Brasil es el único que sigue enfatizando estudios en esa área. Bolivia, Colombia y Venezuela, aunque siguen trabajando en el tema, tienen problemas de diversa índole para priorizar las investigaciones en ellos.

La situación socioeconómica de Bolivia no ha permitido que el país invierta fuertemente en investigaciones en sistemas agropastoriles, aunque el CIAT/Santa Cruz está haciendo esfuerzos y obteniendo buenos resultados en los estudios con los sistemas agrosilvopastoriles. Las prioridades son dirigidas a investigaciones que atiendan a los pequeños agricultores que siembran cultivos en áreas de laderas. Las inversiones en las sabanas están siendo hechas por agricultores de países vecinos, como los de Brasil, que con la experiencia obtenida en los Cerrados, atraviesan la frontera y siembran en las sabanas de Bolivia utilizando las tecnologías desarrolladas en Brasil. De esa manera, en este momento, el desarrollo sostenible de la región va a depender más de los adelantos brasileiros que de una estrategia boliviana para lograrlo. La limitada actuación del gobierno en el desarrollo de infraestructura de carreteras y bodegas ha desestimulado al agricultor local a explotar la región.

En Colombia, aunque la presencia del CIAT ha incrementado el interés por el uso sostenible de los Llanos Orientales, las instituciones locales y el gobierno han restringido sus

actividades e inversiones, principalmente debido a la inseguridad social. A pesar de que la infraestructura no es suficiente, hay un visible esfuerzo político para la utilización de la región. La tecnología en sistemas agropastoriles utilizando los cultivos del arroz y maíz, asociados con pasturas, está disponible. La experiencia con frutales, como marañón y mango, ha mostrado potencial.

Venezuela, que hasta hace poco tiempo fue considerado un país esencialmente petrolero, en general, no priorizó la explotación agrícola. No obstante, y como resultado de la caída de los precios internacionales del petróleo en los últimos años, el país ha despertado su interés en el potencial agrícola. Como en décadas pasadas, la condición financiera era bastante buena, Venezuela pudo desarrollar una infraestructura, principalmente de carreteras, de muy buen nivel. Por otro lado, la preocupación en investigación agrícola fue limitada. Actualmente, aunque cuenta con tecnologías disponibles de los países vecinos, poco se ha progresado.

## Perspectivas

Aunque el crecimiento poblacional en América Latina no se encuentra en los niveles de otras regiones en el mundo, la demanda por alimentos es cada vez mayor y los recursos para satisfacerla son cada vez más limitados. Por tanto, la producción en ecosistemas como las sabanas debe ser intensificada, pero de manera sostenible, sin degradar el medio ambiente. Para eso, los agricultores tendrán que incrementar la utilización de las tecnologías disponibles y los investigadores deberán seguir generando nuevas alternativas de uso y de manejo.

Debido a lo mencionado anteriormente se puede añadir que el potencial para la utilización de las sabanas es inmenso. Sin embargo, es necesario que en el futuro los científicos:

- Desarrollen tecnologías que conduzcan a la sostenibilidad en la productividad de los suelos, para desarrollar sobre ellos una agricultura igualmente sostenible;
- Desarrollen germoplasma adaptado y productivo para las condiciones agrícolas y edafoclimáticas de las sabanas, tanto de cultivos como de pasturas;
- Continúen los estudios sobre los efectos de los diferentes sistemas en las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos;
- Continúen los trabajos sobre reciclado de los elementos químicos como nitrógeno, fósforo y potasio, buscando determinar los sistemas más eficientes de fijación biológica de nitrógeno; absorción y utilización de nutrimentos y agua;
- Continúen el proceso de adaptación y desarrollo de maquinaria agrícola a las condiciones edáficas prevalentes en la región;
- Incrementen el monitoreo de plagas y enfermedades con el objetivo de analizar su evolución bajo una menor presión, cuando se compara con el monocultivo;
- Incrementen los conocimientos relacionados con el manejo de malezas en sistemas de asociaciones;
- Estudien en forma intensiva los nuevos sistemas de utilización de las sabanas, por ejemplo, el laboreo mínimo; y

- Enfatice los estudios a largo plazo en los aspectos mencionados, para determinar sus efectos en la sostenibilidad de los sistemas.

Paralelo a lo anterior y con los resultados ya obtenidos, se puede estimular a los gobiernos para tomar algunas medidas políticas, entre ellas:

- Establecer una política de explotación sostenible de las sabanas, evitando la penetración en otros ecosistemas como la Amazonía;
- Crear incentivos especiales para el uso de enmiendas y fertilizantes, principalmente cal y fuentes de fósforo;
- Estimular la industria productora de maquinaria agrícola para diseñar equipos más adaptados a las necesidades de la agricultura en las sabanas;
- Incentivar la investigación en los campos que presentan potencial para ese ecosistema; y
- Establecer programas de capacitación y transferencia de tecnología enfocando las sabanas.

Además de las acciones políticas y de investigación en los países, las instituciones internacionales tienen un papel importante en la utilización de las sabanas para:

- Catalizar las iniciativas de los países y las fuentes de recursos internacionales;
- Mostrar la importancia del ecosistema sabanas de América Latina para la producción mundial de alimentos;
- Promocionar el uso sostenible del ecosistema, como una manera de

preservar otros ecosistemas como la Amazonía, que son importantes desde el punto de vista global; y

- Estimular y facilitar la interacción entre los países, bien sea a través de la creación de mecanismos especiales como una Red Agropastoril, o mediante eventos específicos como talleres y seminarios.

Las bases para la continuidad de un trabajo de impacto en el ecosistema de sabanas de América Latina tropical se han lanzado por la Red Agropastoril para Sabanas de una manera informal. La labor, de ahora en adelante, consistirá en que cada país busque motivar sus dirigentes y la comunidad internacional para dar seguimiento en los trabajos de explotación sostenible de este ecosistema. Aún falta un largo camino por recorrer, ya que la consecución de producciones pecuarias y agrícolas sostenibles son metas que solamente pueden ser alcanzadas mediante estudios a largo plazo que merecen todo el apoyo político y social.

## Referencias

- Amézquita, E. 1998a. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales de Colombia y sus requerimientos de labranza. En: Encuentro Nacional de Labranza, Universidad del Llano, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA). Abril 28 a 30 de 1998, Villavicencio, Colombia. 29 p.
- \_\_\_\_\_. 1998b. Hacia la sostenibilidad de los suelos en los Llanos Orientales de Colombia. Noveno Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Paipa, Boyacá (Colombia), octubre 21 a 24 de 1998. 20 p.

- Bahia-Filho, A. F.; Magnavaca, R.; Schaffert, R. E.; y Alves, V. M. 1997. Identification, utilization, and economic impact of maize germplasm tolerant to low levels of phosphorus and toxic levels of exchangeable aluminum in Brazilian soils. En: Moniz, A. C. et al. (eds.). Plant-soil interactions at low pH: Sustainable agriculture and forestry production. p. 59-70.
- Borlaug, N. E. y Dowsell, C. R. 1994. Feeding a human population that increasingly crowds a fragile planet. 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico. Suppl. 1-15.
- Cardoso, A. N. 1993. Manejo e conservação do solo na cultura da soja. En: Arantes, N. E. y Souza, P. I. (eds.). Cultura da soja nos Cerrados. Potafos, Piracicaba, São Paulo, Brasil. p. 71-104.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1989. Annual Report, Rice Program. For internal circulation and discussion only. Cali, Colombia. p. 402.
- Euclides, V. P. 1994. Algumas considerações sobre o manejo de pastagens. Documento no. 57. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte (EMBRAPA-CNPGC), Brasil. 31 p.
- Friesen, D. K.; Rao, I. M.; Thomas, R. J.; Oberson, A.; y Sanz, S. I. 1997. Phosphorus acquisition and cycling in crop and pasture systems in low fertility tropical soils. *Plant and Soil* 196:289-294.
- Kluthcouski, J.; Pacheco, A. T.; Teixeira, S. M.; y Oliveira, E. T. de. 1991. Renovação de pastagens de Cerrado com arroz. 1. Sistema Barreirão. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão (EMBRAPA-CNPAP), Goiânia, Brasil. p. 20.
- Lascano, C. y Euclides, V. P. 1996. Nutritional quality and animal production of *Brachiaria* pastures. En: Miles, J. W.; Maass, B. L.; y do Valle, C. B. (eds.). *Brachiaria: Biology, agronomy, and improvement*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CIAT-EMBRAPA), Cali, Colombia. p. 106-123.
- Macedo, J. 1995. Prospectives for the rational use of the Brazilian Cerrados for food production. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, D.F. p. 19.
- Preciado, G. 1997. Influencia del tiempo de uso del suelo en las propiedades físicas, en la productividad y en la sostenibilidad del cultivo del arroz en Casanare (Colombia). Tesis M.Sc., Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 120 p.
- Rao, I. M.; Zeigler, R. S.; Vera, R.; y Sarkarung, S. 1993. Selection and breeding for acid-soil tolerance in crops: Upland rice and tropical forages as case studies. *BioScience* 43:454-465.
- Roessing, A. C. y Guedes, L. C. 1993. Aspectos economicos do complexo soja: Sua participação na economia brasileira e evolução na região do Brasil Central. En: Arantes, N. E. y Souza, P. I. (eds.). Cultura da soja nos Cerrados. Potafos, Piracicaba, São Paulo, Brasil. p. 1-69.
- Seguy, L.; Bouzinac, S.; Pacheco, A.; Carpenedo, V.; y Da Silva, V. 1988. Perspectiva de fixação da agricultura na região centro-norte do Mato Grosso. EMPA-MT, EMBRAPA (CNPAP), CIRAD-IRAT. 52 p.

- Spain, J. M.; Ayarza, M. A.; y Vilela, L. 1996. Crop pasture rotations in the brazilian cerrados. En: Pereira, R. C. y Nasser, L. C. (eds.). Simpósio sobre o Cerrado. 8. International Symposium on Tropical Savannas. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (EMBRAPA-CPAC), Planaltina, D.F. p. 39-45.
- Spehar, C. R.; Monteiro, P. M.; y Zuffo, N. L. 1993. Melhoramento genético da soja na região Centro-Oeste. En: Arantes, N. E. y Souza, P. I. (eds.). Cultura da soja nos Cerrados. Potafos, Piracicaba, São Paulo, Brasil. p. 229-253.
- Thomas, R. J.; Fisher, M. J.; Ayarza, M. A.; y Sanz, S. I. 1995. The role of forage grasses and legumes in maintaining the productivity of acid soils in Latin America. En: Lal, R. y Stewart, B. A. (eds.). Soil management: Experimental basis for sustainability and environmental quality. Adv. Soil Sci. Ser. p. 61-83.
- \_\_\_\_\_; Ayarza, M. A.; y Lopes, A. S. 1999. Management and conservation of acid soils in the savannas of Latin America: Lessons from the agricultural development of the Brazilian Cerrados. En: Proceedings on The Use of Nuclear Techniques to Develop Management Practices for Increasing Crop Production and Soil Fertility in Acid Soils. IAEA, Vienna, Austria. (En impresión.)
- Valencia, R. R. 1994. Mejoramiento genético de soja para suelos ácidos. Revista ICA 29(1):1-10.
- Vera, R. R.; Thomas, R. J.; Sanint, L.; y Sanz, S. I. 1992. Development of sustainable ley-farming systems for the acid-soil savanna of tropical America. An. Acad. Bras. Ci. 64:105-125.
- Zeigler, R. S. y Toledo, J. M. 1993. Developing sustainable agricultural production systems for the acid soil savannas of Latin America. En: Paoletti, M. G.; Napier, T.; Ferro, O.; Stinner, B.; y Stinner, D. (eds.). Socio-economic and policy issues for sustainable farming systems. Coop. Amicizia sre, Padova, Italia. p. 103-116.
- \_\_\_\_\_; Pandey, S.; Miles, J.; Gourley, L. M.; y Sarkarung, S. 1995. Advances in the selection and breeding of acid-tolerant plants: Rice, maize, sorghum and tropical forages. En: Date, R. A.; Grundon, N. J.; Rayment, G. E.; y Probert, M. E. (eds.). Plant-soil interactions at low pH: Principles and management. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Países Bajos. p. 391-406.

## APÉNDICE

### Lista de Acrónimos Usados en el Texto

CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, Brasil	FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations, Italia
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical, Colombia	FIBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Brasil
CIMMYT	Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México	FUNEP	Fundação de Estudos e Pesquisa em Agronomia, Medicina Veterinaria e Zootecnia, Brasil
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Francia	IAPAR	Fundação Instituto Agronómico do Paraná, Brasil
CNPAF	Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão-EMBRAPA, Brasil	ICRISAT	International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, India
CNPGC	Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte-EMBRAPA, Brasil	IPGRI	International Plant Genetic Resources Institute, Italia
CORPOICA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Colombia	PROCITROPICOS	Programa Cooperativo de Investigación y Transferencia de Tecnología para los Trópicos Suramericanos
CPAC	Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados-EMBRAPA	RIEPT	Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasil	<b>Notación decimal:</b>	Cifras decimales con punto (0.69, 13.5); unidades de mil, sin signo hasta 9999 (ej.: 3383), con coma después de 10,000 (ej.: 15,840).
EMGOPA	Empresa Goiãna de Pesquisa Agropecuária, Brasil		
ESALQ	Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo, Brasil		

**Publicación CIAT No. 313**  
**Consortio para el Manejo de Suelos Acidos (MAS)**  
**del Programa para Manejo de Suelos, Agua y**  
**Nutrientes del GICAI**  
**y**  
**Unidad de Comunicaciones**

---

Edición:	Alberto Ramírez
Asistente editorial:	Gladys Rodríguez
Producción:	Artes Gráficas, CIAT Oscar Idárraga (diagramación) Julio C. Martínez (diseño de carátula)
Impresión:	Feriva S.A.

---