

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, conocidos ya como los Centros de la Cosecha del Futuro, que son auspiciados por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAT).

El trabajo del CIAT es financiado por un gran número de países, organizaciones para el desarrollo regional e internacional y fundaciones privadas. En el 2001, 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, Suiza y Tailandia. Entre las entidades donantes están el Banco Asiático de Desarrollo (ADB), 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, la Fundación Wallace, y la Unión Europea (UE).

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

El Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, CIRAD) es una organización francesa de investigación, especializada en la agricultura de los trópicos y subtrópicos. Fue establecido como entidad estatal en 1984 para consolidar varias organizaciones francesas que investigaban en agricultura, veterinaria, silvicultura y tecnología alimentaria en las regiones tropical y subtropical.

La misión del CIRAD es contribuir al desarrollo económico de esas regiones mediante la investigación, la experimentación, la capacitación y la diseminación de la información técnica y científica. El Centro emplea 1800 funcionarios cuya labor se realiza en 50 países; de ellos, 900 pertenecen al personal principal. El presupuesto del Centro llega, aproximadamente, a 1000 millones de francos franceses (aproximadamente, US\$195 millones), de los cuales más de la mitad proviene de fondos públicos.

El CIRAD está compuesto por siete departamentos: CIRAD-CA (cultivos anuales), CIRAD-CP (cultivos de especies arbóreas), CIRAD-FLHOR (frutales y cultivos hortícolas), CIRAD-EMVT (producción pecuaria y medicina veterinaria), CIRAD-Forêt (manejo de bosques), CIRAD- (mejoramiento de los métodos que propician la innovación científica), y CIRAD-GERDAT (administración, servicios y laboratorios comunes, documentación). El CIRAD emplea, para realizar su trabajo, sus propios centros de investigación, los sistemas nacionales de investigación agropecuaria o los proyectos de desarrollo.

ISBN 958-694-033-0

Agroecología y Biodiversidad *de las Sabanas* en los Llanos Orientales de Colombia

Editado por:

Georges Rippstein

Germán Escobar

Francisco Motta



Centro Internacional de Agricultura Tropical
International Center for Tropical Agriculture
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

Fax: (57-2) 4450073
E-mail: georges.rippstein@cirad.fr
g.rippstein@sentoo.sn
g.escobar@cgiar.org

Publicación CIAT No. 322
ISBN 958-694-033-0
Tiraje: 600 ejemplares
Impreso en Colombia
Junio 2001

Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia /
editores: Georges Rippstein, Germán Escobar, Francisco Motta. -- Cali, Colombia :
Centro Internacional de Agricultura Tropical, 2001.
302 p. Ilus. (Publicación CIAT ; no. 322)
ISBN 958-694-033-0

1. Sabanas. 2. Ecología. 3. Comunidades vegetales. 4. Biodiversidad. 5. Quema controlada. 6. Sucesión ecológica. 7. Teledetección. 8. Fauna del suelo. 9. Manejo de praderas. 10. Biomasa. 11. Llanos Orientales. 12. Colombia. I. Rippstein, Georges. II. Escobar, Germán. III. Motta, Francisco. IV. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Clasificación LC: S 589 .7 A476

Categoría de materia: F40 Ecología Vegetal

Georges Rippstein, Dr. Agr., Ecólogo de Pasturas, fue científico asociado de EMVT/CIRAD en el antiguo Programa de Trópico Bajo del CIAT (Improved Grassland Research). Actualmente es Chef p.i. Service enseignement/formation et Programme Productions Animales, Montpellier Cedex 1, Francia.

Germán B. Escobar, Biólogo-Entomólogo, B.S., con especialización en Agroecología y Desarrollo (CLADES) y en Etnobiología (UNIVALLE), es asistente de investigación en el Proyecto PE-4: Manejo de Tierras y Sistemas de Información Geográfica del CIAT.

Francisco Motta, I.A., M.Sc., es editor técnico en la Unidad de Comunicaciones del CIAT.

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.

Contenido

	Página
Prefacio	v
Capítulo	
1 Condiciones Naturales de la Sabana <i>G. Rippstein, E. Amézquita, G. Escobar y C. Grollier</i>	1
2 Caracterización de Comunidades Vegetales de la Altillanura en el Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua, en Meta, Colombia <i>G. Rippstein, E. Escobar, J. M. Toledo, M. Fisher y E. Mesa</i>	22
3 Biodiversidad de la Vegetación de Sabana en la Altillanura Plana y la Serranía de los Llanos Orientales <i>R. A. Serna-Isaza, G. Rippstein, C. Grollier y E. Mesa</i>	46
4 Quema y Sucesión Secundaria de la Vegetación en el Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua <i>P. Torrijos O., J. O. Rangel y G. Rippstein</i>	64
5 Teledetección para la Cartografía de la Vegetación de Sabana <i>R. A. Serna-Isaza</i>	81
6 Radiometría Terrestre para el Inventario y Otros Estudios de la Vegetación de Sabana <i>G. Rippstein, J. Sionneau, G. Escobar y G. Ramírez</i>	97
7 La Macrofauna del Suelo en la Sabana Bien Drenada de los Llanos Orientales <i>T. Decaëns, J. J. Jiménez, A. F. Rangel, A. Cepeda, A. G. Moreno y P. Lavelle</i>	111
8 Dinámica de la Vegetación Sometida a Quema, Pastoreo y Otras Formas de Manejo en la Sabana Nativa <i>G. Rippstein, R. A. Serna y G. Escobar</i>	138

Capítulo

9	Productividad de Pasturas Nativas y Diferentes Modelos de Manejo en los Llanos Orientales <i>G. Rippstein, G. Allard, J. Corbin, G. Escobar y R. A. Serna-Isaza</i>	186
10	Producción de Biomasa Vegetal Epígea e Hipógea en las Sabanas Nativas <i>I. Rao, G. Rippstein, G. Escobar y J. Ricaurte</i>	198
11	Degradación de Pasturas Mejoradas por la Presencia de Especies no Deseadas en Carimagua, Colombia <i>M. E. Escobar, G. Escobar y G. Rippstein</i>	223
12	Resumen Histórico de la Investigación Desarrollada por el CIAT en la Sabana Nativa <i>G. Rippstein y R. Vera</i>	240

Apéndice

1	Claves Sinópticas Ilustradas para Identificar Especies de Gramíneas Comunes en la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia	249
2	Plantas de la Altillanura y Serranía de los Llanos Orientales de Colombia	274
3	Trabajos Publicados sobre las Sabanas de los Llanos Orientales entre 1990 y 1996	297
4	Acrónimos, Abreviaturas y Terminología Técnica	300

Prefacio

El ecosistema de sabanas reviste importancia mundial porque, en primer lugar, cubre aproximadamente el 20% de la superficie terrestre. Tiene particular importancia en América del Sur porque ocupa el 45% del subcontinente y ha sido teatro de la expansión agropecuaria ocurrida en él en los últimos 40 años.

Los Llanos Orientales de Colombia son parte de los 250 millones de hectáreas de las sabanas tropicales de América del Sur; pertenecen a éstas, además, los llanos de Venezuela, el cerrado de Brasil y las sabanas de Bolivia y Guyana. Estas regiones han estado sometidas, en diferente grado, a un rápido proceso de cambio en el uso del recurso tierra. El cerrado brasileño, por ejemplo, se ha convertido, de los años 70 para acá, en parte importante del notable desarrollo de la agricultura y la ganadería de ese país. En efecto, la transformación de la sabana cubierta de vegetación nativa en extensas áreas sembradas con gramíneas introducidas —de ellas hay ya alrededor de 40 millones de hectáreas— ha sido el origen del impresionante ritmo de crecimiento de la ganadería de esa región, donde a la fecha se concentra el 50% del hato ganadero de Brasil. Asimismo, la conversión de otras áreas del cerrado nativo en zonas agrícolas manejadas intensivamente ha hecho de Brasil uno

de los exportadores de soya más importantes del mundo.

En las otras regiones de la sabana neotropical, el impacto de la intervención humana ha sido considerablemente menor que en Brasil. No obstante, la expansión de las fronteras agrícola y ganadera continúa, muchas veces acompañada del desarrollo de la infraestructura vial, otras veces inducida por la explotación petrolera —como es el caso de Venezuela que se está repitiendo en Colombia— y otras apremiada por la necesidad de aumentar los productos exportables, como ocurrió en Bolivia. En Colombia, además, los cuatro departamentos administrativos que pertenecen a la Orinoquia (Meta, Arauca, Vichada y Casanare) constituyen el 22% del país y contienen una enorme reserva de tierras y recursos naturales.

Conviene recordar también que las sabanas de la Orinoquia están situadas en la cuenca binacional del río Orinoco, que ocupa aproximadamente 900,000 km². El Orinoco es el tercer río del mundo, en términos del flujo de aguas que corren por él hacia el océano, y el sexto del mundo en cuanto a su aporte de sedimentos (a la cuenca y a la desembocadura). El uso de esta cuenca tendría, por tanto, un efecto ambiental internacional de considerable magnitud.

La intensificación de la agricultura y de la ganadería en todas esas regiones despoja el suelo de la vegetación nativa, al menos en los sitios en que las condiciones del suelo y la topografía lo permiten. Donde no sea posible este proceso de cambio, es probable que ocurran, a nivel de la finca y del paisaje en general, impactos indirectos en la vegetación nativa. Estos impactos provienen de la intensificación general de los sistemas de producción y de la necesidad de integrar las especies forrajeras nativas con las introducidas y con las que se siembran en áreas destinadas a la agricultura.

La publicación de esta obra presenta el trabajo de numerosos colaboradores y encaja bien y oportunamente en el contexto anterior. Hay en ella un inventario exhaustivo de las especies nativas que crecen en áreas muy representativas de la Altillanura bien drenada de los Llanos Orientales de Colombia, y una descripción completa de las principales comunidades vegetales en que se agrupan dichas especies. Estudios como éste son fundamentales, sin duda, para caracterizar parte de la riqueza fitogenética de la región mencionada antes de que sufra mayor deterioro.

Este trabajo no se detiene en la parte descriptiva de la sabana. En él se reseña también la experimentación con que se ha establecido que esas comunidades vegetales son afectadas por las herramientas disponibles para el manejo de la sabana, es decir, el fuego y el pastoreo. Trata luego de

identificar las normas mínimas que hacen compatible el uso productivo de la sabana con el mantenimiento de la diversidad de especies y comunidades que en ella habitan; donde esto no es posible, ilustra las ventajas y las desventajas de un uso más intensivo de ese recurso.

La utilización de la vegetación nativa afecta también, sin duda, otros recursos genéticos de la región, como la fauna. En particular, la fauna del suelo ha sido uno de los objetivos del presente trabajo; este estudio ha conducido a la identificación de especies antes desconocidas para la ciencia y cuyo potencial aún debe ser estudiado, resultado éste de particular relevancia. Hay además aspectos del ambiente que pueden recibir el impacto del uso dado a la vegetación nativa; en particular, los procesos de captura y liberación del carbono son susceptibles a ese impacto en cuanto son influenciados por prácticas como la quema, por el crecimiento de la biomasa aérea y subterránea, y por la actividad biológica. Esta obra hace además referencia a estudios relevantes en el campo mencionado y presenta muchas posibilidades de estudios futuros en aspectos aún poco estudiados.

La publicación de este trabajo contribuirá a que Colombia y, en especial, los técnicos y productores agropecuarios de los Llanos Orientales aprecien más la abundancia de los recursos disponibles en esa región, y el impacto que puede tener su uso en otras áreas del desarrollo.

Raúl R. Vera

CAPÍTULO 1

Condiciones Naturales de la Sabana

*G. Rippstein**, *E. Amézquita***, *G. Escobar**** y *C. Grollier[†]*

Resumen

Los Llanos Orientales de Colombia u Orinoquia colombiana tienen 17 millones de hectáreas y contienen tres sistemas de tierras o paisajes: el piedemonte, las llanuras aluviales y las altillanuras (las bien drenadas y las inundables). Pertenecen a un macrosistema de importancia global (las sabanas tropicales) cuya topografía permite la mecanización agrícola y cuyos suelos exigen un manejo cuidadoso. Su población escasa comprende etnias indígenas y colonos inmigrantes.

Sus suelos (Oxisoles y Ultisoles) son ácidos y poco fértiles, están sometidos a temperaturas altas durante el año y a excesos de humedad, y se caracterizan por la lixiviación de minerales y por la formación de laterita (gleyzación). Desde hace años, esta sabana herbácea y poco arbustiva se ha destinado a una ganadería extensiva de carga baja. Actualmente manifiestan estos suelos

un alto potencial agrícola comercial y han permitido la introducción de especies forrajeras mejoradas. El subsuelo es muy rico en hidrocarburos.

Introducción

Las sabanas tropicales ocupan, aproximadamente, un 20% de la superficie terrestre; de ellas, el 45% se halla en América del Sur. Las sabanas suramericanas, que ocupan cerca de 269 millones de hectáreas, se conocen como Cerrados en Brasil (76%), Llanos en Venezuela (11%), Llanos Orientales en Colombia (6%), sabanas en Bolivia (5%) y sabanas en Guyana (1.5%). Este macrosistema es considerado como un área importante del mundo porque su topografía plana lo hace potencialmente apto para la mecanización agrícola; no obstante, las condiciones físicas de sus suelos exigen un uso cuidadoso de esa actividad.

La región de la Orinoquia colombiana, también llamada Llanos Orientales de Colombia, tiene aproximadamente 17 millones de hectáreas. Limita al norte con el Estado Apure, en la frontera suroeste de Venezuela; al sur, con el río Guaviare; al oeste, con la Cordillera Oriental; y al este, con el río Orinoco. La división administrativa de los Llanos Orientales comprende

* Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

** Físico de Suelos, Proyecto Recuperación de Suelos, CIAT, Cali, Colombia

*** Biólogo, CIAT, Cali, Colombia.

† École d'agro-développement internationale (ISTOM), Francia.

los departamentos de Meta, Vichada, Arauca y Casanare. El estudio presentado en esta obra se hizo en el área indicada en la Figura 1-1.

Geográficamente, los Llanos Orientales pertenecen a la cuenca del río Orinoco que contiene tres sistemas de tierras ('paisajes'): el piedemonte, las llanuras aluviales inundables y la altillanura; este último se subdivide en dos ecosistemas: la altillanura bien drenada y la llanura inundable o mal drenada.

- El primero (altillanura bien drenada, ABD) tiene potencial, si se maneja racionalmente, para la producción de pastos y la agricultura comercial e industrial (Figura 1-2).
- El segundo (llanura mal drenada, LMD) puede dedicarse a la ganadería tradicional extensiva y a actividades de zootecnia, piscicultura y de protección y conservación de la fauna y flora silvestres.

Una gran extensión de la ABD está cubierta por una sabana herbácea, típica de los suelos de baja fertilidad, que está drenada por una multitud de caños y surcada por vallecitos estrechos que se alargan como franjas angostas de bosque de galería denominados localmente 'morichales'.

La densidad de población es baja. La región está habitada por una población indígena en la que sobresale la riqueza cultural de las etnias Sikuani, Sáliva, Piapoco, Puinave. Hay también inmigrantes recientes de otras regiones del país que se instalan, en su mayoría, en el Piedemonte y en la llanura aluvial a orillas de los grandes ríos.

Se ha desarrollado en la ABD, en las últimas décadas, una agricultura comercial basada en palma africana, arroz, maíz, sorgo, soya y en frutales como el aguacate, el mango, los cítricos y el marañón. Es común en sus ríos la pesca artesanal y comercial. El uso casi ancestral de la sabana nativa de

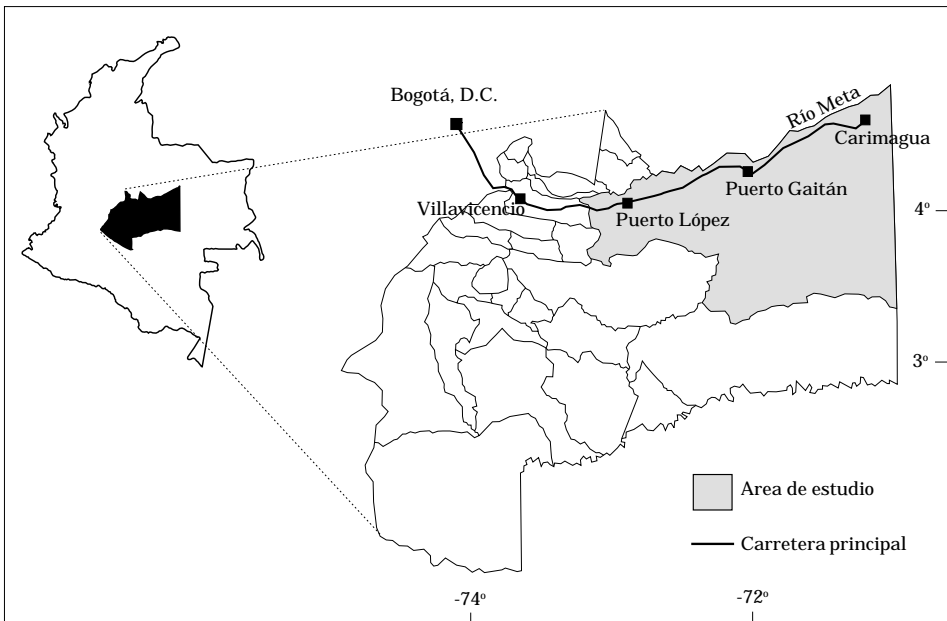


Figura 1-1. División administrativa del departamento del Meta y área de sabana nativa estudiada.

los Llanos Orientales es la ganadería extensiva de muy baja capacidad de carga (Figura 1-3). La introducción de pastos y leguminosas forrajeras adaptadas a las condiciones naturales

de baja fertilidad de los suelos dominantes (Oxisoles y Ultisoles) ha propiciado el establecimiento de ganaderías cada vez más intensivas (CIAT 1985).



Figura 1-2. Foto del satélite SPOT del área de Meta en que se halla Carimagua; el perímetro dibujado encierra los terrenos de la estación experimental.



Figura 1-3. Tierras de la formación Serranía al sur del río Meta, dedicadas a la ganadería.

Los Llanos Orientales de Colombia se consideran —por su vasta extensión y por el tipo de explotaciones que podrían establecerse en ellos (silvopastoriles, agroforestales, agrícolas intensivas)— una región de alto potencial agroecológico. Actualmente se lleva a cabo en esa región la mayor explotación de hidrocarburos del país. El potencial agropecuario atribuido a las sabanas necesita sistemas de uso y manejo del suelo que se ajusten a las condiciones naturales del suelo, detengan la tasa de degradación de éste, impidan el deterioro de los recursos naturales, y propicien el desarrollo de sistemas agrícolas y pecuarios sostenibles.

Origen Geológico y Relieve

Las sabanas tropicales son el resultado de la evolución de diversos procesos geológicos, entre ellos, las fuerzas tectónicas, la sedimentación, la erosión y los cambios climáticos drásticos. La interacción entre la historia geomorfológica, el tipo de material original de la corteza terrestre y el clima han determinado, a través del tiempo, el tipo y las características de los suelos. Las sabanas presentan, por tanto, una gran variabilidad geológica y topográfica (Figura 1-4).

Según el IGAC (1991), la Cordillera Oriental de los Andes colombianos emergió de las aguas oceánicas en un tiempo situado entre 140 y 100 millones de años atrás, en el período geológico Cretáceo Inferior. Después de un proceso de transgresión, se depositaron en esa región grandes cantidades de sedimentos que rellenaron las depresiones y formaron así extensas planicies. Desde los 100 hasta los 65 millones de años, durante el período Cretáceo Superior, se acentuó la sedimentación marina sobre la Cordillera Oriental, mientras que en el área ocupada actualmente

por los Llanos Orientales se depositaron arenas litorales provenientes del escudo de Guayana.

Desde los 25 hasta los 12 millones de años, en los períodos Mioceno Inferior y Mioceno Medio, se presentaron nuevas transgresiones que moldearon el área de la Orinoquia. Durante estos 13 millones de años, dominaron masas de agua relativamente superficiales que presenciaron las estratificaciones, en esa área, de nuevos depósitos de sedimentos.

De 12 millones de años para acá, la compresión y la presión ejercidas por la placa tectónica oceánica durante el Mioplioceno provocan, en el choque de ésta contra la placa continental sólida del Escudo Guayanés, un plegamiento que dio origen al penúltimo levantamiento de la Cordillera Oriental, cuyo piedemonte emerge en esta época. El levantamiento final de esa cordillera ocurrió durante el Pliopleistoceno y, simultáneamente, los sedimentos desprendidos de ella se depositaron en la región actualmente ocupada por los Llanos Orientales.

Una vez creada la estructura de la región, comienza a ser modelada por los agentes climatológicos. Las lluvias, que en la última glaciación del Cuaternario fueron abundantes, abrieron profundos cauces y transportaron enormes cantidades de sedimentos que se acumularon en la parte baja y plana; este proceso dio origen a la actual topografía y a los numerosos ríos de los Llanos Orientales (IGAC 1991).

La actividad de numerosas fallas paralelas a la Cordillera Oriental permitió el levantamiento y el plegamiento de la zona más cercana a ella y el hundimiento de la zona más oriental, lo que originó la región conocida hoy como la Orinoquia mal drenada, situada entre la Cordillera Oriental y el río Meta. En contraste, la margen derecha del río Meta inicia la Orinoquia bien drenada.

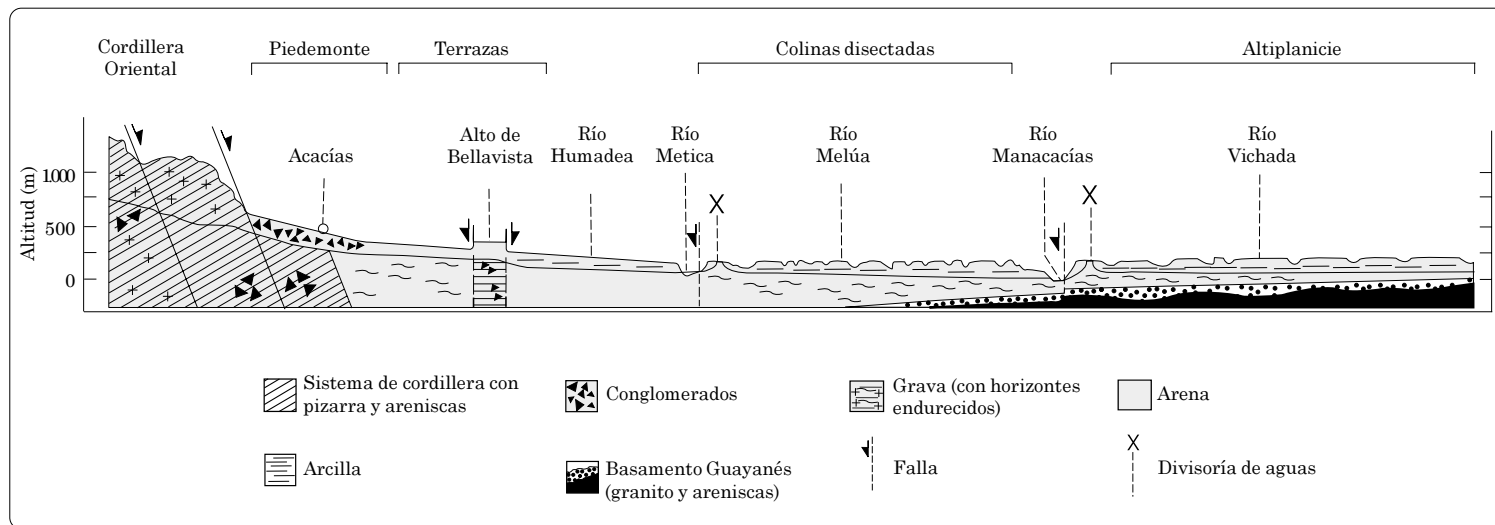


Figura 1-4. Perfil geomorfológico y estructural del departamento del Meta y de las tierras adyacentes.

FUENTE: IGAC 1991

Suelos de los Llanos

Los suelos de los Llanos Orientales se desarrollaron sobre un espeso manto de sedimentos aluviales arcillo-limosos proveniente de la Cordillera Oriental (Brunnschweiler 1972). Son suelos de los órdenes Oxisol y Ultisol, según el Key to Soil Taxonomy; son también Orthic, Rhodic y Humic Ferrasuelos, según la clasificación de la FAO ('Sols ferralitiques', según la taxonomía francesa).

Estos suelos tienen las características típicas de una formación debida a condiciones de temperatura alta y continua, a exceso de humedad en la época lluviosa, a una alta concentración de óxidos de Fe y de Al en las capas de las cuencas de sedimentación. La continua pérdida de minerales esenciales de fácil intemperismo, causado por la lixiviación, origina un alto grado de acidez en el suelo.

La alternancia entre estancamiento de las aguas (con reducción y solución o lavado de minerales) y la desecación del suelo (con oxidación y precipitación de minerales) generó procesos de gleyzación o de formación de laterita en esos suelos. Estos procesos se manifestaron en el perfil del suelo por cambios de coloración (gris, amarillo o rojizo) y por la presencia de capas continuas de plintita (en parte de la superficie de la Serranía, p.e.) que al quedar expuestas al aire se transforman en petroplintita o en laterita.

El Cuadro 1-1 presenta los resultados del análisis de muestras tomadas en varios sitios del Centro Nacional de Investigación (CI) Carimagua manejado por el ICA y el CIAT. El Cuadro 1-2 muestra los resultados del análisis de suelos de la Altillanura y de la Serranía en un área entre Puerto López y Puerto Gaitán.

Los datos consignados en los Cuadros 1-1 y 1-2 indican, en síntesis, lo siguiente:

- Hay una *gran diversidad* de texturas, tanto dentro del paisaje como entre uno y otro paisaje.
- Los suelos de la Serranía son más arenosos que los de la Altillanura.
- La fertilidad química de casi todos estos suelos es baja: la tasa de M.O. es baja, la C/N entre 15 y 20 indica una M.O. mal descompuesta, la capacidad de intercambio catiónico (CEC) es baja.
- Todos los suelos son muy ácidos (pH entre 4.5 y 5.0).
- La concentración (o saturación) de óxido de Al y de óxido de Fe (a veces, también de Mn) es alta.
- Hay una deficiencia general de P asimilable (Bray II: 0.5 a 3.7 ppm).
- Hay deficiencia de Ca.

Muestran, además, los datos una dominancia textural del limo y un contenido variable de M.O. El nivel bajo de P y el pH bajo correlaciona bien con una fase de cambio dominada por la actividad del ion Al^{+++} sobre el Ca, el Mg y el K. Los niveles de S son también bajos y de los elementos menores sólo pueden hallarse trazas.

Estos datos provienen de suelos que soportan diferente cobertura vegetal natural. En todos los sitios muestreados, la fertilidad natural y las condiciones físicas no son óptimas para el establecimiento de cultivos o de explotaciones agropecuarias a nivel comercial. Por tanto, estos suelos serán rentables si se les hacen correcciones previas que generen una capa superficial de suelo capaz de soportar cultivos y pastos, y si éstos son variedades adaptadas al estrés nutricional propio de esa región.

Cuadro 1-1. Propiedades texturales y químicas de algunos suelos cubiertos con diferente tipo de vegetación, en la Altillanura plana del CNI Carimagua manejado por ICA/CIAT, en Meta, Colombia.

Elementos	Sabana húmeda y bajos húmedos	Sabana seca y bajos secos	Sabana seca y Altillanura ondulada	Sabana húmeda y bajos húmedos	Sabana arbustiva y suelo arcilloso	Sabana seca y bancos arenosos	Sabana arbustiva y borde de bajo	Sabana seca y pendientes	Promedio
Arcilla (%)	25.2	28.3	30.4	55.6	51.3	24.5	49.8	43.7	35.6
Arena (%)	29.1	34.9	41.9	11.6	5.5	50.9	6.9	14.7	28.3
Limo (%)	45.4	36.6	27.5	32.6	43.0	24.8	43.4	41.4	36.0
M. O. (%)	4.0	1.8	0.9	5.1	2.5	1.0	2.8	2.0	2.4
P (ppm)	3.7	1.2	0.9	1.4	0.5	1.3	0.7	0.8	1.4
pH	4.5	4.6	4.7	4.6	4.5	4.5	4.6	4.5	4.6
Al (meq/100 g)	2.3	1.6	1.4	4.2	2.1	1.0	2.7	2.1	2.0
Ca (meq/100 g)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Mg (meq/100 g)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1
K (meq/100 g)	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.0	0
S (ppm)	5.0	3.4	5.5	5.5	5.5	4.9	5.9	6.3	5.1
B (ppm)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Zn (ppm)	1.0	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.4
Mn (ppm)	2.8	1.2	0.4	2.5	3.6	0.8	4.6	3.1	1.9
Cu (ppm)	0.1	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.5	0.4	0.3
Fe (ppm)	57.0	72.0	52.8	46.6	66.3	37.7	33.0	51.1	52.8

Cuadro 1-2. Datos del análisis de los suelos de la Serranía y de la Altillanura en el área entre Puerto López y Puerto Gaitán, en los Llanos Orientales de Colombia.

Topografía		Textura (%)			M.O. (%)	N total (meq/ 100 g suelo)	pH	Macroelementos y mesoelementos (meq/100 g suelo)					Oligoelementos (ppm)					
		Arcilla	Arena	Limo				P (ppm) Bray II	K	Ca	Mg	Al	S	B	Zn	Mn	Cu	Fe
Serranía																		
Climas	Media ¹	15.5c	69.5a	15.0b	3.0ab	578	5.1ab	3.1ab	0.04b	0.13b	0.05bc	0.84cd	21.0a	0.39	1.0	2.6	0.9	124.7
	Var. (%)	17.3	9.6	30.0	25.7	20.6	3.6	30.0	20.8	22.8	33.8	54.9	37.4	1.3	60.0	—	15.4	29.5
Pendientes	Media ¹	21.0bc	62.2ab	16.8b	3.0ab	641	4.9ab	3.2a	0.05b	0.12b	0.04bc	1.10bc	23.3a	0.33	1.9	6.2	1.0	95.8
	Var. (%)	18.8	12.5	27.9	22.7	12.6	2.7	26.0	29.0	31.4	31.2	33.0	25.8	7.7	73.0	68.5	28.1	31.6
Bajos	Media ¹	22.6bc	60.4ab	16.9ab	2.2bc	673	4.9bc	3.5a	0.04b	0.13b	0.04bc	1.14bc	23.3a	0.29	0.7	2.7	0.2	51.1
	Var. (%)	11.4	7.8	22.2	34.4	9.0	2.9	44.3	21.3	29.1	14.6	13.6	44.3	18.3	9.1	52.9	10.8	6.6
Concreciones	Media ¹	16.4c	68.8a	14.7b	2.1c	368	5.2a	2.9ab	0.04b	0.13	0.03c	0.46d	12.9b	—	—	—	—	—
	Var. (%)	36.9	12.8	26.5	57.0	26.7	5.2	29.3	51.0	33.2	47.8	77.8	41.8	—	—	—	—	—
Todos los sitios	Media ¹	19.2	64.8	16.0	2.7	517	5.0	3.2	0.04b	0.13	0.04bc	0.91	20.4	0.33	1.1	3.8	0.6	84.9
	Var. (%)	25.8	12.6	27.6	35.8	31.0	4.4	33.1	31.8	29.5	35.0	48.8	41.7	17.0	86.2	80.9	64.4	47.6
Altillanura																		
Ondulada	Media ¹	40.2a	38.6c	21.2a	3.4a	904	4.8cd	2.3b	0.06a	0.17a	0.06a	1.70a	24.7a	0.38	1.3	5.1	0.3	—
	Var. (%)	25.3	30.1	16.5	14.8	0	4.9	35.4	39.0	37.3	43.6	35.3	11.5	0	0	0	0	—
Plana	Media ¹	25.2b	56.6b	18.2ab	2.9abc	1108	4.7d	2.3b	0.05ab	0.14ab	0.05ab	1.40ab	21.6a	—	—	—	—	—
	Var. (%)	53.9	30.9	32.5	32.4	6.1	4.8	36.3	39.6	43.5	33.9	45.3	24.2	—	—	—	—	—
Todos los sitios	Media ¹	29.5	51.5	19.0	3.1	1057	4.8	2.3	0.05	0.15	0.05	1.50	22.4	0.38	1.3	5.1	0.3	—
	Var. (%)	48.9	34.9	28.9	28.3	10.0	4.9	36.0	41.5	42.7	41.5	42.6	21.7	0	0	0	0	—

1. Las medias seguidas por la misma letra en una misma columna no difieren significativamente ($p < 0.05$).

Las buenas propiedades estructurales, especialmente las de la Altillanura, compensan en parte estas deficiencias químicas en los proyectos agropastoriles que se establecen en los Llanos Orientales.

Características Físicas de los Suelos de la Altillanura Plana

Densidad aparente y humedad volumétrica

En esta unidad fisiográfica hay también una gran diversidad en la estructura de los suelos. En las Figuras 1-5 y 1-6 se comparan, en parte, las medidas tomadas en diferentes sitios de la Altillanura plana de Carimagua, en los que crecen distintos tipos de vegetación de la sabana nativa o diferentes especies de forrajes sembrados (por ejemplo, las que contienen las asociaciones de gramíneas y leguminosas). Se observa lo siguiente:

- Una diferencia significativa en la densidad aparente y en la

humedad (volumétrica) entre los suelos arcillosos y los suelos arenosos (de los 'bancos') en todo el perfil estudiado. Los suelos arcillosos tienen una densidad aparente y una humedad más altas y, por consiguiente, mejor estructura. Los suelos de los 'bajos', de textura arcillosa y con vegetación nativa, tienen características que los acercan más a los suelos arenosos que a los suelos arcillosos de los bancos. Estos suelos han sido muy compactados.

- En los suelos arcillosos, el cultivo de especies forrajeras mejoró la estructura del suelo, pero no ocurrió lo mismo en las capas poco profundas (0 a 50 cm) de los suelos arenosos. Ahora bien, en estos últimos la densidad aparente es un poco más baja que en la sabana nativa, y la humedad volumétrica (o reserva de agua del suelo) mejora cuando hay cultivos. Estos datos indicarían que los cultivos de especies forrajeras ensanchan los poros del suelo y, por tanto, aumentan la disponibilidad de agua en el suelo.

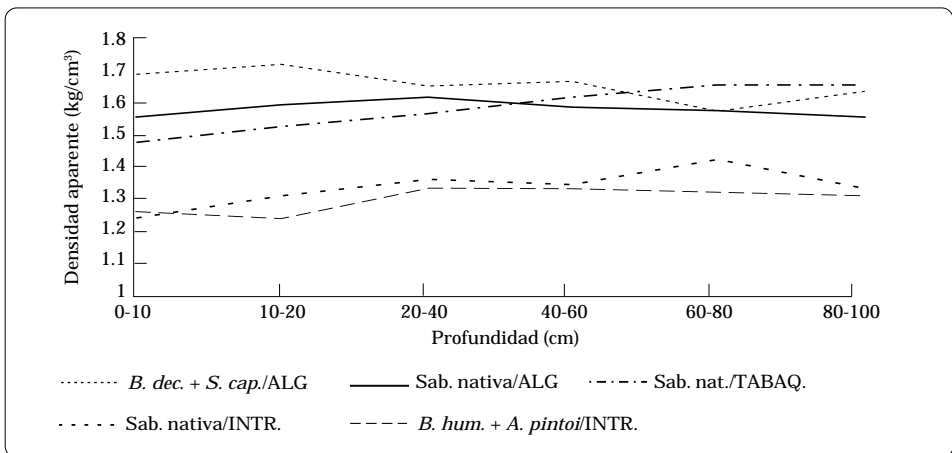


Figura 1-5. Características físicas de la sabana de los Llanos Orientales: densidad aparente respecto a la profundidad de cinco suelos de tres sitios (ALG, TABAQ., INTR.) de Carimagua.

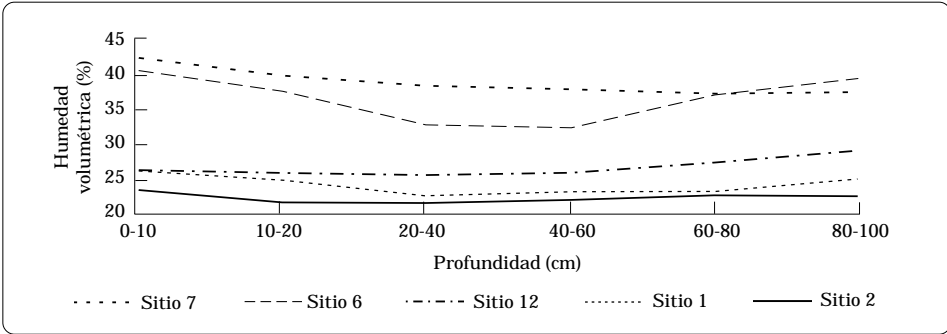


Figura 1-6. Características físicas de la sabana de los Llanos Orientales: humedad volumétrica respecto a la profundidad de cinco suelos del área de Carimagua.

Penetrabilidad

Las medidas de penetrabilidad modifican la imagen antes descrita de estos suelos y de su vegetación (Figura 1-7). Se observó lo siguiente:

- En los primeros centímetros de suelo (0-3 cm), los resultados son muy similares para todos los tipos de suelo y de vegetación.
- A una profundidad de 3 a 10 cm, la penetrabilidad varía: en los suelos arcillosos es más alta y en los arenosos es, generalmente, normal. En el sitio 6 (*B. humidicola* + *A. pintoii* en un suelo arcilloso), los

datos se apartan de la distinción anterior; la diferencia se explica, quizás, por la relativa juventud (algunos años) de este cultivo asociado.

- A partir de los 10 cm de profundidad, la penetrabilidad varía mucho de un sitio a otro y también según la profundidad. Se distinguen siempre los valores de penetrabilidad para los dos tipos de suelos: más alta en los arcillosos y más baja en los arenosos. Hay efecto de compactación a los 10 cm de profundidad donde se ha trabajado el suelo por los cultivos.

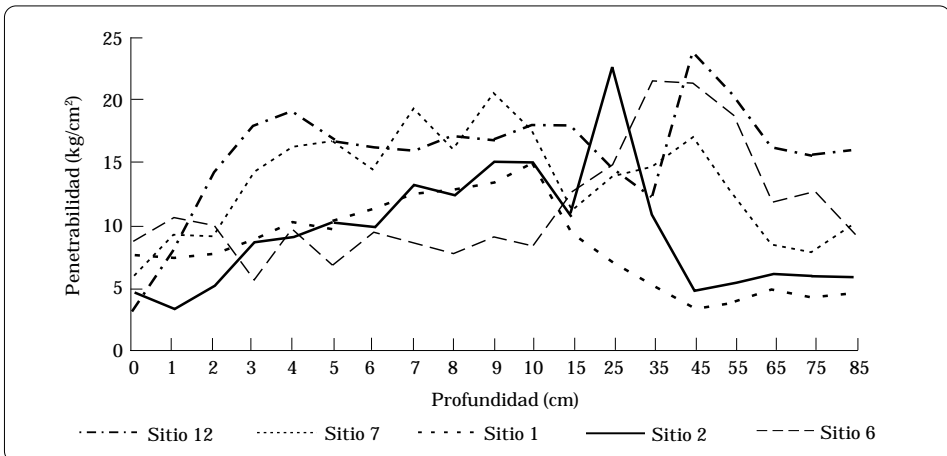


Figura 1-7. Características físicas de la sabana de los Llanos Orientales: penetrabilidad respecto a la profundidad de cinco suelos del área de Carimagua.

- En los suelos arcillosos, el cultivo no afecta la penetrabilidad en las capas de suelo por debajo de los 10 cm.

Uso dado al suelo

El principal problema de los suelos de la Altillanura (Typic haplustox hisohyperthermic, Kaolinitic) cuando se utilizan para la producción de pastos es su susceptibilidad a la degradación. Este concepto se define como la pérdida de algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo por causa de una inadecuada intervención humana; esa pérdida genera factores de producción negativos que afectarán más tarde la sostenibilidad agrícola. El Cuadro 1-3 presenta el efecto que tiene el uso continuo del suelo con arroz de secano en algunas propiedades físicas de ese suelo, cuya alteración negativa depende de la intensificación del uso (Amézquita et al. 1998).

Un sistema inapropiado de labranza (intervención humana) afecta principalmente las propiedades físicas del suelo relacionadas con el comportamiento volumétrico de éste, como la porosidad total y la diversidad de tamaño de los poros, las cuales están íntimamente ligadas con la estructura del suelo. Cualquier cambio en la distribución del tamaño de los

agregados del suelo y en la estabilidad estructural de éste debido a la labranza, afectan la infiltración, la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, la penetración de las raíces en el suelo y su crecimiento (al cambiar la distribución de los poros según su tamaño). El sellamiento superficial del suelo es un efecto del desmoronamiento de los agregados y del desprendimiento y salpicadura de partículas del suelo (Le Bissonnais 1996); está relacionado, además, con la labranza en los Llanos Orientales. El efecto de diversos usos en la estabilidad estructural de algunos Oxisoles (Amézquita et al. 1998) se presenta en el Cuadro 1-4.

Los principales problemas de orden físico que se han observado y evaluado en los suelos de los Llanos Orientales son los siguientes (Amézquita et al. 1998):

- sellamiento superficial;
- encostramiento superficial;
- alta densidad aparente;
- aumento de densidad y endurecimiento del suelo en la época seca;
- compactación;
- baja velocidad de infiltración;

Cuadro 1-3. Efecto del tiempo de uso del suelo (Oxisol) con arroz de secano en algunas propiedades físicas de dicho suelo en los Llanos Orientales, en Casanare, Colombia.

Años de uso	Relación de vacíos	Sorptividad (mm/seg ^{1/2})	Conductividad hidráulica (cm/h)	Permeabilidad al aire (cm/día)	Susceptibilidad a la compactación (%)	Resistencia al corte (Kpa)	Penetrabilidad (kg/cm ²)
1	1.53	1.23	7.88	46.7	67.2	13.8	0.5
2	1.70	1.41	2.53	14.8	70.6	10.1	0.2
3	1.57	0.56	4.62	10.4	73.8	20.4	0.2
4	0.99	0.49	0.74	1.9	78.0	18.0	0.2
10	0.89	0	0.05	2.7	83.2	39.9	3.0
20	0.71	0.03	0.32	0.7	85.4	50.2	3.7

FUENTE: Amézquita et al. 1998.

Cuadro 1-4. Agregados estables al agua (%) en Matazul (suelo franco) y en Primavera (suelo arenoso), en los Llanos Orientales de Colombia.^a

Sitio	Tratamiento	Agregados (%) según tamaño del agregado (mm) de:					
		>2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.125	<0.125
Matazul	Pasto no disturbado	75.47c	7.22a	4.04a	1.64a	1.64a	9.98ab
	Pasto disturbado	79.39cb	4.52b	2.66b	1.16b	0.88ab	11.39a
	Monocultivo de arroz	83.96b	3.63b	2.56b	1.15b	0.90ab	7.80ab
	Sabana nativa	93.42a	1.19c	0.64c	0.27c	0.27b	4.22b
Primavera	Pasto no disturbado	94.12a	1.02c	0.47c	0.46b	0.19b	3.73b
	Pasto disturbado	77.55c	7.61a	3.66a	1.29a	1.17a	8.72a
	Monocultivo de arroz	83.81b	4.36b	2.33b	0.76ab	0.95a	7.78a
	Sabana nativa	92.71a	1.73c	0.64c	0.29b	0.20b	4.43b

a. Promedios con letras iguales no difieren significativamente (prueba de rangos múltiples).

FUENTE: Amézquita et al. 1998.

- baja estabilidad estructural;
- deficiente distribución de los poros según su tamaño;
- deficiente continuidad del espacio poroso;
- poco espesor del horizonte A;

- alta susceptibilidad a la erosión (en suelos recién preparados);
- alta producción de escorrentía.

La Figura 1-8 muestra el efecto del uso del suelo en la distribución de los agregados superficiales (0-25 mm). Si se compara la sabana nativa con los

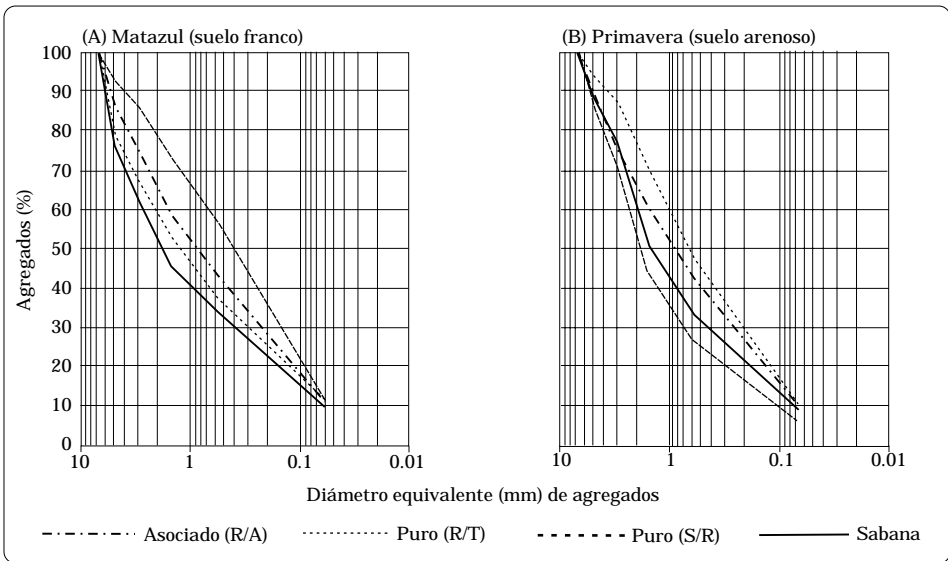


Figura 1-8. Comportamiento del D50 de los agregados superficiales en el suelo de varios tratamientos de uso y manejo de un suelo Oxisol en dos localidades: Matazul y Primavera. R/A = renovación con arroz (se sembraron el pasto y el arroz al tiempo); R/T = renovación y manejo tradicional; SR = sin renovación. El pasto ensayado (asociado o puro) fue *Brachiaria dictyoneura*.

tratamientos de uso del suelo, se observa que el diámetro medio (D50) de los agregados se ha reducido en los tratamientos. El desarrollo de sistemas de labranza que propicien la sostenibilidad agrícola en los Llanos Orientales requiere, por tanto, de las siguientes acciones:

- entender los procesos actuales de degradación del suelo en función del tiempo de uso del suelo, del tipo de suelo y del sistema de manejo que éste recibe;
- determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo que sufren más el efecto de las prácticas de manejo y establecer los valores críticos de dichas propiedades para varios cultivos;
- desarrollar metodologías de campo y de laboratorio que permitan evaluar, con criterio realista, las condiciones del

suelo que limitan el buen desarrollo de los cultivos;

- diseñar prácticas de manejo de los suelos que preserven la sostenibilidad de este recurso y contrarresten los procesos que llevan a su degradación.

Clima

La región de los Llanos Orientales de Colombia tiene tres características: su latitud es baja (de 2° a 5° de latitud N), su altitud es también baja (100 a 300 m.s.n.m.), y su cielo está abierto a la acción de los vientos en todas direcciones excepto al oeste, donde se levanta la barrera de los Andes (Figura 1-9).

El clima de los Llanos está definido por el ritmo de los vientos y de las lluvias y su régimen térmico es elevado (Brunnschweiler 1972). La cantidad de lluvias y su frecuencia siguen un gradiente diferencial que va de los



Figura 1-9. La sabana de los Llanos Orientales está abierta hacia todas las direcciones, excepto al oeste donde se levanta la Cordillera Oriental de los Andes colombianos.

Andes en dirección al este. Al pie de los Andes las lluvias anuales superan los 3000 mm y en Carimagua, en el centro de los Llanos Orientales, pasan de 2200 mm.

Las lluvias se concentran en la época lluviosa, que dura 8 meses del año (abril a noviembre) y en la cual cae un 95% de la lluvia del año. La época seca dura de 2 a 4 meses (diciembre a marzo), según la distancia del sitio a la Cordillera Oriental de los Andes (junto a ésta es más breve). Esta región nunca ha sido ecológicamente seca. La estacionalidad muy definida de las lluvias es una consecuencia de cambio de latitud del sistema de convergencia intertropical (ITC). La sequía orinocense coincide con el tiempo frío del hemisferio norte y los puntos máximos de la actividad pluvial con la posición zenital del sol sobre el Trópico de Cáncer (Figuras 1-10 y 1-11).

En enero de cada año, los Llanos Orientales están bajo la influencia de

los vientos Alisios que soplan del suroeste al noreste, mueven las nubes y crean en la región las condiciones que tienden a establecer la época seca. A partir de marzo, la depresión atmosférica se mueve en dirección norte y las nubes se acumulan sobre los Llanos.

La temperatura promedio anual es relativamente elevada y es estable: la región de Carimagua tiene aproximadamente 26 °C durante el año, lo que le vale la denominación de 'sabana isohipertérmica' (Sarmiento 1990). Las temperaturas son un poco más altas en el interior de los Llanos Orientales que en el Piedemonte andino (ver Figuras 1-10 y 1-11). La amplitud de la temperatura (diferencia diurna/nocturna) puede ser alta (5 a 6 °C) en la época seca, pero es muy atenuada en la época lluviosa.

La humedad relativa supera el 80% en la época lluviosa y es relativamente alta (60% a 65%) en la época seca.

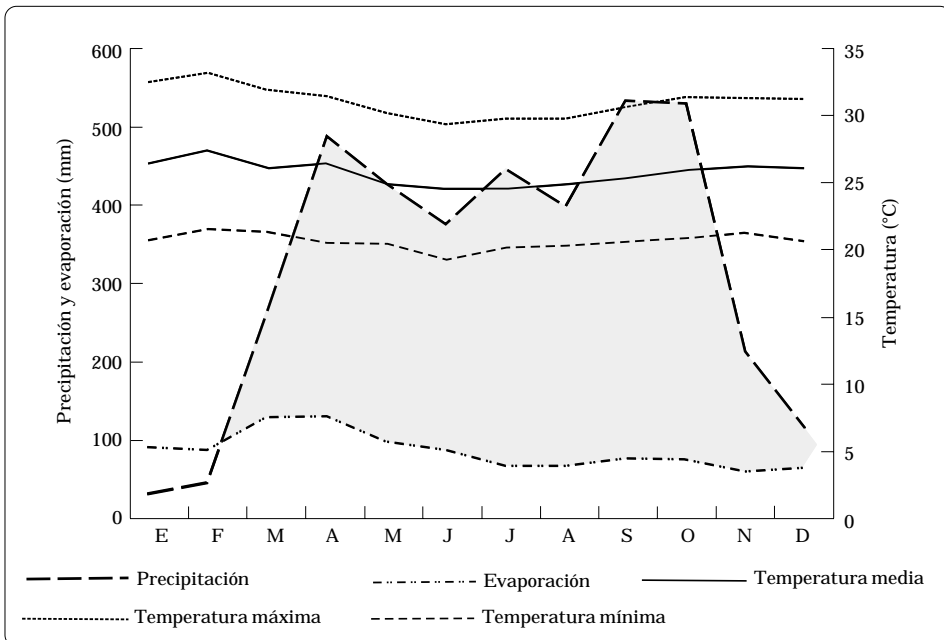


Figura 1-10. Datos climatológicos de Villavicencio, localidad del Piedemonte de la Cordillera Oriental de los Andes, donde comienzan los Llanos Orientales de Colombia.

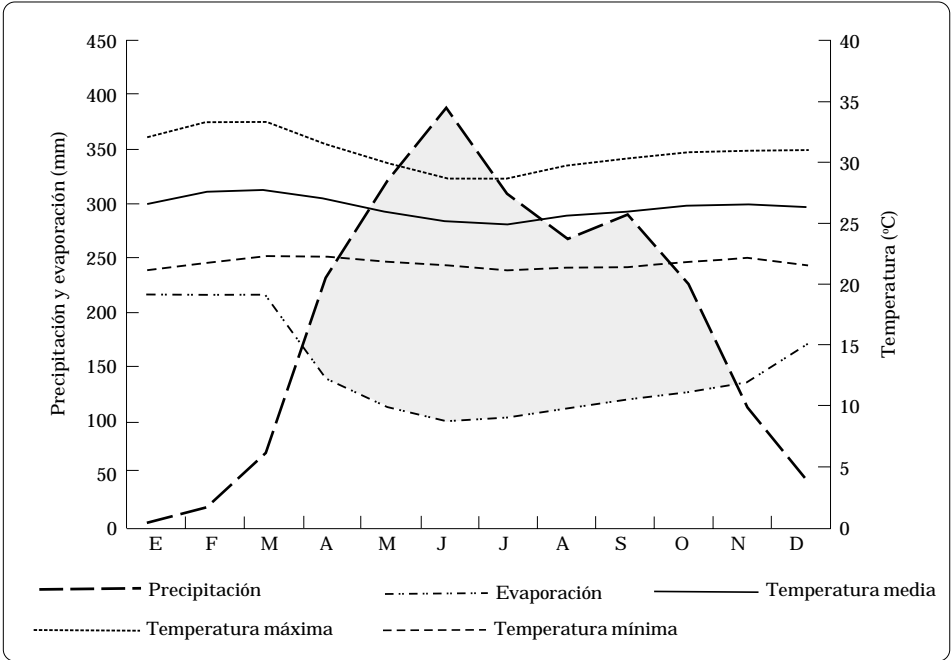


Figura 1-11. Datos climatológicos de Carimagua, estación experimental situada en el centro de los Llanos Orientales.

Durante esta época, en el centro de los Llanos la evaporación es relativamente alta (> 200 mm) (Figura 1-11), siendo relativamente baja (100 mm) en el Piedemonte (Figura 1-10).

Paisajes y Tierras

La Figura 1-12 presenta las diferentes unidades fisiográficas de los Llanos Orientales en la cuenca del río Orinoco, basadas en imágenes del satélite Landsat (CIAT 1985).

Los principales 'paisajes' (o sistemas de tierras) están en la parte bien drenada de la sabana; son los siguientes: la 'Altillanura plana', de 3.5 millones de hectáreas; la 'Altillanura ondulada y Serranía', de 6.4 millones de hectáreas; y las 'Terrazas fluviales', de cerca de 1.25 millones de hectáreas.

Orinoquia bien drenada o Altillanura

Es el sistema de tierras de mayor extensión (9,823,000 ha) y el más heterogéneo en términos de relieve. Comprende principalmente los siguientes paisajes; Altillanura plana, Altillanura ondulada y Serranía. La Altillanura plana ocupa el 35% del área (Hoyos 1995).

Los suelos de la Altillanura son los más antiguos de los Llanos Orientales. En sus áreas plano-convexas estables hay Oxisoles de tres tipos: Haplustox, Haplorthox y Acrorthox. Las áreas cóncavas han acumulado materiales y ceniza volcánica de las partes más altas y se clasifican como Inceptisoles (por ejemplo, Andaquepts, Plinthaquepts, Tropaquepts) y Ultisoles.

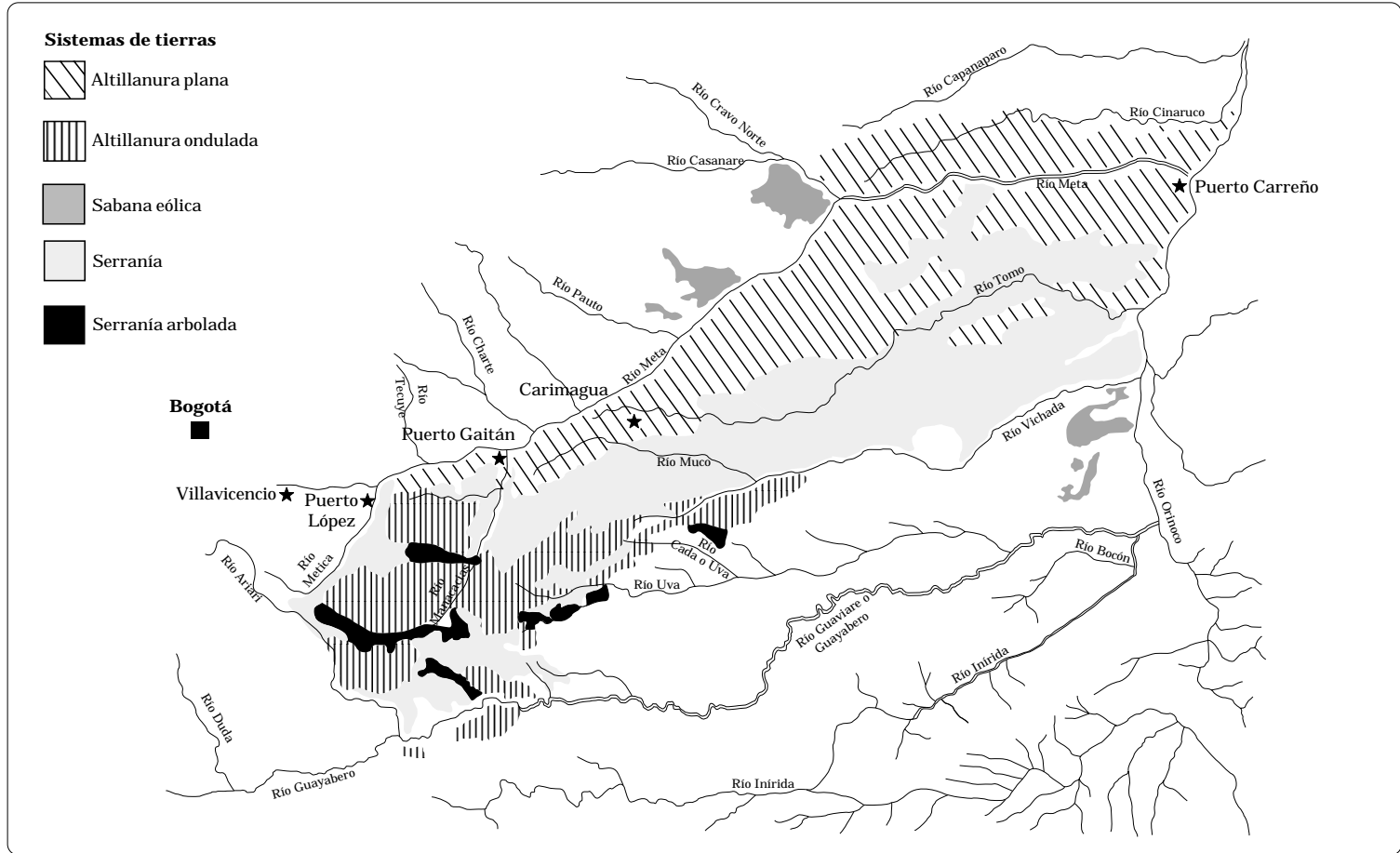


Figura 1-12. Principales sistemas de tierras de la sabana bien drenada de los Llanos Orientales de Colombia (adaptada de Cochrane et al. 1985).

Cuadro 1-5. Tipos de relieve y uso potencial del 'paisaje' denominado Altillanura ondulada y Serranía en los Llanos Orientales.

Tipo de relieve	%	Potencial de uso
Cima y pendientes de colinas	54	Sólo para producción pecuaria extensiva (sabana nativa)
Bajos secos	24	Agricultura o pastos mejorados
Bajos húmedos	14	Agricultura o pastos mejorados
Bajos inundables, hidromorfos	7	Pastos (en época seca) o agricultura (arroz)

Altillanura plana. Por su relieve, es la zona de los Llanos Orientales más favorable para la agricultura, aparte del Piedemonte. Está situada al sur del río Meta, desde la ciudad de Puerto López hasta la frontera con Venezuela, en un área de 60 km de largo por 6 a 15 km de ancho.

Está conformada, principalmente, por sedimentos aluviales del Pleistoceno primario. El paisaje comprende bancos altos y planos que ocupan, más o menos, 90% de la superficie total de la zona, y está cortado por bajos y ríos que constituyen un sistema de drenaje.

Altillanura ondulada y Serranía. Estas dos formaciones constituyen una franja extensa al sur de la Altillanura plana, con un paisaje de pequeñas colinas redondeadas (Figura 1-3), con pendientes de 1% a 30%. De la superficie total, las cimas y las pendientes hacen el 54%, los bajos secos el 24%, los bajos húmedos el 14%, y las partes inundables el 7%. Cada uno de estos tipos de relieve tiene un uso y un potencial particulares (Cuadro 1-5).

Orinoquia mal drenada o 'bajillanura'. Al norte, desde la margen izquierda del río Meta hasta el río Arauca, que define la frontera con Venezuela, se presenta un paisaje de *bajos inundables mal drenados* (unos 5 millones de hectáreas) que comprende dos subpaisajes: la llanura de desborde y la llanura eólica.

Llanura aluvial desbordable.

Es un relieve plano en el que sobresalen los bancos, que son diques naturales de los cauces. Según su posición en el dique, los suelos varían: van desde Quartzipsamments, pasando por Dystropepts hasta Tropaquepts.

Llanura eólica. Se superpone a la llanura de desborde, principalmente, y en sus áreas más arenosas hay suelos Quartzipsamments. Las partes que tienen mayor contenido de limo se clasifican como Dystropepts y las áreas de mayor depresión como Aquepts.

En general, los suelos de la Orinoquia mal drenada son poco favorable para la agricultura. La sabana nativa se utiliza para el levante extensivo de bovinos.

Algunos sistemas de mejoramiento de los bajos, denominados 'Módulos', se establecieron en las proximidades de Orocué, en Casanare, pero fueron abandonados, como ocurrió también en Venezuela (Tejos et al. 1990), porque eran muy costosos y de difícil manejo.

Vegetación Nativa

La vegetación 'nativa' de los Llanos Orientales de Colombia y de Venezuela es, en general, la de una sabana herbácea cuyas especies características son *Trachypogon vestitus* y *T. plumosus* (Blydenstein 1967; Medina y Sarmiento 1981) y que tiene un estrato herbáceo bajo (< 50 cm) en el que sobresalen árboles como *Curatella americana* (ver Capítulos 2, 3 y 4 de esta obra).

A ambos lados de los ríos se observa una vegetación generalmente arbolada o arbustiva (la selva de galería) que puede tener una anchura de varios cientos de metros. La mayoría de las especies de interés comercial de esta selva son utilizadas para levantar cercas; sufren, por tanto, una explotación intensiva y, con frecuencia, desaparecen localmente.

Origen de la Sabana de los Llanos Orientales

Hay dos teorías principales sobre el origen de las sabanas nativas de la cuenca del Orinoco:

- Las sabanas fueron naturalmente inducidas por el clima y las condiciones edáficas.
- Las sabanas son el resultado de la acción del hombre sobre una vegetación original que bien pudo ser la de una selva.

Brunnschweiler (1972) hizo una lista de las diferentes respuestas dadas a esta pregunta:

- Lauer (1952), citado por Brunnschweiler (1972), demostró que 2200 mm de lluvia en 9 meses son necesarios y suficientes para mantener una selva en los trópicos. Tal es el caso de gran parte de los Llanos Orientales de Colombia. Brunnschweiler (1972) responde a la tesis de Lauer: este investigador no tiene en cuenta las pérdidas de humedad de los suelos de la región por evaporación y por evapotranspiración; tampoco considera que las reservas de agua del suelo disminuyen rápidamente durante la época seca.
- Según Goosen (1971), los límites de la selva no están muy lejos. La frontera entre selva y sabana sería la isoyeta 2500 mm, al sudeste de los Llanos. En África, en cambio,

la frontera entre selva y sabana coincide con la isoyeta 1500 mm (Aubreville 1949).

En opinión de los autores, la diferencia estaría en las condiciones edáficas muy pobres de los Llanos Orientales.

- Según un informe de la FAO (1965), una selva cubría la región desde las primeras edades del continente, pero el fuego la habría destruido. La erosión que siguió transformó tanto el paisaje que fue imposible el regreso de la vegetación selvática. El hombre sería el responsable de la extensión de la sabana y la destrucción de la selva porque hace un uso controlado de la quema (para la ganadería) y no controlado (para la cacería, particularmente). Esta teoría se apoya en el hecho de que los arbustos y las especies de árboles de la sabana se encuentran también en la selva.
- Cole (1986) piensa también, estudiando los trabajos de la Estación Biológica de los Llanos de Calabozo, al norte de los Llanos de Venezuela, que la quema o su ausencia serían responsables de los cambios de fisonomía y estructura de la vegetación de esa región.
- Los trabajos de San José y Farinas (1983) y las observaciones hechas en parcelas protegidas en Carimagua muestran que, en efecto, el descanso de larga duración que recibe la vegetación cuando se la protege contra la quema inicia la arborización del área protegida.
- Blydenstein (1967) considera también la sabana de la cuenca del Orinoco como un derivado de la selva donde la quema es un factor de 'sabanización'. La quema debida a la acción del hombre no

sería la causa principal o primaria de la formación de esta sabana, sino un modo de mantener las pasturas naturales limpias de árboles leñosos. Reconoce, sin embargo, la existencia de la sabana nativa en algunos sitios que serían sabanas 'edáficas' y que se pueden encontrar en la selva amazónica (Demangeot 1976).

- Los trabajos de Wijmstra y van der Hammen (1992) y de otros investigadores sobre el análisis del polen (palinología) indican que las sabanas actuales, en especial, fueron precedidas hace miles de años por una selva húmeda o una sabana arbolada y cerrada; la fisonomía actual de la vegetación de los Llanos Orientales sería el efecto de un cambio del clima (sequía) relativamente 'reciente'.
- Khobzi et al. (1980) citan trabajos en que se muestra también que la cuenca amazónica, durante los últimos milenios, presenta épocas secas y húmedas alternas. Durante estas épocas, la mayor parte de los Llanos Orientales se cubría alternativamente de vegetación de sabana o de selva.
- Sarmiento (1990; 1996) estudió especialmente las sabanas nativas de América del Sur y sostiene que las sabanas estacionales actuales, como los Llanos Orientales de Colombia, son la resultante de tres condiciones: las climáticas, las edáficas y las antrópicas, sin que importe la importancia de cada una y el orden en que actúen. Esas condiciones se manifiestan, respectivamente, como sequía estacional, pobreza del suelo en elementos nutritivos para las plantas y fuegos frecuentes.
- Kuhnholz-Lordat (1938) y otros autores hablan de "fireclimax" o

"pyroclimax", es decir, de formaciones estabilizadas o mantenidas por las quemadas. Una de ellas sería la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia, donde el 'clímax' depende, en gran parte, de las quemadas frecuentes. En ella se observan las siguientes adaptaciones vegetales: sistema radicular profundo, tallos subterráneos, tallos de corteza termoresistente, hábitos de crecimiento en macolla, xilopodios, semillas pirófilas y especies anuales; estas adaptaciones contrarrestan el efecto negativo de las quemadas y corresponden a un paisaje que se denominaría mejor 'sabana pirófila'.

En síntesis, los análisis del polen de los Llanos, las condiciones climáticas y edáficas actuales, el manejo con quemadas dado a los pastos antes y ahora, y los ensayos de descanso de la sabana, permiten concluir que la sabana nativa actual de los Llanos Orientales de Colombia es una formación herbácea o muy poco arbustiva, inestable, que tiende hacia una sabana arbustiva o arbolada o hacia una formación de selva si no interviniera la acción del hombre.

Bibliografía

- Amézquita E. 1998. Propiedades físicas de los suelos de los Llanos Orientales y sus requerimientos de labranza. Trabajo presentado en el Encuentro Nacional sobre Labranza reunido en Villavicencio, Colombia, en abril de 1998. (Multicopiado.)
- Amézquita E.; Preciado G.; Arias D.; Thomas R.; Friesen D.; Sanz J. 1998. Soil physical characteristics under different land use systems and duration on the Colombian savannas. En: Memorias del XVI World Congress of Soil Science en Montpellier, Francia, en agosto de 1998. Montpellier, Francia.

- Aubreville A. 1949. Climats, forêts et desertification de l'Afrique tropicale. Soc. Ed. Geogr. Mar. Col., Paris, Francia. 351 p.
- Blydenstein J. 1967. Tropical savanna vegetation of the Llanos of Colombia. *Ecology* 48(1):1-15.
- Brunnschweiler D. 1972. The Llanos, frontier of Colombia: Environment and changing land use in Meta. Michigan State University, East Lansing, Michigan, E.U. p. 1-55.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1985. Sistemas de producción pecuaria extensiva: Brasil, Colombia, Venezuela. Informe final del Proyecto ETES. Cali, Colombia. 530 p.
- Cochrane T. T.; Sánchez L. G.; Azevedo L. G.; Porras J. A.; Garver C. 1985. Land in tropical America. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)-CNPAP, Cali, Colombia. vol. 1, 144 p.
- Cole M. 1986. The savannas: Biogeography and geobotany. Academic Press, Londres, R.U. 438 p.
- Dajoz R. 1996. Précis d'Ecologie. Dunod, Paris, Francia. 551 p.
- Demangeot J. 1976. Les espaces naturels tropicaux. Géographie. Masson-Coll, Paris, Francia. 190 p.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1965. Reconocimiento edafológico de los Llanos Orientales de Colombia. En: La vegetación natural y la ganadería en los Llanos Orientales. Roma, Italia. Tomo III.
- Goosen D. 1971. Physiography and soils of the Llanos Orientales, Colombia. Fysich-Geografisch en Bodem-kundig Laborarium van de Universiteit van Amsterdam. Amsterdam, Holanda.
- Hoyos P. 1995. Agricultura en las sabanas de Suramérica tropical. En: Memorias del Curso de Posgrado sobre Uso Agrícola Sustentable de Tierras del Trópico Americano. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)/CIAT e IICA/BIID, septiembre-diciembre 1995. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 46 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1991. Meta: Características geográficas. Bogotá, D.C. 142 p.
- Khobzi J.; Kroonenberg S.; Faivre P. 1980. Aspectos geomorfológicos de la Amazonia y la Orinoquia colombianas. *Revista CIAF (Bogotá)* 5(1):97-126.
- Kuhnholz-Lordat G. 1938. La terre incendiée. Maison Carrée, Nîmes, Francia.
- Le Bissonnais Y. 1996. Aggregate stability and assessment of soil and crustability and erodibility; I: Theory and methodology. *Eur. J. Soil Sci.* 47:425-437.
- Medina E.; Sarmiento G. 1981. Ecosystèmes pâturés tropicaux du Venezuela; I: Etudes écophysiologiques dans les savanes à *Trachypogon* (Llanos du Centre). En: Ecosystèmes pâturés tropicaux: Recherche sur les ressources naturelles. UNESCO, PNUD y FAO. Boletín no. 16. UNESCO, París, Francia. p. 631-649.
- San José J. J.; Farinas M. 1983. Changes in tree density and species composition in a protected *Trachypogon* savanna in Venezuela. *Ecology* 64(3):447-453.
- Sarmiento G. 1990. Ecología comparada de ecosistemas de sabanas en América del Sur. En: Sarmiento G. (ed.). Las sabanas americanas. CIELAT y Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela. 332 p.
- Sarmiento G. 1996. Ecología de pastizales y sabanas en América Latina. En: Sarmiento, G.; Cabido M. (eds.). Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina. CYTED y CIELAT, Mérida, Venezuela. 318 p.

Tejos R.; Schargel R.; Berrade F. 1990.
Características y perspectivas de
utilización de sabanas inundables en
Venezuela. En: Sarmiento G. (ed.).
Las sabanas americanas. CIELAT.
Universidad de los Andes. Mérida,
Venezuela. 332 p.

Wijmstra E.; van der Hammen T. 1992.
Historia, ecología y vegetación:
Historia de la vegetación de América
del Sur. Corporación Colombiana para
la Amazonia 'Araracuara' (COA),
Bogotá, Colombia. 411 p.

CAPÍTULO 2

Caracterización de Comunidades Vegetales de la Altilanura en el Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua, en Meta, Colombia

G. Rippstein*, E. Escobar**, J. M. Toledo***, M. Fisher^v y E. Mesa^{vψ}

Resumen

El CIAT y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, estudiaron una zona representativa de la Altilanura plana, bien drenada, de los Llanos Orientales de Colombia, alrededor del Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua situado en Meta, Colombia, en sus aspectos florístico y ecofisiológico. En los 20 puntos o transectos estudiados se encontraron 183 especies correspondientes a 108 géneros y a 43 familias. Se consideraron tres parámetros para el análisis: vegetación (frecuencia y abundancia), suelo (variables físicas y químicas) y agua en el perfil del suelo. El objetivo era elaborar una clave de las principales especies de la sabana y describir aspectos de la ecología y la fitofisiología del ecosistema mencionado

partiendo de la relación suelo-agua-planta. Se emplearon tablas fitofisiológicas (matriz de doble entrada) y se calcularon con ellas valores de χ^2 , se clasificaron comunidades vegetales aplicando programas de computador y se hizo un análisis de correspondencia.

Introducción

El medio residencial está conformado por la suma de factores climáticos, edáficos y bióticos que obran en forma integrada como una unidad de lugar en la superficie terrestre. Cualesquiera de estos factores puede ejercer mayor influencia que los otros en el establecimiento de una comunidad. Un suelo seco se considera una residencia y un suelo húmedo otra distinta; en este caso, el factor humedad del suelo, al variar, altera la suma de factores y cambia el carácter de la residencia. Puede inferirse, además, que es el factor determinante puesto que delimita la existencia de una vegetación típica que es diferente de otra, las cuales pueden diferenciarse fisonómicamente o florísticamente.

En las sabanas se pueden observar comunidades vegetales diferentes, respecto a sus características físicas, químicas y biológicas, por causa de la conformación del relieve y de ciertos factores edáficos. Si se estudian en profundidad esas características, se

* Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

** Botánico, Profesor Asociado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, Colombia.

*** Agrónomo, ex-Jefe (difunto) del Programa de Pastos Tropicales (antiguo), CIAT, Cali, Colombia.

^v Ecofisiólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), CIAT, Cali, Colombia.

^{vψ} Estadístico, Unidad de Biometría, CIAT, Cali, Colombia.

encontrarán asociaciones vegetales que permiten interpretar y manejar de manera integral la sabana, con el fin de lograr el máximo provecho de la productividad de los pastos que crecen en ella.

En 1986, el antiguo Programa de Pastos Tropicales del CIAT inicia, en la estación experimental de Carimagua, en Meta, Colombia, una serie de estudios para enriquecer el conocimiento de la sabana nativa con miras a comprender integralmente ese ecosistema, principalmente en sus aspectos florístico y ecofisiológico. Con tal fin, se estableció un convenio cooperativo interinstitucional entre el CIAT y la Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, con dos objetivos específicos:

- Publicar una primera obra con la clave de las principales especies presentes en la sabana en 20 comunidades estudiadas (Escobar et al. 1993).
- Desarrollar una segunda publicación sobre la parte ecológica y fitosociológica del ecosistema mencionado, partiendo del análisis de la relación suelo-agua-comunidad vegetal.

La presente obra, que servirá de ayuda a los técnicos dedicados al uso de la tierra y al manejo de las sabanas del trópico americano "en particular de los Llanos Orientales de Colombia", responde a este último objetivo.

Literatura sobre el Tema

Muchos trabajos se han escrito sobre las sabanas africanas y las de América del Sur, no sólo relacionados con la definición del término "sabana" sino también con la clasificación de este ecosistema desde el punto de vista florístico y ecológico.

Cuatrecasas (1958) hace un bosquejo de la vegetación típica de la "formación sabana" tanto en los Llanos Orientales de Colombia, en el área de Apiay (Meta), como en los Llanos situados al sur de Neiva, departamento del Huila. Dugand (1973) describe la vegetación de las sabanas subxerofíticas del departamento del Cesar y hace la siguiente división del ecosistema sabana:

- sabana abierta o limpia, "sabana de pajonal";
- sabana arbolada;
- sabana de cardonal;
- sabana de matas;
- sabana de matorral;
- sabana de palmar; y
- sabana subdesértica.

Blydenstein (1967) reconoce 10 tipos de sabana y los clasifica según el elemento florístico. Tres de ellos son distintos desde el punto de vista florístico, aunque teniendo en común el bosque relictual; los otros siete son distintos según el gradiente de humedad y considerando los términos sabana seca, húmeda o inundable.

Los estudios anteriormente citados no unifican la terminología ni son una propuesta metodológica técnica que procure proporcionar una idea mejor del uso o del aprovechamiento del agua o del suelo en relación con la vegetación, en los Llanos Orientales de Colombia. La opinión anterior no pretende demeritar el esfuerzo hecho por los autores citados.

Metodología

El presente estudio se llevó a cabo en los años 1986 y 1987, en el Centro de

Investigación (CI) Carimagua, manejado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y por el CIAT, que está situado en los Llanos Orientales de Colombia (lat. 04° 36' N; long. 71° 19' O; altitud: 167 m.s.n.m.). La superficie de la estación es de 23,000 ha (Figura 2-1).

Se establecieron cinco transectos de 1 a 5 km, representativos de la zona de estudio y consistentes en líneas que seguían el rumbo este-oeste. Se tomaron en ellos puntos de observación distantes entre sí 100 ó 200 m. En cada punto se hicieron muestreos (20 a 50) que consistían en arrojar marcos metálicos de 2.5 m². Los puntos muestreados constituían una comunidad.

Todos los tipos fisonómicos de vegetación fueron estudiados menos el bosque, que se estudia en el Capítulo 4 de esta obra. Las especies recolectadas fueron colocadas en prensa de madera y sometidas a secado y montaje. Fueron determinadas por comparación con ejemplares del "Herbario Valle" de la Universidad Nacional-Sede Palmira, y del "Herbario Nacional Colombiano" de la Universidad Nacional-Sede

Bogotá, con ayuda de algunos especialistas vinculados a este último herbario y con ayuda de la bibliografía consultada.

Los parámetros que se fijaron para observación y análisis fueron los siguientes:

- a. **Vegetación:** frecuencia y abundancia por familia, género y especie (25 a 50 puntos de muestreo por comunidad).
- b. **Suelo:** muestreo (un punto por comunidad) a tres profundidades (0-10, 20-30 y 40-50 cm) de las variables físicas (textura) y de 13 variables químicas por muestra (pH, materia orgánica [M.O.], P, Al, Ca, Mg, K, S, B, Zn, Mn, Cu, Fe), según la metodología utilizada por el CIAT (Salinas y García 1985).
- c. **Agua en el perfil:** muestreo mensual de disponibilidad de agua (diciembre a mayo) a nueve profundidades (cada 20 cm).

Métodos de análisis

Fitosociología-ecología. Esta metodología se deriva de Braun-

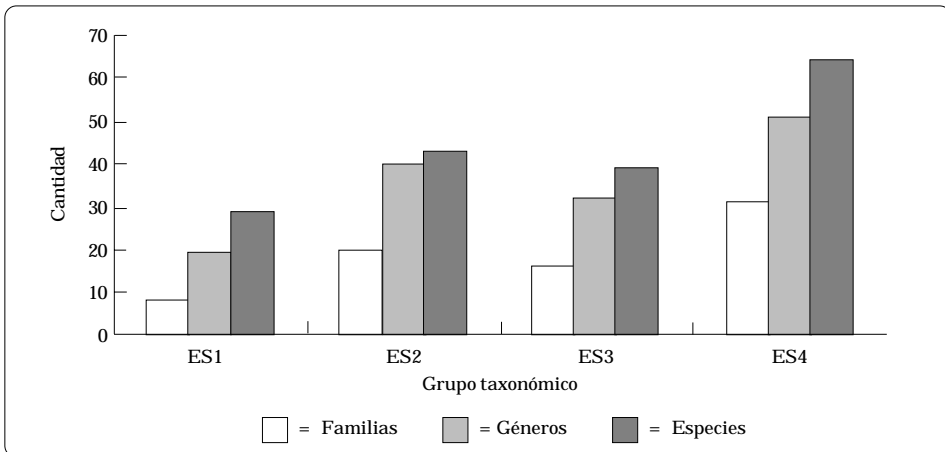


Figura 2-1. Diversidad florística en el proceso de sucesión en la sabana, Altillanura plana, en Carimagua, Llanos Orientales, Meta, Colombia. ES1, ES2, ES3 y ES4 = etapas de sucesión.

Blanquet (1979) y de Boudet (1984). Permite hacer la comparación de las comunidades vegetales y de los datos ecológicos, para identificar las especies características y las más frecuentes en cada comunidad y las que son comunes a los grupos de comunidades más o menos idénticas. Estos datos se obtienen mediante una tabla fitosociológica (matriz de doble entrada con las especies y los levantamientos ecológicos y florísticos para cada sitio uniforme). Actualmente, la clasificación de las comunidades se facilita gracias a algunos programas de computador, por ejemplo, ANAPHYTO, ADDAD 1983 y SAS 1989.

Análisis estadístico de frecuencia de la vegetación. Se consideró el número de veces que una especie estaba presente en cada comunidad; con estos datos se conformó una tabla de doble entrada, donde las hileras eran las especies y las columnas eran las comunidades. Con el fin de describir el comportamiento de las especies con respecto a las comunidades, se hizo un análisis de correspondencia (AC).

El AC (Guinochet 1973; Johnson y Wichern 1982; Lebart et al. 1984) es una técnica que permite reducir la dimensionalidad en el número de categorías de una variable (por hileras o columnas), de tal manera que se pueda representar en un plano la correspondencia o similitud de las categorías de cada variable. El AC requiere de una tabla de datos cuyas hileras y columnas correspondan a las categorías de dos variables bajo estudio, y los datos de cada celda de la tabla correspondan al número de observaciones en que haya combinación de hilera por columna.

Partiendo de la tabla de doble entrada, se calculan los valores de χ^2 ('chi-cuadrado) según las frecuencias de cada celda y las frecuencias marginales. Estos valores se

transforman en distancias métricas y con ellos se hace un análisis de componentes principales, el cual permite identificar el número y la importancia de las dimensiones o ejes factoriales. Finalmente se representan las categorías de las dos variables en planos de dos o tres dimensiones, cuyos ejes corresponden a los ejes factoriales que explican la mayor variabilidad; la proximidad de dos puntos indica asociación entre categorías de hileras o de columnas.

Se calculó también la diversidad de las comunidades vegetales mediante los índices de Shannon (1984) y la Estadística Q (Kempton y Taylor 1978).

Resultados

Composición florística

Según los 25 a 50 puntos muestreados por comunidad, en los 20 estudiados (Cuadro 2-1) se encontraron 183 especies correspondientes a 108 géneros y pertenecientes a 43 familias (ver Apéndice). La composición florística (número de especies por familia) se establece en los histogramas de la Figura 2-2.

Del histograma anterior se puede deducir que las familias Poaceae (gramíneas), Fabaceae (leguminosas) y Cyperaceae son las más representativas y características de las sabanas de Carimagua. Las siguen las familias Asteraceae (Compositae), Rubiaceae, Labiatae (Lamiaceae) y Melastomataceae. La familia Poaceae es la más rica en especies y sus géneros dominantes son: *Paspalum*, *Panicum*, *Axonopus* y *Andropogon*. En la familia Fabaceae, los géneros están mejor distribuidos, y en la familia Cyperaceae el género dominante (en especies) es *Rhynchospora*. La anterior distribución se hace respecto al número de especies observadas en las 20 comunidades estudiadas, sin tener en cuenta el factor edáfico.

Cuadro 2-1. Ubicación, descripción y manejo de las 20 comunidades de los cinco transectos de la vegetación del CI Carimagua, Meta, Colombia.

Comunidades (Transecto, código)	Topografía (Ubicación)	Fisonomía de la vegetación (Especies dominantes)	Textura y M.O. de los suelos (%)	Quema
1 (1A)	Borde de bajo (Oeste Yopare, cerca) Zona húmeda	Sabana arbustiva	Arcilla: 49.9 Arena: 6.9 Limo: 43.4 M.O.: 2.9	Dic. 85
2 (1B)	Altillanura plana (Oeste Yopare) Banco	Sabana herbosa (<i>Andropogon bicornis</i>)	Arcilla: 48.7 Arena: 2.0 M.O.: 2.7	?
3 (1D)	Altillanura plana (Oeste Yopare, borde de carretera) Zona húmeda	Sabana arbustiva. Bajo de altiplano	Arcilla: 51.2 Arena: 4.8 M.O.: 2.7	?
4 (1E)	Altillanura plana (Oeste Yopare)	Sabana herbosa (<i>Axonopus purpusii</i>)	Arcilla: 51.5 Arena: 6.3 M.O.: 2.5	Feb. 84 (Termiteros)
5 (1F)	Altillanura plana (Oeste Yopare) Inicio pendiente	Sabana herbosa (<i>A. purpusii</i> y <i>Trachypogon</i> sp.)	Arcilla: 47.0 Arena: 13.2 M.O.: 2.1	Ago. 84
6 (1G)	Altillanura plana (Suroeste Yopare) Pendiente	Sabana herbosa (<i>Trachypogon</i> sp.)	Arcilla: 35.5 Arena: 29.1 M.O.: 1.5	?
7 (1H)	Bajo (Suroeste Yopare)	Sabana herbosa (Cyperaceae)	Arcilla: 32.9 Arena: 9.9 M.O.: 3.0	Ene. 85
8 (1I)	Bajo-Sural (Suroeste Yopare)	Sabana herbosa (mal drenada - 'sural')	Arcilla: 30.6 Arena: 21.3 M.O.: 2.2	Feb. 85
9 (2A)	Bajo (Este Yopare)	Sabana herbosa (mal drenada)	Arcilla: 28.4 Arena: 40.5 M.O.: 1.4	No quemada (protegida)
10 (2B)	Altillanura plana (Este Yopare)	Sabana herbosa	Arcilla: 27.0 Arena: 44.6 M.O.: 1.3	Nov. 85
11 (2C)	Bajo y alto Altillanura plana (Este Yopare)	Sabana herbosa húmeda	Arcilla: 21.8 Arena: 44.9 M.O.: 1.3	No quemada (protegida)
12 (2D)	Bajo (Medio camino Yopare-Alegría)	Sabana herbosa	Arcilla: 32.7 Arena: 38.6 M.O.: 2.1	No quemada (protegida)
13 (3A)	Altillanura plana	Sabana arbustiva (<i>Palicourea rigida</i>)	Arcilla: 21.7 Arena: 51.0 M.O.: 0.9	No mucho, pastoreada
14 (3B)	Altillanura plana (Borde carretera)	Sabana herbosa (<i>T. vestitus</i>)	Arcilla: 19.2 Arena: 68.0 M.O.: 0.7	No mucho, pastoreada
15 (3C)	Bajo	Sabana herbosa húmeda (syn. <i>Thrasya</i> sp.)	Arcilla: 14.4 Arena: 54.1 M.O.: 2.6	?
16 (3D)	Bajo	Sabana herbosa húmeda (<i>Thrasya</i> sp.)	Arcilla: 28.6 Arena: 23.6 M.O.: 6.5	?
17 (5A)	Bajo (Cerca de Alegría, norte cañón de Carimagua)	Sabana herbosa húmeda	Arcilla: 67.8 Arena: 24.6 M.O.: 5.8	Quemada Jun. 85

(Continúa)

Cuadro 2-1. (Continuación).

Comunidades (Transecto, código)	Topografía (Ubicación)	Fisonomía de la vegetación (Especies dominantes)	Textura y M.O. de los suelos (%)	Quema
18 (5B)	Bajo (Parte alta del bajo)	Sabana herbosa húmeda	Arcilla: 43.5 Arena: 15.8 M.O.: 4.5	Quemada Jun. 85
19 (5C)	Serranía alta (cerca de Alegría)	Sabana herbosa	Arcilla: 40.9 Arena: 29.7 M.O.: 1.4	Mar. 85 (laterita)
20 (5D)	Serranía alta (cerca de Alegría)	Sabana herbosa (<i>Paspalum</i> spp. y <i>Trachypogon plumosus</i>)	Arcilla: 20.0 Arena: 54.1 Limo: 25.9 M.O.: 0.6	Feb. 85

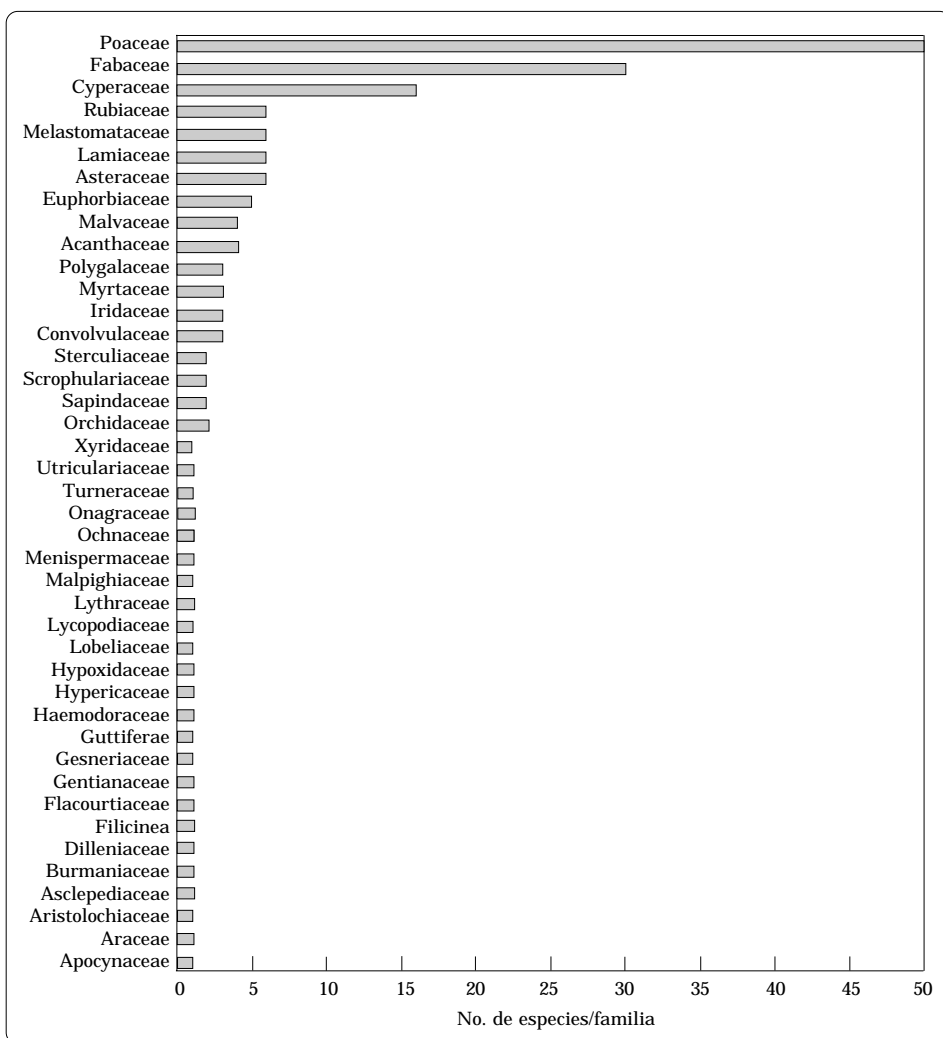


Figura 2-2. Composición florística de la sabana nativa de Carimagua, Llanos Orientales, Meta, Colombia (especies por familia).

Biodiversidad de las comunidades

Hay que considerar, además, la gran riqueza florística de la sabana y su diversidad. Tenemos un promedio de 28 especies por comunidad en un área de 100 m², pero la diversidad es importante según las comunidades consideradas.

El cálculo de los índices de biodiversidad (Cuadro 2-2), según Shannon (Shannon 1984) o según Estadística Q (Kempton y Taylor 1978), muestra la más alta diversidad de vegetación en los bajos húmedos (comunidad 1: sabana arbustiva) y la más baja en la sabana herbácea de la serranía alta (comunidad 19: Altillanura ondulada) o en las pendientes de los “bancos” de la Altillanura plana (comunidades 5 y 6) “o en una y otra” donde dominan *Trachypogon* spp. y *Andropogon purpusii*. En estas comunidades de baja diversidad de vegetación es muy probable que ocurra el pastoreo excesivo (sobrepastoreo).

Agrupación de las comunidades

Para comparar las 20 comunidades y para agrupar, dado el caso, las comunidades similares o muy parecidas —y determinar además las especies características y más frecuentes de cada comunidad y de cada grupo— se hizo un análisis factorial de correspondencia (AF) con la vegetación de estos 20 transectos. La metodología empleada permite clasificar dichos transectos (en los planes 1 y 2) en ocho grupos, tal como se aprecia en la Figura 2-3.

Esta figura presenta ‘grupos’ o ‘asociaciones’ de vegetación de Carimagua. Cada grupo está delimitado por un ‘círculo’ o ‘papa’ (del I al VIII) y en cada círculo aparecen las especies ‘características’ del grupo en las comunidades vegetales de la sabana

nativa de Carimagua. En el Cuadro 2-3 se presentan los ocho grupos de vegetación mencionados y se agrega una síntesis de los resultados del análisis de los suelos de la zona.

Cada grupo de vegetación presenta, en efecto, características específicas respecto al suelo y al contenido de agua (Cuadro 2-4); en él se establecen asociaciones definidas y se pueden determinar subgrupos que poseen también asociaciones vegetales características o típicas.

Cada grupo lleva un título que resume la fisonomía de su vegetación, su ubicación en el relieve y la característica más notable del suelo correspondiente.

Discusión y Conclusiones

Se estudió una parte representativa de los Llanos Orientales de Colombia, principalmente la zona bien drenada o Altillanura plana. Se observó una gran diversidad florística y una gran diversidad de ‘tipos’ de vegetación o de pastura nativa.

Esta diversidad se relaciona con la diversidad de los suelos, la del relieve —que siempre existe, aunque no parece muy importante— y la del uso o manejo de la sabana nativa, especialmente el pastoreo y la quema. Estos últimos usos, que se integran a la dinámica de la sabana nativa, se estudian en los Capítulos 6 y 8 de esta obra.

El inventario y la tipología de la vegetación presentados en este capítulo serían muy útiles para mejorar el conocimiento de la diversidad florística de la región y el uso que conviene darle a ésta. Se conocen aquí mejor, por ejemplo, las especies raras o útiles para el hombre o para la ganadería en aspectos como frecuencia, dinámica, producción, ecología, valor alimenticio.

Cuadro 2-2. Índices de biodiversidad de las principales comunidades vegetales de la sabana nativa del CI Carimagua, Meta, Colombia.

Comunidades (Transecto, código)	Topografía (Ubicación)	Fisonomía de la vegetación (Especies dominantes)	Índice de biodiversidad	
			Índice de Shannon (1984)	Índice Estad. Q Kempston y Taylor (1978)
1 (1A)	Borde de bajo (Oeste Yopare, cerca) Zona húmeda	Sabana arbustiva	3.57	46.73
2 (1B)	Altilanura plana (Oeste Yopare) Banco	Sabana herbosa, sin arbustos (<i>Andropogon bicornis</i>)	3.44	36.47
3 (1D)	Altilanura plana (Oeste Yopare, borde carretera) Zona húmeda	Sabana arbustiva	3.14	17.13
4 (1E)	Altilanura plana (Oeste Yopare)	Sabana herbosa (<i>Axonopus purpusii</i>)	3.34	29.89
5 (1F)	Altilanura plana (Oeste Yopare) Inicio pendiente	Sabana herbosa (<i>A. purpusii</i> , <i>Trachypogon</i> sp.)	3.01	20.16
6 (1G)	Altilanura plana (Suroeste Yopare) Pendiente	Sabana herbosa (<i>Trachypogon</i> sp.)	3.06	19.42
7 (1H)	Bajo (Suroeste Yopare)	Sabana herbosa (Cyperaceae)	3.28	30.02
8 (1I)	Bajo-Sural (Suroeste Yopare) Bajo mal drenado	Sabana herbosa (mal drenada)	3.28	34.05
9 (2A)	Bajo (Este Yopare)	Sabana herbosa (mal drenada)	3.29	35.98
10 (2B)	Altilanura plana (Este Yopare)	Sabana herbosa	3.42	36.09
11 (2C)	Bajo y alto, Altilanura plana (Este Yopare)	Sabana herbosa húmeda	3.42	36.09
12 (2D)	Bajo (Medio camino Yopare- Alegría)	Sabana herbosa	3.55	35.63
13 (3A)	Altilanura plana	Sabana arbustiva (<i>Palicourea rigida</i>)	3.18	21.48
14 (3B)	Altilanura plana (Borde carretera)	Sabana herbosa (<i>Trachypogon vestitus</i>)	3.13	24.75
15 (3C)	Bajo	Sabana herbosa húmeda (syn. <i>Thrasya</i> sp.)	3.47	30.39
16 (3D)	Bajo	Sabana húmeda (<i>Thrasya</i> sp.)	3.30	36.48
17 (5A)	Bajo (Cerca de Alegría, norte Cañó Carimagua)	Sabana herbosa húmeda	3.26	26.88
18 (5B)	Bajo (Parte alta del bajo)	Sabana herbosa húmeda	3.13	23.37
19 (5C)	Serranía alta (Alegría, cerca)	Sabana herbosa	2.70	14.95
20 (5D)	Serranía alta (Alegría, cerca)	Sabana herbosa (<i>Paspalum</i> spp. y <i>Trachypogon plumosus</i>)	3.43	30.17

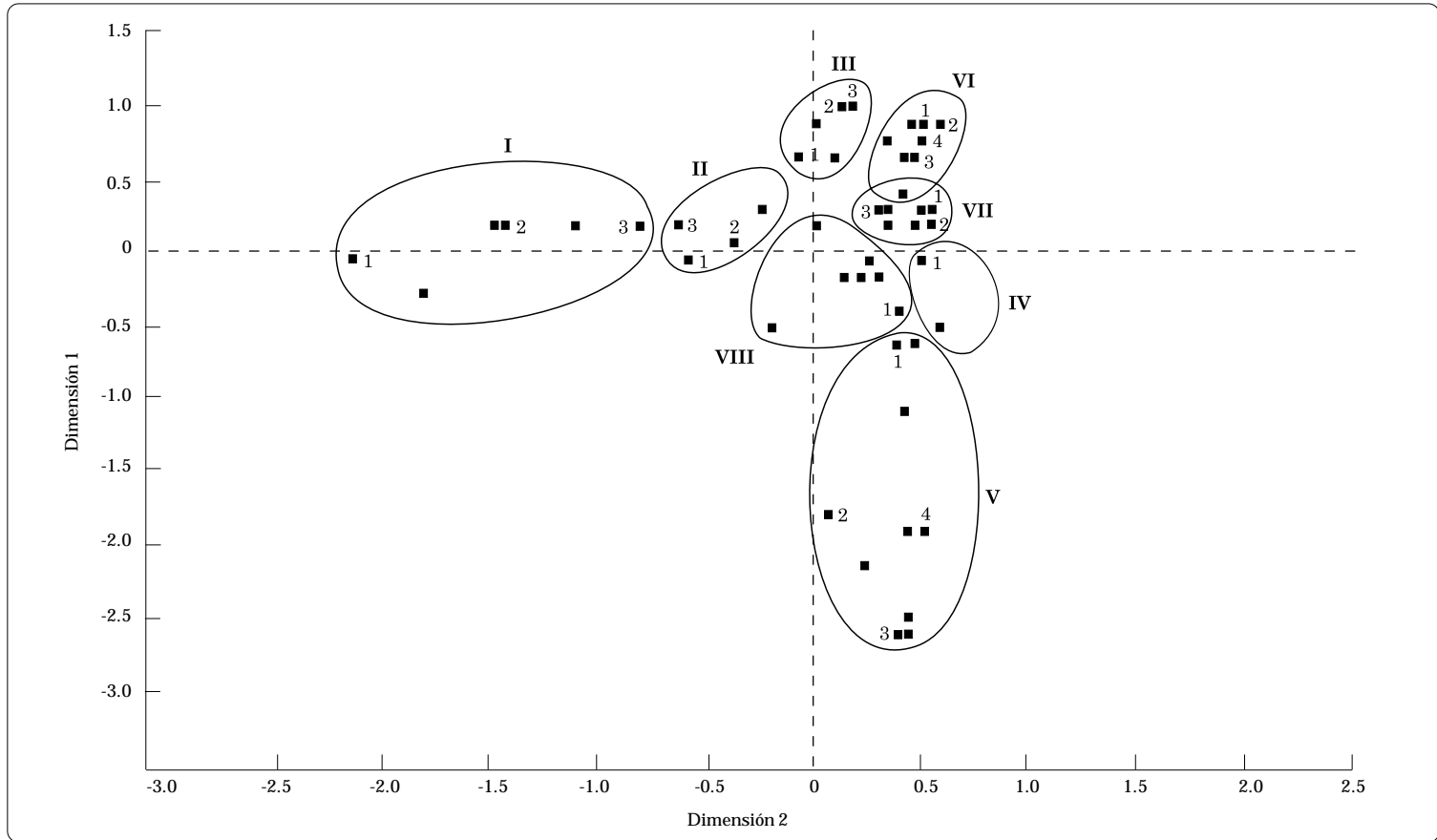


Figura 2-3. Muestra de la metodología con que se analizó la vegetación de la sabana nativa del CI Carimagua. Mediante análisis factorial de correspondencia, 20 transectos (M0 a M20) se clasificaron en ocho grupos o asociaciones de vegetación (ver Cuadro 2-3) que los investigadores delimitaron en la figura con 'trazos' circulares o elípticos aproximados. Los números dentro de cada área definida por el trazo señalan la posición de algunas de las especies "características" de cada grupo y las identifican en el Cuadro 2-3.

Cuadro 2-3. Grupos o 'asociaciones' de especies (especie y familia) observados en las comunidades vegetales de la sabana de Carimagua, Meta, Colombia. Las cifras entre paréntesis (1, 2, etc.) indican la posición de la especie en el grupo que le corresponde del análisis de la Figura 2-3.

Tipos y subdivisión	Nombre	Familia
Grupo I: Sabana herbosa húmeda Bajos húmedos. Comunidades vegetales 7, 15, 16		
Especies características:	<i>Ipomoea schomburgkii</i> (1)	Convolvulaceae
	<i>Paspalum convexum</i> (3)	Poaceae
	<i>Scleria distans</i> (2)	Cyperaceae
Subgrupo Ia:	<i>Gymnopogon fastigiatus</i>	Poaceae
	<i>Lipocarpa sellowiana</i>	Cyperaceae
	<i>Scleria pterota</i>	Cyperaceae
	<i>Syngonanthus gracilis</i>	Eriocaulaceae
Subgrupo Ib:	<i>Borreria capitata</i>	Rubiaceae
	<i>Andropogon fastigiatus</i>	Poaceae
	<i>Imperata contracta</i>	Poaceae
	<i>Hypogynium virgatum</i>	Poaceae
	<i>Thrasya trinitensis</i>	Poaceae
Especies más frecuentes:	<i>Paspalum carinatum</i>	Poaceae
	<i>Paspalum convexum</i>	Poaceae
	<i>Aristida riparia</i>	Poaceae
	<i>Axonopus aureus</i>	Poaceae
	<i>Panicum parvifolium</i>	Poaceae
	<i>Xyris laxifolia</i>	Xyridaceae
Suelos		
Arcillo-limoso (Subgrupo Ia) y areno-limoso (Subgrupo Ib). Buen nivel de M.O. (>3%) y de P _{tot} (3-4 ppm). Buen nivel de agua (reserva) en la parte alta (0-55 cm) del suelo: - durante la época seca (16%-40%); - durante la época lluviosa (24%-44%).		
Grupo II: Sabana herbosa seca Bajos secos. Comunidades vegetales 8, 11, 12		
Especies características:	<i>Irlbachia alata</i> (3)	Gentianaceae
	<i>Sipanea pratensis</i> (2)	Rubiaceae
	<i>Paspalum multicaule</i> (1)	Poaceae
Especies más frecuentes:	<i>Andropogon leucostachyus</i>	Poaceae
	<i>Axonopus aureus</i>	Poaceae
	<i>Axonopus purpureus</i>	Poaceae
	<i>Paspalum carinatum</i>	Poaceae
	<i>Rhynchospora confinis</i>	Cyperaceae
	<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	Poaceae
Suelos		
Limo-arcilloso o areno-limoso. Bajo nivel de M.O. (>2%) y de azufre (3-4 ppm). Alto nivel de hierro (60-80 ppm). Muy bajo nivel de agua (reserva) en la época seca (6%-10%) y bajo nivel de agua en la época lluviosa (17%-21%)		

(Continúa)

Cuadro 2-3. (Continuación).

Tipos y subdivisión	Nombre	Familia
Grupo III: Sabana herbosa seca		
Altillanura ondulada. Comunidades vegetales 19, 20		
Especies características:	<i>Polygala</i> sp. (2)	Polygalaceae
	<i>Rhynchospora bulbosa</i>	Cyperaceae
	<i>Trachypogon plumosus</i> (1)	Poaceae
	<i>Bulbostylis paradoxa</i> (3)	Cyperaceae
Especies más frecuentes:	<i>Aristida riparia</i>	Poaceae
	<i>Leptocoryphium lanatum</i>	Poaceae
	<i>Paspalum carinatum</i>	Poaceae
	<i>Paspalum parviflorum</i>	Poaceae
	<i>Paspalum pectinatum</i>	Poaceae
	<i>Rhynchospora confinis</i>	Cyperaceae
	<i>Rhynchospora globosa</i>	Cyperaceae
	<i>Schizachyrium sanguineum</i>	Poaceae
	<i>Trachypogon plumosus</i>	Poaceae
Suelos		
Areno-arcilloso y limo-arcilloso. Muy bajo nivel de M.O. (0.6%-1.3%) y de P (1 ppm). Muy bajo nivel de agua (reserva) en las épocas seca y lluviosa.		
Grupo IV: Sabana herbosa húmeda		
Bajos húmedos. Comunidades vegetales 17, 18		
Especies características:	<i>Clidemia rubra</i> (1)	Melastomataceae
	<i>Rotala ramosior</i>	Lythraceae
	<i>Paspalum clavuliferum</i>	Poaceae
Especies más frecuentes:	<i>Andropogon leucostachyus</i>	Poaceae
	<i>Aristida capillacea</i>	Poaceae
	<i>Axonopus aureus</i>	Poaceae
	<i>Rotala ramosior</i>	Lythraceae
	<i>Eragrostis maypurensis</i>	Poaceae
	<i>Gymnopogon foliosus</i>	Poaceae
	<i>Hyptis atrorubens</i>	Lamiaceae
	<i>Leptocoryphium lanatum</i>	Poaceae
	<i>Melochia colombiana</i>	Sterculiaceae
	<i>Otachyrium versicolor</i>	Poaceae
	<i>Paspalum clavuliferum</i>	Poaceae
	<i>Paspalum parviflorum</i>	Poaceae
	<i>Rhynchospora globosa</i>	Cyperaceae
Suelos		
Arcilloso pesado y arcilloso (>50% arcilla). Muy alto nivel de agua en las épocas seca (26%) y lluviosa (42%). Alto nivel de M.O.		

(Continúa)

Cuadro 2-3. (Continuación).

Tipos y subdivisión	Nombre	Familia
Grupo V:	Sabana arbustiva	
	Suelos arcillosos. Comunidades vegetales 3, 4	
Especies características:	<i>Aeschynomene elegans</i>	Fabaceae
	<i>Axonopus purpusii</i>	Poaceae
	<i>Spermacoce tenuior</i>	Rubiaceae
	<i>Calyptracarya glomerulata</i> (4)	Cyperaceae
	<i>Hyptis verticillata</i> (2)	Lamiaceae
	<i>Lindernia diffusa</i> (1)	Scrophulariaceae
	<i>Ludwigia leptocarpa</i>	Onagraceae
	<i>Mimosa pudica</i>	Mimosaceae
	<i>Panicum laxum</i> (3)	Poaceae
	<i>Rhynchospora pubera</i>	Cyperaceae
Especies más frecuentes:	<i>Axonopus purpusii</i>	Poaceae
	<i>Otachyrium versicolor</i>	Poaceae
	<i>Rhynchospora pubera</i>	Cyperaceae
Suelos		
Arcillo-limoso (50% arcilla y 43% limo). Nivel medio de agua en las épocas seca (14%) y lluviosa (23%). P muy bajo (0.5 ppm).		
Grupo VI:	Sabana herbosa seca, de bancos	
	Suelos arenosos. Comunidades vegetales 9, 10, 13, 14	
Especies características:	<i>Declieuxia fruticosa</i>	Rubiaceae
	<i>Eriosema crinitum</i> (4)	Fabaceae
	<i>Hyptis dilatata</i> (3)	Lamiaceae
	<i>Palicourea rígida</i> (1)	Rubiaceae
	<i>Vigna candida</i> (2)	Fabaceae
Especies más frecuentes:	<i>Andropogon selloanus</i>	Poaceae
	<i>Paspalum pectinatum</i>	Poaceae
	<i>Rhynchospora confinis</i>	Cyperaceae
	<i>Schizachyrium sanguineum</i>	Poaceae
Suelos		
Areno-limoso, limo-arcilloso y areno-arcilloso. Muy bajo nivel de agua (reserva) en las épocas seca (5%-6%) y lluviosa (14%-18%). Bajo nivel de M.O. y de P.		

(Continúa)

Cuadro 2-3. (Continuación).

Tipos y subdivisión	Nombre	Familia
Grupo VII: Sabana arbustiva seca		
Borde de bajo. Comunidad vegetal 1		
Especies características:	<i>Aeschynomene hystrix</i>	Fabaceae
	<i>Curatella americana</i> (arbustiva) (3)	Dilleniaceae
	<i>Eriosema rufum</i> (2)	Fabaceae
	<i>Galactia glaucescens</i>	Fabaceae
	<i>Sida spinosa</i>	Malvaceae
	<i>Vigna hoockerii</i>	Fabaceae
	<i>Imperata brasiliensis</i>	Poaceae
	<i>Setaria geniculata</i> (1)	Poaceae
Especies más frecuentes:	<i>Axonopus aureus</i>	Poaceae
	<i>Aristida capillacea</i>	Poaceae
	<i>Gymnopogon foliosus</i>	Poaceae
	<i>Imperata brasiliensis</i>	Poaceae
	<i>Rhynchospora globosa</i>	Cyperaceae
	<i>Schizachyrium sanguineum</i>	Poaceae
	<i>Setaria geniculata</i>	Poaceae
	<i>Trachypogon vestitus</i>	Poaceae
	<i>Thrasya petrosa</i>	Poaceae
Suelos		
Arcillo-limoso (50% arcilla y 43% limo).		
Nivel medio de agua en las épocas seca (15%) y lluviosa (25%).		
Bajo nivel de M.O. (2.9%) y P bajo (0.7 ppm).		
Grupo VIII: Sabana herbosa seca		
Pendientes. Comunidades vegetales 2, 5, 6		
Especies características:	<i>Galactia glaucescens</i> (1)	Fabaceae
	<i>Otachyrium versicolor</i>	Poaceae
Especies más frecuentes:	<i>Andropogon bicornis</i>	Poaceae
	<i>Aristida capillacea</i>	Poaceae
	<i>Axonopus purpusii</i>	Poaceae
	<i>Gymnopogon foliosus</i>	Poaceae
	<i>Otachyrium versicolor</i>	Poaceae
	<i>Paspalum pectinatum</i>	Poaceae
	<i>Rhynchospora globosa</i>	Cyperaceae
	<i>Trachypogon vestitus</i>	Poaceae
Suelos		
Arcillo-limoso (45%-45%).		
Nivel medio de agua (reserva) en la época seca (12%) y nivel bajo en la época lluviosa (20%).		
Bajo nivel de P (0.5-1.4 ppm).		

Cuadro 2-4. Parámetros edáficos de los grupos de vegetación hallados en el CI Carimagua, Meta, Colombia.

Parámetro o componente edáfico ^a (y medida)	En grupo de vegetación:								Promedio general
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
	De comunidad:								
	7, 16, 15	8, 11, 12	20, 19	17, 18	4, 3	13, 9, 14, 10	1	2, 6, 5	
Arcilla (%)	25.2	28.3	30.4	55.6	51.3	24.5	49.8	43.7	35.6
Arena (%)	29.1	34.9	41.9	11.6	5.5	50.9	6.9	14.7	28.3
Limo (%)	45.4	36.6	27.5	32.6	43.0	24.8	43.4	41.4	36.0
M.O. (%)	4.0	1.8	0.9	5.1	2.5	1.0	2.8	2.0	2.4
P (ppm)	3.7	1.2	0.9	1.4	0.5	1.3	0.7	0.8	1.4
pH	4.5	4.6	4.7	4.6	4.5	4.5	4.6	4.5	4.6
Al (meq/100 g)	2.3	1.6	1.4	4.2	2.1	1.0	2.7	2.1	2.0
Ca (meq/100 g)	0.09	0.07	0.09	0.12	0.12	0.07	0.12	0.12	0.09
Mg (meq/100 g)	0.06	0.05	0.06	0.08	0.06	0.04	0.06	0.06	0.06
K (meq/100 g)	0.05	0.04	0.05	0.07	0.05	0.03	0.05	0.04	0.04
S (ppm)	5.0	3.4	5.5	5.5	5.5	4.9	5.9	6.3	5.10
B (ppm)	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.20
Zn (ppm)	1.0	0.3	0.3	0.4	0.4	0.2	0.4	0.4	0.40
Mn (ppm)	2.8	1.2	0.4	2.5	3.6	0.8	4.6	3.1	1.90
Cu (ppm)	0.1	0.3	0.2	0.2	0.4	0.2	0.5	0.4	0.3
Fe (ppm)	57.0	72.0	52.8	46.6	66.3	37.7	33.0	51.1	52.8
A.D. en perfil 1 (0-55 cm)									
En época seca (%)	24.8	7.7	8.4	26.1	13.9	6.3	14.8	12.2	13.6
En época lluviosa (%)	28.4	18.3	14.6	42.3	23.5	14.5	24.4	19.7	22.2
A.D. en perfil 2 (55-95 cm)									
En época seca (%)	21.2	13.8	13.2	26.6	20.5	8.4	19.5	17.4	16.6
En época lluviosa (%)	22.4	17.3	16.4	34.8	24.3	14.3	22.1	20.4	20.6
A.D. en perfil 3 (95-155 cm)									
En época seca (%)	21.8	18.8	16.7	28.3	28.4	13.8	26.9	22.9	21.0
En época lluviosa (%)	14.9	19.3	18.7	33.0	32.2	16.0	30.0	25.0	23.2

a. A.D. = agua disponible (en el perfil).

Las especies, o grupos de especies, son también un indicador del tipo de suelo (de sus características o sus carencias) y, en consecuencia, del potencial del suelo, de su uso posible para otros cultivos y de aspectos similares.

Los datos de frecuencia y de abundancia de las especies, que fueron utilizados para crear una tipología de las comunidades vegetales, sirvieron también para desarrollar la cartografía y hacer el inventario de esas formaciones vegetales; una y otro son muy útiles para la ubicación, la planimetría y el manejo ulterior de esas formaciones (Girard y Rippstein 1994; Rippstein y Girard 1994).

Referencias

- Blydenstein N. 1967. Tropical savanna vegetation of the Llanos of Colombia. *Ecology* 48:1-15.
- Boudet H. 1984. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Ministère de la Coopération, París, Francia. 266 p.
- Braun-Blanquet J. 1950. Sociología vegetal. ACME Agency, Argentina. 445 p.
- Braun-Blanquet J. 1979. Fitosociología: Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Editorial Blume, Madrid, España. 820 p.
- Cochrane T. T. et al. 1985. Land in tropical America. CIAT-EMBRAPA/CPAC, Cali, Colombia. 146 p.
- Cuatrecasas J. 1958. Aspectos de la vegetación natural de Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cien. Exactas Fis. Nat.* 10(40):221-264.
- Dugand A. 1973. Elementos para un curso de geobotánica en Colombia. *Cespedesia (Colombia)* 2(6-8):137-480.
- Escobar E.; Belalcázar J.; Rippstein G. 1993. Clave de las principales plantas de sabana de la Altillanura de los Llanos Orientales en Carimagua, Meta, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Universidad Nacional de Colombia y Centre internationale pour la recherche agricole et le développement (CIRAD), Francia. CIAT, Cali, Colombia. 92 p.
- Girard C. M.; Rippstein, G. 1994. Utilisation des données SPOT HVR pour la cartographie des savanes et pâturages dans les Llanos de Colombie. *Boletín* no. 133. Société Française de Photogrammétrie et de Télédetection, p. 11-19; 47-48.
- Goodland R. 1979. *Ecologia do Cerrado*. Ed. Itatiaia, São Paulo, Brasil.
- Goodland R.; Pollard R. 1973. The Brazilian Cerrado vegetation: A fertility gradient. *J. Ecol.* 61:219-224.
- Guinochet M. 1973. *Phytosociologie*. Collection Ecologie. Masson et Cie., París. 227 p.
- Johnson R. A.; Wichern D. W. 1982. *Applied multivariate statistical analysis*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, E. U.
- Kempton R. A.; Taylor L. R. 1978. The Q-statistic and the diversity of floras. *Nature* 275:818-820.
- Lebart L.; Morineau A.; Warwick K. 1984. *Multivariate descriptive statistical analysis*. John Wiley & Sons.
- Maguran A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, New Jersey, E. U. 179 p.
- Mata M. 1971. Algunos aspectos relativos a la fertilidad y al manejo de los suelos de sabana. Instituto Agropecuario Nacional, Venezuela. 43 p.

- Rippstein G.; Girard C. 1994. Utilización de datos radiométricos de tipo espacial y terrestre para el estudio e inventario de la vegetación de los Llanos Orientales de Colombia. *Pasturas Tropicales* 16(2):9-17.
- Salinas J. G.; García R. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 83 p.
- Sarmiento G. 1990. Las sabanas americanas. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 332 p.
- SAS Institute. 1989. SAS/STAT user's guide. Versión 6, 4a. ed. Cary, NC, E. U. vol. 2.
- Shannon C. E. 1984. A mathematical theory of communications. (Bell System, Technical Journal 27). En: Legendre L.; Legendre P. *Ecologie numérique*. Masson, Paris/Presses de l'Université du Québec. Tomo 1, 260 p.; Tomo 2, 325 p.

Apéndice

Familias, Géneros y Especies de la Vegetación de la Sabana Nativa del CI Carimagua, en los Llanos Orientales, Meta, Colombia

Cuadro 2A-1. Metodología aplicada en los levantamientos de vegetación.

Levantamiento no.	Método de muestreo	Area o longitud	Estrato	Etapas de sucesión
8	Punto cuadrático	20 m	Bajos	I (1 año)
5	Parcela	100 m ²	Altos	II (4 años)
9	Punto cuadrático	20 m	Bajos	
1	Parcela	100 m ²	Altos	III (8 años)
2	Parcela	100 m ²	Altos	
10	Punto cuadrático	20 m	Bajos	
11	Punto cuadrático	20 m	Bajos	
3	Parcela	100 m ²	Altos	IV (15 años)
4	Parcela	100 m ²	Altos	
12	Punto cuadrático	20 m	Bajos	
6	Parcela	1000 m ²	Altos	Bosque de galería
7	Parcela	1000 m ²	Altos	

Cuadro 2A-2. Diversidad florística de las dicotiledóneas presentes en la Altillanura plana de Carimagua.

Familia	Géneros (no.)	Especies (no.)
Melastomataceae	6	10
Fabaceae	6	8
Rubiaceae	7	8
Burseraceae	3	5
Annonaceae	2	5
Euphorbiaceae	5	5

Cuadro 2A-3. Diversidad florística de las monocotiledóneas presentes en la Altillanura plana de Carimagua.

Familia	Géneros (no.)	Especies (no.)
Poaceae	15	27
Cyperaceae	3	4
Araceae	2	2
Arecaceae	2	2
Smilacaceae	1	1
Heliconiaceae	1	1
Iridaceae	1	1
Orchidaceae	1	1

Cuadro 2A-4. Familias con mayor número de géneros y especies en la vegetación de sabana, en la Altillanura plana de Carimagua.

Familia	Géneros (no.)	Especies (no.)
Poaceae	15	27
Melastomataceae	6	10
Fabaceae	6	9
Rubiaceae	7	8
Euphorbiaceae	5	5
Annonaceae	2	5
Burseraceae	3	5
Cyperaceae	3	4

Cuadro 2A-5. Diversidad florística en el bosque de galería del caño Carimagua.

Familia	Géneros (no.)	Especies (no.)
Lauraceae	3	3
Meliaceae	2	2
Moraceae	2	2
Arecaceae	2	2
Burseraceae	2	2
Chrysobalanaceae	2	2
Myristicaceae	1	1
Mimosaceae	1	1
Euphorbiaceae	1	1
Araliaceae	1	1
Heliconiaceae	1	1
Guttiferae	1	1

Cuadro 2A-6. Porcentaje de cobertura del estrato herbáceo, Carimagua.

Especie	Cobertura (%)	Especie	Cobertura (%)
Etapas I: Levantamiento 8			
<i>Paspalum pectinatum</i>	34.00	<i>Paspalum</i> sp. (PTO 017)	0.57
<i>Gymnopogon foliosus</i>	27.57	<i>Melochia villosa</i>	0.43
<i>Trachypogon vestitus</i>	14.28	<i>Aristida capillacea</i>	0.43
<i>Andropogon leucostachyus</i>	11.88	<i>Hyptis conferta</i>	0.42
<i>Paspalum stellatum</i>	11.57	<i>Panicum campestre</i>	0.42
<i>Rynchospora barbata</i>	9.14	<i>Rynchospora confinis</i>	0.42
<i>Otachyrium versicolor</i>	8.57	<i>Panicum rudgei</i>	0.42
<i>Axonopus purpusii</i>	7.71	<i>Andropogon selloanus</i>	0.29
<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	7.42	<i>Peltaea speciosa</i>	0.29
<i>Andropogon bicornis</i>	4.57	<i>Sabicea villosa</i>	0.28
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	4.33	<i>Declieuxia fructicosa</i>	0.14
<i>Trasya petrosa</i>	1.28	<i>Ruellia geminiflora</i>	0.14
<i>Davilla nitida</i>	1	<i>Paspalum carinatum</i>	0.14
<i>Paspalum contractum</i>	0.71	<i>Aristida riparia</i>	0.14
<i>Aristida tincta</i>	0.57		
		Porcentaje acumulado	149.13
Etapas II: Levantamiento 9			
<i>Aristida tincta</i>	34.29	<i>Axonopus purpusii</i>	0.57
<i>Otachyrium versicolor</i>	31.43	<i>Andropogon leucostachyus</i>	0.57
<i>Trasya petrosa</i>	17.57	<i>Miconia albicans</i>	0.43
<i>Trachypogon vestitus</i>	15.14	<i>Clidemia rubra</i>	0.29
<i>Paspalum</i> sp. (PTO 017)	10.14	<i>Caesaria ulmifolia</i>	0.29
<i>Andropogon bicornis</i>	9.71	<i>Rynchospora barbata</i>	0.29
<i>Andropogon leucostachyus</i>	9.14	<i>Paspalum stellatum</i>	0.29
<i>Andropogon selloanus</i>	6.86	<i>Emilia sonchifolia</i>	0.29

(Continúa)

Cuadro 2A-6. (Continuación).

Especie	Cobertura (%)	Especie	Cobertura (%)
Etapa II: Levantamiento 9 (continuación)			
<i>Vismia baccifera</i>	6.57	<i>Axonopus aureus</i>	0.29
<i>Hyptis atrorubens</i>	5.71	<i>Cissampelos ovalifolia</i>	0.14
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	4.29	<i>Panicum campestre</i>	0.14
<i>Paspalum pectinatum</i>	3.88	<i>Dichromena ciliata</i>	0.14
<i>Elyonorus candidus</i>	2.71	<i>Peltaea speciosa</i>	0.14
<i>Panicum rudgei</i>	2.14	<i>Davilla nitida</i>	0.14
<i>Palicourea rigida</i>	2	<i>Sabicea villosa</i>	0.14
<i>Ruellia geminiflora</i>	1.14		
<i>Setaria geniculata</i>	1	Porcentaje acumulado	167.85
Etapa III: Levantamiento 10			
<i>Andropogon leucostachyus</i>	17.14	<i>Vismia baccifera</i>	0.57
<i>Davilla nitida</i>	6.71	<i>Hyptis atrorubens</i>	0.57
<i>Axonopus purpusii</i>	3	<i>Mesosetum loliiforme</i>	0.43
<i>Trasya petrosa</i>	2.43	<i>Vismia ferruginea</i>	0.43
<i>Vismia baccifera</i>	2.14	<i>Sabicea villosa</i>	0.29
<i>Andropogon bicornis</i>	2	<i>Rynchospora confinis</i>	0.29
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	1.86	<i>Hyptis lantanaefolia</i>	0.29
<i>Rynchospora barbata</i>	1.14	<i>Aristida riparia</i>	0.29
<i>Clidemia rubra</i>	0.86	<i>Tococa guianensis</i>	0.29
<i>Miconia albicans</i>	0.71	<i>Dichromena ciliata</i>	0.14
<i>Otachyrium versicolor</i>	0.71	<i>Mikania psilostachya</i>	0.14
<i>Trachypogon vestitus</i>	0.71	<i>Melochia villosa</i>	0.14
<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	0.57		
<i>Paspalum pectinatum</i>	0.57	Porcentaje acumulado	44.42
Etapa III: Levantamiento 11			
<i>Mesosetum loliiforme</i>	18.43	<i>Sabicea villosa</i>	1.86
<i>Davilla nitida</i>	13.29	<i>Trachypogon vestitus</i>	1.86
<i>Andropogon leucostachyus</i>	8.29	<i>Miconia albicans</i>	1.57
<i>Axonopus purpusii</i>	7.71	<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	1.43
<i>Trasya petrosa</i>	8	<i>Paspalum pectinatum</i>	0.86
<i>Tococa guianensis</i>	3.14	<i>Rynchospora barbata</i>	0.71
<i>Gymnopogon follisus</i>	2.29	<i>Andropogon bicornis</i>	0.29
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	2.14	<i>Borreria sp.</i>	0.14
<i>Clidemia rubra</i>	2.14	<i>Paspalum parviflorum</i>	0.14
<i>Otachyrium versicolor</i>	1.83		
		Porcentaje acumulado	74.15
Etapa IV: Levantamiento 12			
<i>Vismia baccifera</i>	12.14	<i>Sabicea villosa</i>	1.29
<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	8.43	<i>Melinis minutiflora</i>	1.14
<i>Lygodium sp.</i>	8.29	<i>Panicum rudgei</i>	0.57
<i>Hyparrhenia rufa</i>	7.29	<i>Curatella americana</i>	0.57
<i>Miconia albicans</i>	6.71	<i>Eriosema simplicifolia</i>	0.14
<i>Pterogastra major</i>	3.29	<i>Davilla nitida</i>	0.14
<i>Cyperus sp.</i>	3.29	<i>Clitoria guianensis</i>	0.14
<i>Desmodium ovalifolium</i>	2.71	<i>Teliostachya lanceolata</i>	0.14
<i>Clidemia rubra</i>	2	<i>Dichromena ciliata</i>	0.14
<i>Rynchospora barbata</i>	1.57		
<i>Andropogon bicornis</i>	1.29	Porcentaje acumulado	61.28

Cuadro 2A-7. Análisis de muestras de suelo de las etapas 'sucesión' y 'bosque de galería'.

Sitio	Textura	Profundidad (cm)	M.O. (%)	pH	P (ppm)	Al Ca		Mg	K	S (ppm)	Fe (ppm)	N total
						(meq/100 g suelo)						
Etapas de sucesión I	Arcillo-limosa	10	4.8	4.1	1.15	3.16	0.15	0.04	0.07	16.7	29.73	1397
		20	3.7	4.2	1	2.71	0.14	0.03	0.04	20.9	21.38	887
		40	2.7	4.2	0.41	2.25	0.1	0.03	0.02	16	14.41	606
		60	2.2	4.5	0.43	1.66	0.13	0.04	0.02	19.1	12.24	592
		80	2	4.8	1.8	1.29	0.17	0.03	0.03	16.2	10.72	284
Etapas de sucesión II	Franco-arcillosa	10	3.8	4.6	1.2	2.2	0.15	0.05	0.05	20.3	24.22	1200
		20	3	4.6	0.7	1.89	0.12	0.04	0.03	14.9	19.69	887
		40	2.4	4.6	1.5	1.53	0.15	0.03	0.03	16.9	18.73	578
		60	1.8	4.8	0.18	1.18	0.11	0.03	0.03	13.8	13.42	581
		80	1.1	4.8	0.11	0.9	0.11	0.02	0.03	10.5	10.8	357
Etapas de sucesión III	Franco-arcillo-limosa	10	4.7	4.6	0.85	2.39	0.09	0.04	0.06	17.8	72.08	1460
		20	3.4	4.6	1	2.36	0.1	0.03	0.07	19.2	38.76	903
		40	2	4.8	0.6	1.98	0.08	0.03	0.03	18.5	24.11	626
		60	1.7	4.8	1.1	1.53	0.11	0.03	0.03	17	16.74	461
		80	1.1	4.9	0.7	1.22	0.1	0.03	0.02	15.1	12.81	418
Etapas de sucesión IV	Franco-arcillosa	10	2.8	4.6	1.7	1.69	0.15	0.06	0.06	24.1	29.63	1082
		20	2.3	4.7	1.3	1.59	0.14	0.04	0.04	21.3	31.58	758
		40	1.5	4.7	0.7	1.23	0.1	0.03	0.02	19.5	19.99	488
		60	1.1	4.8	0.6	0.96	0.09	0.02	0.02	9.8	13.83	380
		80	0.9	4.9	0.6	0.81	0.1	0.02	0.02	12.1	9.53	511
Bosque de galería	Arcillosa	10	6.2	4.6	4.6	3.88	0.23	0.25	0.14	15.7	69.35	2152
		20	4.7	4.6	2.7	3.42	0.13	0.12	0.09	14.1	44.54	1577
		40	3.6	4.6	1.8	3.36	0.12	0.09	0.06	15	26.74	1196
		60	3.2	4.6	2	2.75	0.12	0.06	0.04	18.7	18.4	954
		80	2.3	4.7	1.9	2.43	0.11	0.05	0.04	13.7	17.47	773

Cuadro 2A-8. Clasificación (familia, género y especie) de la vegetación de la sabana nativa del CI Carimagua.

Observación no.	Familia	Género y especie	Autor
21, 22, 161, 182, 183	Acanthaceae	<i>Blechum pyramidatum</i> <i>Ruellia geminiflora</i> <i>Telioschachya lanceolata</i>	(Lam.) Urban H.B.K. Nees
	[Apocynaceae	? N.N. 1 sp.	—]
31, 32	Araceae	<i>Caladium macrotites</i>	Schot
13	Aristolochiaceae	<i>Aristolochia nummularifolia</i>	H.B.K.
164	Asclepiadaceae	<i>Sarcostemma glaucum</i>	(H.B.K.) Schl.
28, 29	Burmanniaceae	<i>Burmannia bicolor</i>	Martius
197	Clusiaceae (Guttiferae) (Hypericaceae)	<i>Vismia baccifera</i>	(L.) Planch. & Triana subsp. de <i>albata</i> (Kunth) Ewan
33	Asteraceae	<i>Calea</i> sp.	—
71		<i>Pseudelephantopus spiralis</i>	(Less.) Cronq.
73		<i>Erechtites valerianaefolia</i>	D.C.
79		<i>Eupatorium amygdalinum</i> = Ayapana	Lam. Amygdalina (Lamarck) King et H. Robinson
85		<i>Gnaphalium</i> sp.	—
103		<i>Ichthyothere terminalis</i>	(Spreng.) Blake
150		<i>Pseudelephantopus spicatus</i>	(Aubl.) Gleason
81	Convolvulaceae	<i>Evolvulus sericeus</i>	Swartz
106		<i>Ipomoea fistulosa</i>	Mart. ex Choisy
107		<i>Ipomoea schomburgkii</i>	Choisy
27	Cyperaceae	<i>Bulbostylis paradoxa</i>	(Spreng.) Lindman
34		<i>Calyplocarya glomerulata</i>	(Brong) Urban
62		<i>Cyperus haspan</i>	L.
63		<i>Killingia odorataorus</i>	M. Vahl
67		<i>Rhynchospora blepharophora</i>	(J.S. Presl. & C. Presl.) H. Pfeiffer
82		<i>Fimbristylis</i> sp.	—
117		<i>Lipocarpa sellowiana</i>	Kunth
154		<i>Rhynchospora pubera</i>	(Vahl) Boeck
155		<i>Rhynchospora bulbosa</i>	
156		<i>Rhynchospora corymbosa</i>	(L.) Britton
157		<i>Rhynchospora</i> sp.	—
158		<i>Rhynchospora globosa</i>	(H.B.K) Roem. & Schult.
159		<i>Rhynchospora confinis</i>	(Nees) C.B. Clarke
160		<i>Rhynchospora setacea</i>	(Berg) Boecklr.
169		<i>Scleria distans</i>	Poir
168, 170		<i>Scleria pterota</i>	Presl.
59	Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i>	L.
181, 57, 58	Eriocaulaceae	<i>Tonina fluviatilis</i>	Aubl.
179		<i>Syngonanthus caulescens</i>	(Poir.) Ruhl.
180		<i>Syngonanthus gracilis</i>	? (Körn.) Ruhl.
74		<i>Eriocaulon humboldtii</i>	Kunth
36	Euphorbiaceae	<i>Caperonia palustris</i>	(L.) St. Hil.
54		<i>Croton trinitatis</i>	Millsp.
80		<i>Euphorbia communis</i>	L.
110		<i>Jatropha gossypifolia</i>	L.
146		<i>Phyllanthus niruri</i>	Griseb.
38	Flacourtiaceae	<i>Casearia ulmifolia</i>	(Vahl) Vent.

(Continúa)

Cuadro 2A-8. (Continuación).

Observación no.	Familia	Género y especie	Autor
109	Gentianaceae	<i>Irlbachia alata</i> subsp. <i>alata</i>	(Aubl.) Maas
1	Filicineae	<i>Lygodium venustum</i> sp.	—
6	Poaceae	<i>Andropogon bicornis</i>	L.
7		<i>Andropogon leucostachyus</i>	H.B.K.
8		<i>Andropogon selloanus</i>	(Hack.) Hack.
10		<i>Aristida capillacea</i>	Lam.
11		<i>Aristida riparia</i>	Trin.
12		<i>Aristida tincta</i>	Trin.et Rupr.
15		<i>Axonopus affinis</i>	Chase
16		<i>Axonopus aureus</i>	Beauv.
17		<i>Axonopus capillaris</i>	(Lam.) Chase
18		<i>Axonopus chrysoblepharis</i>	(Lam.) Chase
19		<i>Axonopus poiophyllus</i>	(Lagasca) Chase
20		<i>Axonopus purpusii</i>	(Mez.) Chase
52		<i>Coelorachis ramosa</i>	(Furn) Nash
68		<i>Andropogon fastigiatus</i>	sw
70		<i>Echinolaena gracilis</i>	Swallen
72		<i>Eragrostis maypurensis</i>	(H.B.K.) Steud
86		<i>Gymnopogon fastigiatus</i>	Nees
87		<i>Gymnopogon foliosus</i>	(Willd.) Nees
91		<i>Hypogynium virgatum</i>	(Desv.) Dandy.
104		<i>Imperata brasiliensis</i>	Trin.
105		<i>Imperata contracta</i>	(H.B.K.) Hitchc.
112		<i>Leptocoryphium lanatum</i>	(H.B.K.) Nees
121		<i>Mesosetum pittieri</i>	Hitchc.
125		<i>Oplismenus burmanni</i>	(Retz.) Beauv.
133		<i>Otachyrium versicolor</i>	(Doell) Henrard
127		<i>Panicum campestre</i>	Nees
128		<i>Panicum laxum</i>	Swartz
129		<i>Panicum pantrichum</i> = <i>Dichantelium pantrichum</i>	(Heckel) Davidse
130		<i>Panicum parvifolium</i>	Lam.
131	<i>Panicum rudgei</i>	Roem. et Schult.	
132	<i>Panicum stenodes</i>	Griseb.	
134	<i>Paspalum plicatulum</i> Michx. var. <i>glabrum</i>	Arech	
135	<i>Paspalum plicatulum</i> Michx. var. <i>plicatulum</i>	Michx	
136	<i>Paspalum plicatulum</i> Michx. var. <i>villosissimum</i>	Pilger	
137	<i>Paspalum acuminatum</i>	Raddi	
138	<i>Paspalum carinatum</i>	Humb. & Bonpl. ex Flügge	
139	<i>Paspalum clavuliferum</i>	Wright	
140	<i>Paspalum convexum</i>	Humb. & Bompl.	
141	<i>Paspalum contractum</i>	Flügge	
142	<i>Paspalum multicaule</i>	Poir.	
143	<i>Paspalum parviflorum</i>	Rohde	
144	<i>Paspalum pectinatum</i>	Nees	
163	<i>Sacciolepis myuros</i>	(Lam.) Chase	
167	<i>Schizachyrium sanguineum</i>	(Retzius Alston)	
172	<i>Setaria parviflora</i>	(Poiret) Kerguelen	
177	<i>Sorghastrum setosum</i>	(Griseb.) Hitchc.	
187	<i>Thrasya petrosa</i>	(Trin.) Chase	
188	<i>Thrasya trinitensis</i>	Mez	
189	<i>Trachypogon plumosus</i>	(Humb. & Bonpl. ex Willd.) Nees	
190	<i>Trachypogon vestitus</i>	Anders.	
166	Amaryllidaceae	<i>Schiekia orinocensis</i> subsp. <i>orinocensis</i>	(H.B.K) Meissn.

(Continúa)

Cuadro 2A-8. (Continuación).

Observación no.	Familia	Género y especie	Autor
60	Hypoxidaceae	<i>Curculigo scorzoneraefolia</i>	—
61	Iridaceae	<i>Cypella linearis</i>	Baker
109		<i>Cipura paludosa</i>	Aubl.
108		<i>Iridacea</i> sp.	—
93, 99, 100, 101		Lamiaceae (Labiatae)	<i>Hyptis atrorubens</i>
94, 95	<i>Hyptis brachiata</i>		Briquet
96	<i>Hyptis capitata</i>		Jacq.
97	<i>Hyptis conferta</i>		Pohl, ex Benth.
92	<i>Hyptis conferta</i> var. <i>angustifolia</i>		Pohl, ex Benth.
98	<i>Hyptis dilatata</i>		Benth.
102	<i>Hyptis verticillata</i>		Benth.
2	Fabaceae		<i>Aeschynomene americana</i>
3, 4		<i>Aeschynomene elegans</i>	Chamisso & Schlechtendal
5		<i>Aeschynomene histrix</i>	Poir.
44		<i>Centrosema angustifolium</i>	(H.B.K.) Bentham
45		<i>Centrosema venosum</i>	C. Martius ex Bentham
51		<i>Clitoria guianensis</i>	(Aublet) Bentham
53		<i>Crotalaria sagittalis</i>	L.
65		<i>Desmodium barbatum</i>	(L.) Benth.
66		<i>Desmodium ascendens</i>	(Swartz) De Candolle
69		<i>Dioclea guianensis</i>	Bentham
75		<i>Eriosema crinitum</i>	(H.B.K.) G. Don
77		<i>Eriosema rufum</i>	(H.B.K.) G. Don
78, 186		<i>Eriosema simplicifolium</i>	(H.B.K.) G. Don
83		<i>Galactia glaucescens</i>	Kunth
84		<i>Galactia jussiaeana</i>	Kunth
118		<i>Macroptilium monophyllum</i>	(Benth.) Marechal & Baudet
178		<i>Stylosanthes guianensis</i>	(Aublet) Swartz
184		<i>Tephrosia cinerea</i>	(L.) Pers.
185		<i>Tephrosia sessiliflora</i>	(Poir.) Hassler
194		<i>Vigna candida</i>	(Velloso) Marechal et al.
195	<i>Vigna hoockeri</i>	Verdcourt	
196	<i>Vigna</i> sp. (especie grande)	—	
199	<i>Zornia latifolia</i>	Smith	
200	<i>Zornia marajoara</i>	Huber	
39	Caesalpiaceae	<i>Chamaecrista cultrifolia</i>	(H.B.K.) Britton & Rose
40		<i>Chamaecrista flexuosa</i>	(L.) Greene
41		<i>Chamaecrista gracilis</i>	(Kunth) Pittier
43		<i>Chamaecrista hispidula</i>	(M. Vahl) H. Irwin & Barneby
42		<i>Chamaecrista serpens</i>	(L.) Greene
123	Mimosaceae	<i>Mimosa pudica</i>	L.
114	Campanulaceae (Lobeliaceae)	? N.N.	—
116	Lycopodiaceae	<i>Lycopodium cernuum</i>	L.
56	Lythraceae	<i>Rotala ramosior</i>	(L.) Koehne
30	Malpighiaceae	<i>Byrsonima verbascifolia</i>	(L.) Rich.
90	Malvaceae	<i>Peltaea speciosa</i>	(H.B.K.) Staud.
173		<i>Sida linifolia</i>	Juss. ex Cav.
174		<i>Sida spinosa</i>	L.
175		<i>Sida sufruticosa</i>	L.

(Continúa)

Cuadro 2A-8. (Continuación).

Observación no.	Familia	Género y especie	Autor
14	Melastomataceae	<i>Pterogastra major</i>	Tr.
47		<i>Clidemia rubra</i>	(Aubl.) Mart.
48		<i>Clidemia capitellata</i>	(Bonpland) D. Don
49		<i>Desmoscelis villosa</i>	(Aublet) Naudin
50		<i>Miconia rufescens</i>	(Aublet) D.C.
122		<i>Miconia rubiginosa</i>	(Bonpland) D.C.
124		<i>Miconia atemostachya</i>	(Schrank & C. Martius) D.C.
46	Menispermaceae	<i>Cissampelos ovalifolia</i>	D.C.
151	Myrthaceae	<i>Psidium guineense</i>	Swartz
152		<i>Psidium maribense</i>	Mart. ex D.C.
153		<i>Psidium</i> sp.	—
165	Ochnaceae	<i>Sauvagesia erecta</i>	L.
115	Onagraceae	<i>Ludwigia leptocarpa</i>	Nutt.
88	Orchidaceae	<i>Habenaria heptdactyla</i>	R.
89		<i>Habenaria</i> sp. (especie de los bajos)	—
147	Polygalaceae	<i>Polygala galioides</i>	Poir.
148		<i>Polygala paniculata</i>	L.
149		<i>Polygala</i> sp.	—
23	Rubiaceae	<i>Borreria capitata</i>	(R. & P.) D.C.
24		<i>Spermacoce tenuior</i>	L.
25		<i>Borreria capitata</i> var. <i>suaveolens</i>	(G. Meyer) Steyermark
176, 55		<i>Sipanea pratensis</i>	Aublet
64		<i>Declieuxia fruticosa</i>	(R. et S.) Kuntze
126		<i>Palicourea rigida</i>	H.B.K.
162		<i>Sabicea colombiana</i>	Wernham
171	Sapindaceae	<i>Serjania paniculata</i>	H.B.K.
37		<i>Cardiospermum halicacabum</i>	L.
26, 193	Scrophulariaceae	<i>Buchnera pusilla</i>	H.B.K.
113		<i>Lindernia diffusa</i>	Browne
111	Gesneriaceae	<i>Sinningia incarnata</i>	(Aubl.) D. Deuch
191	Turneraceae	<i>Turnera ulmifolia</i>	L.
192	Utriculariaceae (Lentibulariaceae)	<i>Utricularia pusilla</i>	Vahl.
198	Xiridaceae	<i>Xyris laxifolia</i>	C. Martius
119	Sterculiaceae	<i>Melochia colombiana</i>	
120		<i>Melochia lupulina</i>	Swertz

CAPÍTULO 3

Biodiversidad de la Vegetación de Sabana en la Altillanura Plana y la Serranía de los Llanos Orientales¹

R. A. Serna-Isaza*, G. Rippstein**, C. Grollier*** y E. Mesa*

Resumen

Los Llanos Orientales de Colombia, cuya extensión aproximada es de 17 millones de hectáreas, ofrecen una gran diversidad de hábitat y nichos ecológicos que están sometidos a factores de presión selectiva como la sequía estacional o el exceso de agua (ambos muy notorios), un déficit de nutrientes en el suelo y fuegos recurrentes en su vegetación. Son, por tanto, un activo escenario de diversificación biológica.

En el presente capítulo se discute el concepto de diversidad biológica junto con sus niveles jerárquicos y se estudian conceptos sobre la medición y el alcance de esa diversidad. Se abordan diferentes niveles de la diversidad de la vegetación nativa de la Serranía y de la Altillanura colombiana mediante dos

casos desarrollados por el proyecto de Manejo de Sabana Nativa del antiguo Programa del Trópico Bajo del CIAT. Se plantea aquí, finalmente, la necesidad de hacer más investigación en el futuro.

En la Altillanura y en la Serranía, en la zona comprendida entre Puerto López y Puerto Gaitán, Meta, Colombia, se registraron 197 especies pertenecientes a 114 géneros y 41 familias. En la Altillanura plana, en el área de Carimagua, se reportaron 183 especies en 108 géneros y 43 familias. Las familias más frecuentes son Poaceae, Cyperaceae y Fabaceae; éstas y otras siete familias representan cerca del 80% de las apariciones en los levantamientos de vegetación.

Introducción

La diversidad biológica o biodiversidad es un concepto difícil de definir que contiene dos componentes (Magurran 1988; WCMC 1992):

- La riqueza de especies, que se expresa generalmente por el número de especies en una unidad de muestreo definida.
- La abundancia de especies o 'equitatividad', que suele representarse mediante modelos.²

1. Trabajo presentado al Taller Regional "Agrociencia y Tecnología Siglo XXI: Orinoquia Colombiana", celebrado en Villavicencio, Meta, Colombia, en noviembre de 1996.

* Respectivamente: Biólogo y Estadístico, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

** Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), CIAT, Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

*** École d'agro-développement internationale, ISTOM, Francia.

2. Se usa también el anglicismo 'equitatividad' en vez de equitatividad (*N. del E.*).

En general, la biodiversidad se refiere a la variedad y variabilidad existentes en los organismos vivos, en los sistemas ecológicos que los albergan y en las interrelaciones que se establecen entre estos componentes (UICN 1992, citado en Almanza 1994). La diversidad biológica puede ser abordada, por ello, en diferentes niveles jerárquicos: genes, especies, niveles taxonómicos superiores, comunidades y procesos bióticos, ecosistemas y biomas, tanto a escala temporal como espacial (Almanza 1994). En este capítulo, y desde un punto de vista conceptual, adoptaremos un enfoque de la biodiversidad partiendo desde el nivel específico que considera las especies como unidades comparables de diversidad en cuyas poblaciones, a causa de su diversidad genética, actúa la selección natural.

Medida de la diversidad de especies. Cada uno de los dos componentes de la biodiversidad (riqueza y equitatividad) provee información sobre la misma. Sin embargo, la relación mutua entre ambos parámetros da pie para combinarlos en índices basados en la abundancia proporcional de especies.

Hay tres formas principales de evaluar la diversidad de especies (Magurran 1988):

- **Índices de riqueza de especies.** Se puede diferenciar entre la riqueza numérica de especies, que se define como el número de especies por número determinado de individuos o de biomasa (Kempston 1979, citado en Magurran 1988), y la densidad de especies, que es el número de especies por área de muestreo (Hurlbert 1971, citado en Magurran 1988) (Figura 3-1). En las sabanas, la abundancia de una especie se caracteriza, generalmente, por su porcentaje de cobertura (Bulla 1996).
- **Modelos de abundancia de especies.** Utilizan toda la información obtenida en una comunidad y hacen la expresión matemática más completa de los datos. En este caso, la diversidad se relaciona generalmente con cuatro modelos principales: la distribución normal logarítmica, la serie geométrica, la serie logarítmica y el modelo de la “vara interrumpida” de MacArthur (Giller 1984; Pielou 1974, citado en

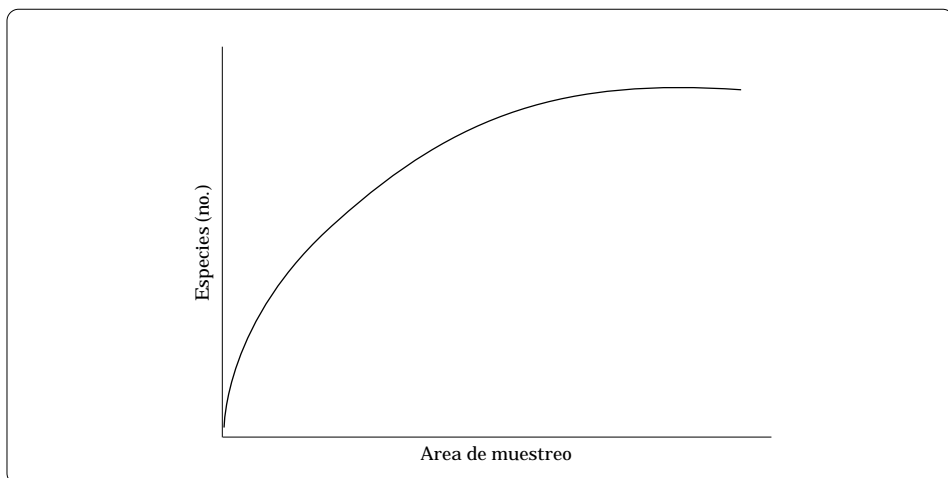


Figura 3-1. Diversidad de especies medida por el incremento en la riqueza de especies, según el tamaño del área de muestreo.

Magurran, 1988) (Figura 3-2). Estos modelos representan una progresión que va de la serie geométrica —donde unas pocas especies son dominantes y las demás son poco comunes— pasando por las distribuciones de las series logarítmica y normal logarítmica —en las cuales son más comunes las especies de abundancia intermedia— y finaliza con el modelo de la ‘vara interrumpida’ —en el cual la abundancia es similar para todas las especies.

Otro acercamiento a la medición de la diversidad que tiene en cuenta la distribución de las especies, aunque no se ajusta a modelos, es la Estadística Q (Kempton y Taylor 1976; 1978, citados en Magurran 1988). Esta medida es un indicativo de la diversidad de la comunidad que no da ningún peso

a las especies muy abundantes ni a las muy raras.

- *Índices basados en la abundancia proporcional de especies.* Ofrecen una alternativa de más fácil manejo para medir la diversidad cristalizando, en una sola medida, la riqueza y la equitatividad. Los índices más ampliamente utilizados son los relacionados con la teoría de la información (p.e., el índice de Shannon) y el de dominancia (p.e., el de Simpson).
 - Los índices de la teoría de la información hacen esta racionalización: la biodiversidad o la información contenida en un sistema natural se puede medir de manera similar a la información encerrada en un código o en un mensaje (Magurran 1988). El índice de Shannon, por ejemplo, supone

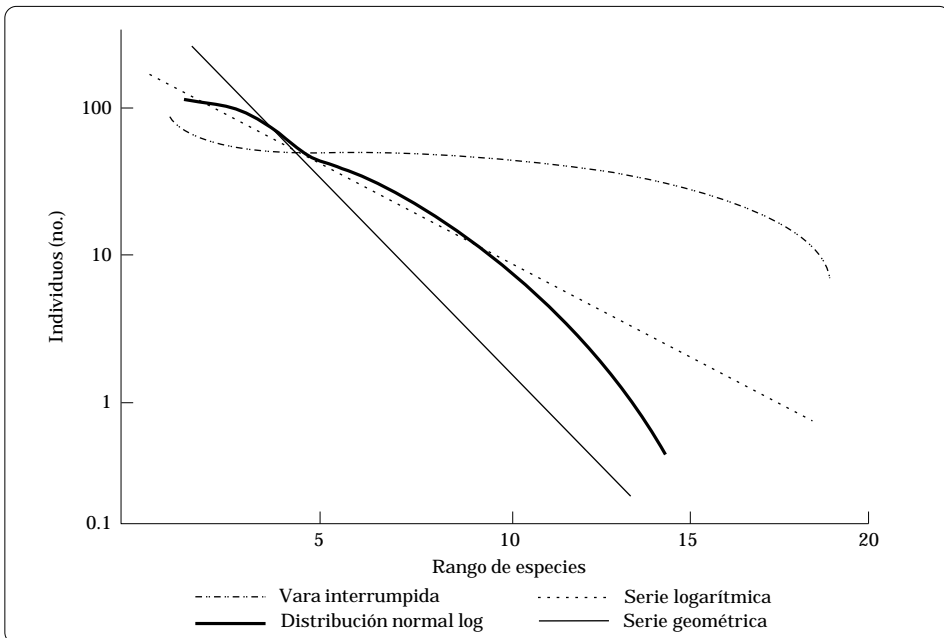


Figura 3-2. Diversidad de especies según los modelos de distribución de la abundancia de especies.

FUENTE: Giller 1984.

que se toman muestras al azar de los individuos de una población 'indefinidamente grande' y que todas las especies están presentes en la muestra (Magurran 1988). Se calcula según la siguiente ecuación:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \ln p_i \quad (1)$$

donde:

- H = contenido de información de la muestra (bits/individuo) =
 = índice de diversidad de especies
- S = número de especies
- p_i = proporción de la muestra total correspondiente a la i-ésima especie

Cuanto mayor sea el número de especies o la equitatividad en la distribución de las especies, mayor será la diversidad de especies evaluada mediante este índice (Krebs 1985).

- El índice que mide la dominancia da mayor peso a las especies más comunes. El más usado es el índice de Simpson, D, que evalúa la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar en una comunidad infinitamente grande pertenezcan a la misma especie (Krebs 1985):

$$D = 1 / (\text{probabilidad de escoger dos organismos de la misma especie})$$

$$D = \frac{1}{\sum_{i=1}^S p_i^2} \quad (2)$$

donde:

- p_i = proporción de individuos de la especie i en la comunidad.

En este capítulo se estudian diferentes aspectos de la biodiversidad de la vegetación nativa en el área comprendida entre Puerto López y Puerto Gaitán y en el área de Carimagua, zonas representativas de la Serranía y la Altillanura, respectivamente, de Colombia.

Area de Estudio

Diversidad del paisaje

La Altillanura plana es una franja de unos 60 km de ancho, en promedio, que se extiende al sur del río Meta, desde Puerto López hasta Venezuela. Tiene sectores altos y planos con pendientes inferiores al 1%, cubiertos por una vegetación de sabana abierta y 'limpia' o 'herbosa' (o sea, con escasos árboles y arbustos). Estos sectores comprenden cerca del 90% del paisaje. El 10% restante (ver Figura 1-12, del Capítulo 1) está ocupado por bajos y vías de drenaje de la Altillanura (Botero 1989).

La Altillanura ondulada y la Serranía constituyen una franja situada al sur de la Altillanura plana en un paisaje dominado por colinas. Tienen pendientes del 1% y 30% y bajos húmedos que ocupan cerca del 25% del área (Botero 1989).

Sarmiento (1983; 1994; 1996a) define este tipo de sabanas como estacionales o secas, porque en ellas ocurre un período de estrés por sequía; tienen un estrato arbóreo diversificado, y los principales géneros de gramíneas que se encuentran en ellas son *Andropogon*, *Aristida*, *Axonopus*, *Leptocoryphium*, *Panicum* y *Trachypogon*.

Otro tipo de sabanas bien representadas en los Llanos Orientales, aunque menos importantes en el área específica que nos atañe en este capítulo, son las sabanas hiperestacionales que presentan cuatro

períodos contrastantes. Carecen, generalmente, de componentes leñosos, a excepción de algunas especies de palmas. Los principales géneros encontrados en estas sabanas son *Andropogon*, *Leersia*, *Panicum*, *Paspalum*, *Sorghastrum* y, además, los de las Cyperaceae (Sarmiento 1996a). Estas sabanas están ampliamente distribuidas en las llanuras mal drenadas al norte del río Meta.

Están, por último, las sabanas semiestacionales que se hallan en sitios de relieve más bajo. En ellas, la principal causa de estrés es el exceso de agua. Los géneros más frecuentes en ellas son *Hymenachne*, *Leersia*, *Oryza*, *Panicum* y los pertenecientes a las Cyperaceae (Sarmiento 1996a). Una de las formas más conocidas de estas sabanas son los llamados 'esteros'.

Bordeando los cursos de agua, es usual la presencia de 'bosques de galería', que alcanzan una anchura de cientos de metros (generalmente son inferiores a 1 km); están constituidos por un dosel que puede llegar a 20 m de altura y tienen estratos bien definidos (ver Capítulo 6 de esta obra). Otras comunidades vegetales comunes son los 'morichales', que están dominadas por *Mauritia flexuosa*, *M. minor* o *Mauritiella* spp., principalmente (o por varias de ellas); los morichales se presentan como formaciones largas y angostas al lado de los caños que corren en suelos húmedos o en bordes de laguna o en esteros.

Están, finalmente, las 'matas de monte' y los bosquetes, que son comunidades de selva bien estructuradas o incipientes, presentes en sitios con nivel freático alto y mejores condiciones químicas de suelo.

Diversidad de los suelos

Los *suelos de sabana* provienen de sedimentos aluviales originarios de los

Andes y tienen baja fertilidad a causa de su avanzado estado de meteorización y del bajo nivel de los nutrientes. Son suelos muy lavados en razón de su permeabilidad y de la alta precipitación de la región comprendida.

Presentan baja capacidad de intercambio catiónico y una elevada acidez, condiciones ambas asociadas con la toxicidad debida al Al y, en algunos casos, al manganeso (Botero 1989). El contenido total de P en estas sabanas varía de 200 a 600 ppm, mientras que el P disponible (Bray II) va de 1 a 3 ppm (Botero 1989).

Los *suelos de la Altillanura* plana son profundos, bien estructurados, muy porosos y permeables, y se clasifican como Haplustox típicos, Caoliniticos, Isohipertérmicos (Oxisoles). Los de la Altillanura ondulada y la Serranía son generalmente pedregosos por la abundancia de plintita y cantos rodados de cuarzo. Los horizontes superficiales son arenosos, mientras que los profundos son arcillosos; la presencia de plintita los preserva de la erosión, pese a las pendientes fuertes (Botero 1989; Peters 1994).

Los *suelos de los bajos* presentan, generalmente, mayor contenido de materia orgánica (M.O.) y mayor capacidad de intercambio catiónico, aunque son deficientes en la mayoría de los nutrientes esenciales. Se suelen clasificar como Inceptisoles (Botero 1989; Peters 1994). En el Cuadro 2A-7, del Capítulo 2, se presentan las principales características fisicoquímicas de estos suelos.

Diversidad de climas

El clima de los Llanos Orientales está determinado por el ritmo de los vientos y de las lluvias. Estas últimas se concentran en un período de 8 a 10 meses al año y representan alrededor del 95% de la precipitación

registrada, la cual varía de 1800 mm en el norte de Vichada a más de 3500 mm cerca a Mitú, en Vaupés (Khobzi et al. 1980, citados en Grollier, 1994). La estación seca comprende de 2 a 4 meses; la frecuencia de las precipitaciones disminuye al alejarse de la Cordillera Oriental (Botero 1989) y aumenta proporcionalmente durante la época húmeda.

El área estudiada tiene una altura promedio de 150 m.s.n.m. Presenta un período de lluvias que va desde abril hasta diciembre y un período seco desde mediados de diciembre hasta finales de marzo. La precipitación anual es, aproximadamente, de 2200 mm y disminuye hacia el oriente. La temperatura media anual es de 26 °C, razón por la cual estas sabanas son clasificadas como 'isohipertérmicas bien drenadas' con clima típico de sabana: A_w en la clasificación climática de Köppen (Sarmiento 1996a).

La humedad relativa es de 80% en la estación de lluvias y de 50% a 60% en la estación seca. Durante este último período es alta la evapotranspiración potencial cuando el agua disponible en el suelo alcanza valores mínimos, especialmente durante los meses de febrero y marzo (Botero 1989).

Metodología

Se tomaron muestras de la vegetación de sabana nativa mediante transectos representativos de las zonas en estudio (Serranía en el área que se extiende entre Puerto López y Puerto Gaitán, y Altillanura en el área de Carimagua) utilizando la metodología del punto cuadrático (Paladines 1992) o la de los marcos metálicos de 2.5 m² o ambos métodos (ver Cuadro 2A-1, del Capítulo 2).

La información de campo permitió conocer el nombre de las especies y su agrupación en géneros y familias, su

frecuencia y su cobertura. La frecuencia se refiere al número de veces que una especie se presenta en un número dado de parcelas de muestreo o de puntos de muestreo (Müller-Dombois y Ellenberg 1974). La cobertura es la fracción proporcional de la superficie del suelo que está ocupada por la proyección perpendicular de las partes aéreas de los individuos de la especie considerada (Paladines 1992).

Los listados de todos los levantamientos, que contienen información sobre la composición de especies y sus variaciones cuantitativas, se transfieren a una tabla única, conocida en fitosociología como *tabla de síntesis* (Müller-Dombois y Ellenberg 1974) la cual, organizada mediante pasos sucesivos, permite reconocer tanto los grupos de especies que tienen una distribución similar entre los levantamientos como los levantamientos que presentan una composición similar de especies.

Se ha establecido que son especies 'constantes' o más frecuentes las que están presentes en un alto porcentaje de los levantamientos (p.e., superior al 60%); que son especies diferenciales o características aquellas cuya distribución está restringida a algunos levantamientos (se excluyen las especies de baja frecuencia o raras).

Actualmente, la clasificación de las comunidades vegetales es facilitada por programas de computador, por ejemplo, ANAPHYTO, SAS, TWINSPAN, CLUTAB (Rippstein et al. 1994; 1995). La información obtenida permite determinar grupos de vegetación de la zona estudiada: para ello se utilizó el Análisis de Correspondencia (AC).

Este tipo de análisis representa en un espacio de dos ó tres dimensiones otro de muchas dimensiones y permite visualizar en un plano la correspondencia o similitud de las categorías de cada variable. Requiere

la elaboración de una tabla de doble entrada, en la que cada celda corresponda al número de observaciones de dicha combinación de variables.

A partir de la tabla de doble entrada, se calculan los valores de χ^2 utilizando la frecuencia de cada celda y las frecuencias marginales. Estos valores se transforman en distancias métricas y, mediante un análisis de componentes principales, se identifican los ejes vectoriales que contienen la mayor información (Rippstein et al. 1994; Falissard, 1996). La proximidad de dos puntos indica la asociación de las variables de una categoría a otra.

Resultados del Proyecto

Diversidad florística. En la Altillanura y la Serranía, en la zona comprendida entre Puerto López y Puerto Gaitán, se registraron 197 especies pertenecientes a 114 géneros y 41 familias. En la Altillanura plana, en el área de Carimagua, se han reportado 183 especies pertenecientes a 108 géneros y 43 familias. Las familias más frecuentes son Poaceae, Cyperaceae y Fabaceae que, con otras 7 familias, representan cerca del 80% de las apariciones en los levantamientos de vegetación.

La mayor riqueza florística de la Serranía refleja la diversidad de hábitat generados por la topografía ondulada.

En los dos sitios evaluados, las familias Poaceae, Fabaceae, Cyperaceae y Asteraceae presentaron mayor diversidad (Cuadro 3-1). Esta distribución, de tipo logarítmico, en la cual pocos géneros alcanzan amplia diversidad, fue reportada antes para esa área por Polo (1969).

Las especies más frecuentes de la Altillanura y la Serranía, en la zona de Puerto López y Puerto Gaitán, fueron

Andropogon leucostachyus,
Rhynchospora holoschenoides,
Paspalum pectinatum, *Schizachyrium hirtiflorum*, *Axonopus aureus*,
Trachypogon plumosus,
Leptocoryphium lanatum, *Declieuxia fruticosa* y *Mesosetum loliiforme*, que presentaron una frecuencia superior al 60% (Cuadro 3-2).

La familia Poaceae contiene el mayor número de especies; los géneros dominantes en ella, que ejercen la mayor influencia fisionómica, son *Paspalum*, *Panicum*, *Axonopus* y *Andropogon*. En las Cyperaceae, el género dominante es *Rhynchospora*; en las leguminosas, son dominantes los géneros *Clitoria*, *Chamaecrista* y *Eriosema* con una frecuencia superior al 50%.

En general, en la Serranía disminuyen las Cyperaceae y aumentan las Poaceae (gramíneas) y las especies arbustivas pertenecientes a las familias Myrtaceae, Flacourtiaceae, Malpighiaceae, Annonaceae y Erythroxylaceae; todas ellas dan un aspecto de sabana arbustiva al paisaje. Estas familias incrementan su presencia porque la precipitación es mayor y el drenaje del suelo es mejor (Cuadro 3-3), ya que la Serranía se encuentra a mayor altitud que otros sistemas (Rippstein et al. 1994).

La diversidad de especies de gramíneas y leguminosas en la Altillanura y la Serranía colombianas puede considerarse elevada en comparación con la observada en otros ecosistemas (Cuadro 3-4). Entre los diversos géneros de gramíneas de la Altillanura están *Paspalum* (12 especies y variedades), *Axonopus* (7 especies), *Panicum* (6 especies) y *Andropogon* (5 especies). Pott y Adamoli (1996) reportan, en las sabanas del Pantanal de Piaguás en la región del Mato Grosso brasileño, varias especies de gramíneas: 14 en las

Cuadro 3-1. Riqueza de la flora en la Altillanura y la Serranía.^a

Familias más frecuentes	Géneros (no.)	Especies (no.)	Frecuencia	Frecuencia acumulada
Poaceae	19	48	0.370	0.370
Cyperaceae	6	14	0.135	0.505
Fabaceae	14	21	0.117	0.622
Rubiaceae	5	8	0.060	0.683
Asteraceae	9	10	0.039	0.721
Labiatae	1	4	0.034	0.756
Euphorbiaceae	5	5	0.027	0.783
Caesalpinaceae	1	4	0.027	0.810
Melastomataceae	4	7	0.021	0.831
Scrophulariaceae	5	6	0.019	0.850

a. Tomado de Grollier 1994.

Cuadro 3-2. Principales especies vegetales de la Altillanura y la Serranía halladas en los levantamientos de vegetación y su frecuencia.

Especie	Frecuencia
<i>Andropogon leucostachyus</i>	0.88
<i>Rhynchospora holoschenoides</i>	0.80
<i>Paspalum pectinatum</i>	0.76
<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	0.69
<i>Axonopus aureus</i>	0.65
<i>Trachypogon plumosus</i>	0.65
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	0.63
<i>Declieuxia fruticosa</i>	0.61
<i>Mesosetum loliiforme</i>	0.60
<i>Clitoria guianensis</i>	0.59
<i>Chamaecrista desvauxii</i>	0.58
<i>Elyonorus candidus</i>	0.56
<i>Phyllanthus niruri</i>	0.54
<i>Hyptis dilatata</i>	0.54
<i>Rhynchospora podosperma</i>	0.53
<i>Eriosema simplicifolium</i>	0.53
<i>Paspalum carinatum</i>	0.51
<i>Paspalum contractum</i>	0.51

FUENTE: Grollier 1994.

Cuadro 3-3. Principales especies arbustivas de la Altillanura y la Serranía y su frecuencia.

Especie	Frecuencia
<i>Clidemia rubra</i>	0.36
<i>Curatella americana</i>	0.32
<i>Palicourea rigida</i>	0.25
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	0.20
<i>Casseea ulmifolia</i>	0.19
<i>Vismia baccifera</i>	0.17
<i>Psidium</i> sp.	0.17
<i>Miconia scorpiodes</i>	0.09
<i>Xilopia aromatica</i>	0.08
<i>Casseea zizyphoides</i>	0.07
<i>Pterogastra major</i>	0.07
<i>Davilla aspera</i>	0.05
<i>Bowdichia virgilioides</i>	0.03
<i>Jacaranda copaia</i>	0.02
<i>Psidium maribense</i>	0.02
<i>Psidium salutare</i>	0.02
<i>Byrsonima coccolobaefolia</i>	0.01
<i>Tococca guianensis</i>	0.01

sabanas de *Vochysia*, 23 en las de *Byrsonima*, 28 en las de *Elyonorus* y 17 en las de *Curatella*; registran los autores, en cambio, 1, 3, 14 y 4 especies de leguminosas relacionadas, respectivamente, con los grupos de gramíneas anteriores. Sin embargo, la riqueza de especies es similar a la de la

Altillanura y la Serranía, gracias al aporte de otras familias vegetales. Los mencionados autores reportan un total de 23 especies en las sabanas de *Vochysia*, 39 en las de *Curatella*, 64 en las de *Byrsonima* y 72 en las de *Elyonorus*; en las comunidades evaluadas en la Altillanura colombiana, el promedio de especies es de 41, con un máximo de 65 y un mínimo de 30. Esta diversidad de especies del Pantanal es, sin embargo, inferior a la de los Cerrados (Rippstein et al. 1995).

Otros trabajos realizados para la Altillanura colombiana (Rangel et al. 1995) muestran un gran cambio en la diversidad y en la representación florística de los principales taxa; una de las razones del cambio es que estos trabajos se basaron en una revisión bibliográfica y de herbario y no discriminan la flora según los

diferentes ecosistemas representados en la Altillanura colombiana (p.e., sabanas, selvas de galería, morichales, 'matas de monte'). Es, sin embargo, importante la contribución de los principales taxa a la diversidad florística general (Cuadro 3-5).

Llama la atención la diversidad de especies que tienen fuera de la sabana las rubiáceas, las leguminosas, las melastomatáceas, las asteráceas, las orquídeas y las euforbiáceas. En las rubiáceas se debe principalmente a la gran diversidad específica de los géneros *Psychotria* y *Palicourea*, especialmente en el sotobosque de las 'matas de monte' y en las selvas de galería. En las melastomatáceas y compuestas, la mayor diversidad está en las comunidades arbustivas, como los bosquetes. En las euforbiáceas y leguminosas, la mayor diversidad se encuentra, respectivamente, en los estratos arbustivos y arbóreos de las selvas de galería. Las especies de orquídeas epífitas prosperan en las selvas de galería y en las 'matas' de buen tamaño porque allí es mayor la humedad.

Diversidad de comunidades vegetales. En la Altillanura, en la región de Carimagua, se registraron, en total, 20 comunidades vegetales que fueron agrupadas, mediante análisis de

Cuadro 3-4. Diversidad florística en la sabana de la Altillanura y la Serranía colombianas.

Paisaje	Especies	Familias	Gramíneas	Leguminosas
Altillanura	183	43	45	23
Serranía	197	41	53	26
Diferencias	84	5	26	13

Cuadro 3-5. Diversidad florística general de los principales taxa hallados en la Altillanura colombiana.

Familia	Especies (no.)		Géneros (no.)	
	Total ^a	En sabana ^b	Total ^a	En sabana ^b
Rubiaceae	560	8	89	5
Poaceae	182	48	61	19
Leguminosae	178	26	63	16
Cyperaceae	75	14	18	6
Melastomataceae	62	7	21	4
Asteraceae	56	10	36	9
Orchidaceae	55	1	25	1
Euphorbiaceae	42	5	22	5

a. Tomado de Rangel et al. 1995.

b. Tomado de Grollier 1994.

correspondencia, en ocho tipos de vegetación (Cuadro 3-6, Figura 3-2); estos tipos reflejan una gran diversidad florística de los ecosistemas (ver Capítulo 2 y su Apéndice, esta obra).

Las zonas bajas presentan un mayor porcentaje de reserva de agua en el suelo, mayores contenidos de M.O., un contenido de P total de bajo a intermedio, y suelos con tendencia a ser arcillosos. En estas zonas se observan dos grupos: en uno de ellos (grupo IV) hay especies características, como las dicotiledóneas *Clidemia rubra* (Melastomataceae) y *Rotala ramosior* (Lythraceae), esta última capaz de soportar inundación durante largo tiempo; sus suelos son arcillosos y presentan el mayor contenido de M.O. que se halló en los grupos evaluados. El otro grupo (grupo I) está florísticamente poco relacionado con el anterior, es de gran amplitud y presenta también niveles intermedios de M.O. y de P, una moderada reserva de agua en el suelo, y especies características de monocotiledóneas que requieren niveles freáticos elevados; probablemente es uno de los grupos de mayor productividad vegetal.

Los demás grupos están conformados por sabanas secas. Los grupos II, III y VI presentan un contenido de M.O. y P de bajo a muy bajo, e igual nivel de humedad en el suelo; son limo-arcillosos y areno-arcillosos (grupo II), areno-arcillosos y limo-arcillosos (grupo III) y arenosos (grupo VI). El componente edáfico arenoso y el nivel de M.O. (de bajo a muy bajo) que comparten estos tres grupos son, tal vez, responsables de la baja capacidad de retención de agua de éstos, especialmente en la época seca. Es de esperar, además, una baja productividad vegetal.

El grupo III, especialmente y, en menor grado, los grupos II y VI presentan formas de vida predominantemente erectas y en

macollas (véanse las especies más frecuentes en el Cuadro 2A-6, del Capítulo 2). Esta característica causa un sombreado del terreno en el cual se producen tipos de sabana; éstos, al ser quemados, dejan muchas veces una fracción considerable del suelo descubierta y, por ello, sujeta a procesos erosivos importantes por efecto del viento y de la lluvia. En general, estas condiciones edáficas y de bioforma pueden redundar en una baja productividad y en gran fragilidad del medio, situación que debe ser considerada para el manejo y la conservación de la biodiversidad de este tipo de sabanas.

Los restantes tipos de sabana (V, VII y VIII) se presentan en suelos arcillo-limosos, cuyo contenido de M.O. es bajo (entre 2% y 2.9%), tienen niveles muy bajos de P (0.5 a 0.8 ppm) y una retención moderada del agua, tanto en la época seca como en la lluviosa. El grupo V, de gran amplitud florística, presenta una gran diversidad de familias y de especies características, algunas con reconocido potencial forrajero, como *Axonopus purpusii*; esta poácea, gracias a su crecimiento cespitoso y a su elevada frecuencia de aparición, puede conferir un gran potencial para la ganadería a dicho tipo de sabanas.

En la Figura 2-3, del Capítulo 2, se observa que los grupos IV, V y VII comparten características en su composición florística, mientras que el grupo VII las comparte con los grupos VI, IV y VII.

Diversidad de usos. Muchas plantas de sabana son empleadas por comunidades indígenas o criollas de manera diferente, según el manejo que ellas dan al ecosistema. La etnobotánica de los Guahibos o Sikuanis, principal etnia de esta área de estudio, se expresa mejor en el aprovechamiento y manejo de la biodiversidad existente en el 'conuco',

Cuadro 3-6. Especies características y condiciones edáficas relacionadas con ellas en la vegetación de sabana de la Altillanura plana en los Llanos Orientales de Colombia.
ES = estación seca; EL = estación lluviosa.

Tipo de vegetación (Fisonomía)	Vegetación: especies características		Características edáficas				
	Grupo	Subgrupos	Textura	M.O. (%)	P total (ppm)	Agua (reserva, %)	
						ES	EL
I. Sabana herbácea húmeda (Bajos)	<i>Ipomoea schomburgkii</i> <i>Paspalum convexum</i> <i>Scleria distans</i>	(1a) <i>Gymnopogon fastigiatus</i> <i>Lipocarpha sellowiana</i> <i>Scleria aterota</i> <i>Syngonanthus gracilis</i>	Arcillo-limosa	> 3 ^c	3-4 ^c	16-40 ^c	24-44 ^c
		(2a) <i>Borreria capitata</i> <i>Diectomis fastigiata</i> <i>Imperata contracta</i> <i>Hypoginium virgatum</i> <i>Thrasya trinitensis</i>	Areno-limosa	> 3 ^c	3-4 ^c	16-40 ^c	24-44 ^c
II. Sabana herbácea seca (Bancos)	<i>Irlbachia alata</i> subsp. <i>alata</i> <i>Sipanea pratensis</i> <i>Paspalum multicaule</i>		Limo-arcillosa y areno-limosa	< 2 ^a	1.2 ^a	6-10 ^b	17-21 ^a
III. Sabana herbácea seca (Bancos)	<i>Polygala</i> sp. <i>Rhynchospora bulbosa</i> <i>Trachypogon plumosus</i> <i>Bulbostylis paradoxa</i>		Areno-arcillosa y limo-arcillosa	0.6-1.3 ^b	1.0 ^b	Baja	Baja
IV. Sabana herbácea húmeda (Bajos)	<i>Clidemia rubra</i> <i>Rotala ramosior</i> <i>Paspalum clavuliferum</i>		Arcillosa	5.1 ^c	1.4 ^a	26.0	42.0
V. Sabana herbácea seca (Bancos)	<i>Aeschynomene elegans</i> <i>Axonopus purpusii</i> <i>Borreria laevis</i> (y otras)		Arcillo-limosa	2.5 ^a	0.5 ^b	14.0 ^c	23.0 ^c

(Continúa)

Cuadro 3-6. (Continuación).

Tipo de vegetación (Fisionomía)	Vegetación: especies características		Características edáficas				
	Grupo	Subgrupos	Textura	M.O. (%)	P total (ppm)	Agua (reserva, %)	
						ES	EL
VI. Sabana herbácea seca		<i>Declieuxia fruticosa</i> <i>Eriosema crinitum</i> <i>Hyptis dilatata</i> <i>Palicourea rigida</i> <i>Vigna candida</i>	Arenosa	1.0 ^b	1.3 ^a	5-6 ^b	14-18 ^b
VII. Sabana herbácea (Borde de bajos)		<i>Aeschynomene hystrix</i> <i>Eriosema rufum</i> <i>Galactia glaucescens</i> <i>Sida spinosa</i> <i>Vigna hoockeri</i> <i>Imperata brasiliensis</i> <i>Setaria parviflora</i>	Arcillo-limosa	2.9 ^a	0.7 ^b	14.8 ^c	24.4 ^c
VIII. Sabana herbácea seca		<i>Galactia glaucescens</i> <i>Otachyrium versicolor</i>	Arcillo-limosa	2.0 ^a	0.8 ^b	12.0 ^c	20.0 ^a

- a. Bajo.
b. Muy bajo.
c. Medio.

una zona cultivada en el interior de las 'matas de monte'; se aplica el sistema de tumba y quema en un área aproximada de 1 a 2 ha.

En estos conucos se cultivan especies que entran en producción rápidamente y especies perennes. Entre las primeras se destacan las siguientes:

- La yuca (*Manihot esculenta*), base de la dieta alimenticia guahiba.
- Gran diversidad de especies vegetales que forman estructuras subterráneas bulbosas, las cuales son consumidas por humanos; pertenecen a las familias Convolvulaceae (p.e., la batata, *Ipomoea* spp.), Araceae (*Xanthosoma* spp.), Dioscoreaceae (p.e., el mapuey, *Dioscorea* spp.) y otras.
- Especies herbáceas con frutos y semillas comestibles de las familias Poaceae (p.e., maíz, *Zea mays*), Bromeliaceae (p.e., piña, *Ananas* spp.), Leguminosae (p.e., tsuluto o frijol, *Phaseolus* spp., y otras papilionoides), entre otras familias.

Llama la atención la gran diversidad de cultivariedades que los guahibos reconocen y seleccionan (p.e., más de medio centenar de variedades de yuca).

Al interior del conuco, cada planta se cultiva en las condiciones microclimáticas que genera la tumba de los árboles. Una vez que estas plantas, cosechadas a corto plazo, crean un dosel protector del suelo, se pasa a la siembra de plantas que permanecerán en producción durante largo tiempo, principalmente los frutales. Estos entran en producción en algún momento entre el tercero y el quinto año de edad (p.e., *Lacmellea edulis*, lechemiel; *Pouteria caimito*, caimito, madura verde; *Annona*

muricata, anón) (ver Cuadros 3-7, 3-8 y 3-9). A medida que transcurre la regeneración natural en el conuco, se cultivan en él los frutales, algunos de los cuales son especies heliófitas propias de etapas sucesionales tempranas, como la uva caimaroná, (*Pourouma cecropiifolia*); simultáneamente habrá otros conucos en producción. Muchos frutos silvestres han sido domesticados de esta manera (p.e., el caimito, *Chrysophyllum auratum*; la papaya o lechosa, *Carica papaya*; la uva caimaroná o llanera, *Pourouma sapida*, etc.) (Romero 1994).

Hay muchas especies no cultivadas que están presentes en las selvas de galería, en las matas de monte o en los ecotonos sabana-selva; estas plantas, principalmente las palmas, se explotan recolectando sus frutos comestibles.

Otras especies son utilizadas en diferentes rituales culturales o médicos por chamanes o curacas, p.e., el yopo (*Anadenanthera peregrina*, *Piptadenia* sp., Leguminosae/Mimosoideae); el yagé (*Banisteriopsis caapi*, Malpighiaceae) y otras. Muchas plantas utilizadas en labores artesanales son explotadas de manera destructiva. Las palmas son el grupo que tiene mayor diversidad de usos y mayor número de especies utilizadas (Balick 1986).

Conviene mencionar los 'cotos de caza', que son conucos especiales o parte de un conuco tradicional, utilizados para la ceba y atracción de animales salvajes que periódicamente son cazados. Finalmente, junto al sitio de vivienda hay huertas familiares en las que se cultivan plantas de consumo diario en pequeñas cantidades, p.e., el ají (*Capsicum* sp.).

Las etnias de sabana han sufrido un brusco cambio cultural al pasar de una condición seminómada a otra sedentaria. Los asentamientos humanos han aumentado de tamaño,

pero los conucos y huertos familiares conservan una estructura que no se adapta a las nuevas condiciones sedentarias de vida, es decir, no hay períodos de descanso para las 'matas de monte'. En el pasado, cuando la comunidad migraba o se fragmentaba, ocurrían esos descansos, que actualmente están restringidos por la creación de resguardos territorialmente limitados. La ausencia de descansos somete el ecosistema a degradación y ha traído consigo la pérdida del conocimiento cultural en el manejo de los recursos, porque se traspasan los límites de la capacidad de carga y de la homeostasis del ecosistema. De continuar el proceso, se alcanzará un punto de no retorno (en el sentido que le da Odum 1987).

Parte de este conocimiento etnobotánico ha sido transformado por los criollos de la región, quienes han incorporado en él elementos propios de todo proceso colonizador. Los llaneros utilizan plantas de las 'matas de monte' y de la 'selva de galería', principalmente maderables, alimenticias y artesanales. Usan también plantas de la sabana con fines principalmente medicinales; p.e., los mastrantos (*Hyptis* spp., Labiatae), el pepaemato (*Aristolochia nummularifolia*, Aristolochiaceae), el alcornoco (*Bowdichia virgiliodes*, Leguminosae/Papilionoideae), el chaparro (*Curatella americana*, Dilleniaceae) y otras. Algunas plantas utilizadas por los indígenas en rituales mágico-religiosos son usadas actualmente por los llaneros en conjuros, rezos y sanaciones; con este último fin se usa el bototo (*Cochlospermum vitifolium*).

Los llaneros han convertido la ganadería en actividad prioritaria y gran parte del valor actual de uso de la sabana está en su valor pastoril. Polo (1969) reconoce y evalúa bromatológicamente 55 especies de

gramíneas espontáneas de la Altillanura plana y la Serranía colombianas, que pertenecen a 23 géneros. Muchas especies son para él de gran potencial forrajero, aunque variables según las condiciones fenológicas.

Hoyos (1987) estudió la acción forrajera del ganado y halló que las principales especies consumidas eran *Andropogon bicornis*, *Trachypogon vestitus*, *Eragrostis maypurensis*, *A. leucostachyus*, *A. selloanus*, *Schizachyrium hirtiflorum* y *Panicum trichanthum*; la disponibilidad de los pastos era el factor principal que decidía su selección por el ganado. Otros autores discuten el comportamiento respecto al consumo de forraje en relación con las especies disponibles (Peters 1994; Allard 1995; Corbin 1996).

La alimentación bovina requiere también la presencia de leguminosas. Están representadas en las sabanas neotropicales por los géneros *Aeschynomene*, *Centrosema*, *Clitoria*, *Crotalaria*, *Chamaecrista*, *Desmodium*, *Eriosema*, *Macroptilium*, *Mimosa*, *Senna*, *Stylosanthes*, *Vigna* y *Zornia*; hay también otros géneros de gran importancia en la fijación de N. Es escaso o nulo el consumo de leguminosas nativas por parte del ganado bovino (Allard 1995; Serna-Isaza y Rippstein 1996).

Se ha reportado el potencial forrajero de las siguientes especies presentes en las sabanas: *Mesosetum loliiforme*, *Paspalum plicatum*, *Andropogon leucostachyus*, *Axonopus purpusii*, *Trachypogon vestitus*, *Axonopus compressus*, *Hymenachne amplexicaulis*, *Panicum laxum*, *Paspalum virgatum* y *Setaria geniculata* (Sousa y Pedrosa 1990). De otra parte, muchas plantas de sabana poseen principios tóxicos para los bovinos (Cuadro 3-10).

Biodiversidad y estabilidad en los ecosistemas de sabana

La biodiversidad afecta el comportamiento de las sabanas por su efecto en la productividad, los ciclos de nutrientes, la economía hídrica, las propiedades edáficas y, posiblemente, en la capacidad de recuperación (resiliency) del ecosistema a largo plazo (Solbrig et al. 1996). En general, una mayor diversidad específica mejorará el funcionamiento de un ecosistema; sin embargo, esa relación continúa siendo confusa y no es posible hacer una afirmación definida sobre el tema (Schulze y Mooney 1993, citados en Sarmiento 1996b).

Esta controversia (biodiversidad vs. estabilidad en el ecosistema) se plantea mediante dos hipótesis principales (Tilman y Downing, 1994):

- La hipótesis '*diversidad-estabilidad*' predice que la biodiversidad promueve la resistencia a la perturbación porque aumenta la probabilidad de que haya más especies que puedan prosperar durante una perturbación ambiental dada; de este modo se compensa por la reducción de competencia que cause el disturbio.
- La hipótesis de la *redundancia de especies* afirma, en cambio, que muchas especies son tan similares que el funcionamiento del ecosistema es independiente de la diversidad, con tal que estén presentes los principales grupos funcionales.

Tilman y Downing (1994) evaluaron durante 11 años el efecto de la biodiversidad en la recuperación de ecosistemas perturbados consistentes en pastizales de sucesión y nativos de Minnesota, E. U. Encontraron que la composición y la diversidad de especies y el funcionamiento del ecosistema dependían de la tasa de suministro de

N. Parcelas con mayor diversidad de especies presentaron mayor resistencia a la sequía, producción de biomasa más alta y más velocidad de recuperación (elasticidad).

Otro de los factores que genera baja estabilidad en las sabanas y los pastizales tropicales es el pastoreo, porque esos sistemas han evolucionado en el neotrópico sin las grandes presiones que ejerce el pastoreo de los herbívoros mayores (Sarmiento 1992, citado en Sarmiento 1996b). Por otra parte, la introducción de varios géneros de pastos de origen africano ha causado una disminución drástica de la biodiversidad de las sabanas neotropicales (Baruch 1996).

Conservación de la Biodiversidad

Todas las especies tienen un período de existencia finito; sin embargo, el hombre puede acelerar la tasa de extinción esperada de las especies, bien sea por causas directas o indirectas.

Entre las *causas directas* están los métodos extractivos empleados en la recolección y el uso de plantas. La palma de cumare (*Astrocaryum vulgare*) es muy utilizada en labores artesanales por las comunidades indígenas de la Orinoquia colombiana. Con tal fin se derriban estas palmas (así como las de muchas otras especies) y se obtienen de ellas los siguientes elementos:

- sus hojas, para techar viviendas y extraer fibras artesanales;
- sus frutos, que son comestibles y producen aceite;
- los meristemas apicales o 'cogollos' para consumo y para extraer fibras artesanales; y
- los estípites, que se dejan descomponer para cultivar en

ellos larvas comestibles de ciertos coleópteros ('mojojeyes').

Las consecuencias de esta práctica son la desaparición, por uso cultural, de la biodiversidad y, en menor grado, el desplazamiento del uso de la misma, aunque a nivel etnobotánico pocas especies se usan como equivalentes de otras. Esta situación se mantendrá mientras el entorno sea manejado de manera "parcialmente tradicional", como se explicó anteriormente.

Entre las *causas indirectas* están la destrucción o la modificación de un hábitat (WCMC 1992). En la Altillanura plana, estos efectos ocurren por la introducción de pasturas mejoradas u otros cultivos y por diferentes formas de manejo del ecosistema, en particular, la ganadería extensiva. Esta es la principal actividad económica de la región y presenta varios aspectos: manejo de la carga animal, descanso de los lotes, frecuencia y época de las quemas. Aun la ausencia de quemas periódicas puede convertirse en una perturbación de un ecosistema que ha estado sujeto a dicho tipo de disturbio (Archer et al. 1996). Todo esto trae consigo cambios en la composición botánica (ver Capítulo 9 de esta obra).

La destrucción de los hábitat ocasionará fragmentación de muchas comunidades vegetales que, al quedar aisladas, podrían quedar sometidas a restricciones poblacionales predichas por la teoría de la biogeografía de islas (MacArthur y Wilson, 1963, 1967, citados en WCMC 1992), según la cual la tasa de extinción de especies tiende a ser inversamente proporcional al tamaño de los parches de vegetación nativa. Por tanto, para conservar especies durante períodos relativamente largos de tiempo, se deben mantener poblaciones de tamaño grande (de cientos a millones de individuos, según la biología de la especie) o numerosas (Schaeffer 1987,

citado en WCMC 1992); es necesario, por tanto, crear **reservas naturales** de los diferentes tipos de ecosistema de sabana.

Conclusiones

Los estudios botánicos y ecológicos básicos, iniciados en la Altillanura colombiana, deberían hacerse en otros tipos de sabana, p.e., en las sabanas mal drenadas ubicadas al norte del río Meta. Esta información, aunada a los estudios biogeográficos, permitirá identificar en los Llanos Orientales las zonas de mayor diversidad biológica y el alto endemismo de especies y comunidades. Estas zonas serán prioritarias para la conservación de especies y llegarán a ser declaradas Reservas de Manejo, con las cuales se podrá garantizar un adecuado suministro de agua, disminuir el riesgo de inundaciones, detener los procesos erosivos y los procesos concomitantes de sedimentación.

Paralelamente, es necesario evaluar el impacto que tienen en la biodiversidad y estabilidad de ecosistemas como la sabana en sus diversos tipos, actividades como la ganadería, la introducción de pasturas mejoradas, el manejo de las quemas y otras similares. Asimismo, es necesario conocer aspectos de la dinámica de la sucesión de comunidades vegetales y de su capacidad de recuperación (resiliencia) frente a diversas formas de manejo.

Aunque existen observaciones aisladas, la valoración y la recuperación sistemáticas del uso de la biodiversidad en términos etnobotánicos, ecológicos y económicos es una prioridad. Es importante evaluar en la sabana el potencial forrajero de géneros que poseen gran diversidad, como *Paspalum*, *Axonopus*, *Panicum* y *Andropogon*.

Dentro de las comunidades indígenas, finalmente, se deben promover y apoyar los procesos que permitan una adaptación efectiva y sostenible a las nuevas estructuras territoriales.

Bibliografía

- Allard G. 1995. Etude du comportement alimentaire des bovins et capacité d'exploitation de la savane colombienne. Memoria de Estudio. Gestion des Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux en Zones Tropicales, Université Paris, XII Val de Marne. 99 p.
- Almanza M. I. 1994. El concepto de biodiversidad y su aplicación en Colombia. Colombia Amazónica 7(1-2):11-22.
- Archer S.; Coughenour M.; Dall'aglio C.; Fernández G. W.; Hay J.; Hoffmann W.; Clink C.; Silva J. F.; Solbrig O. T. 1996. Savanna biodiversity and ecosystem properties. En: Solbrig O. T.; Medina E.; Silva J. (eds.). Biodiversity and savanna ecosystem processes: A global perspective. Springer-Verlag, Berlín. p. 207-215.
- Balick M. J. 1986. Systematic and economic botany of the *Oenocarpus-Jessenia* (Palmae) complex. Advances in economic botany, New York Botanical Garden. vol. 3. 140 p.
- Baruch Z. 1996. Ecophysiological aspects of the invasion by African grasses and their impact on biodiversity and function of neotropical savannas. En: Solbrig O. T.; Medina E.; Silva J. (eds.). Biodiversity and savanna ecosystem processes: A global perspective. Springer-Verlag, Berlín. p. 79-93.
- Botero R. 1989. Manejo de explotaciones ganaderas en las sabanas bien drenadas de los Llanos Orientales de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 99 p.
- Bulla L. 1996. Relationships between biotic diversity and primary productivity in savanna grasslands. En: Solbrig O.T.; Medina E.; Silva J. (eds.). Biodiversity and savanna ecosystem processes: A global perspective. Springer-Verlag, Berlín. p. 97-117.
- Corbin J. 1996. Etude d'un système d'exploitation de la savane des Llanos Orientales de Colombie par la rotation des brûlis. Informe de Estudio. Institut d'Agro-Développement International (ISTOM), Francia. 55 p.
- Falissard B. 1996. Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie. Masson, Paris. 314 p.
- Giller P. S. 1984. Community structure and the niche. Chapman and Hall, Londres. 176 p.
- Grollier C. 1994. Caractérisation des savanes d'une région des Llanos Orientaux de Colombie. Trabajo final de estudios. École d'Agro-Développement International (ISTOM), Francia. 67 p.
- Hoyos P. 1987. Características nutricionales y botánicas de la sabana nativa sin quema, suplementada con leguminosa en los Llanos Orientales de Colombia. (Tesis Mag.Sc.). UCR/CATIE, Turrialba, Costa Rica. 153 p.
- Krebs C. J. 1985. Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance. 3a. ed. Harper & Row, Nueva York. 800 p.
- Magurran A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, Princeton, NJ, E. U. 179 p.
- Müller-Dombois D.; Ellenberg H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons, Nueva York. 547 p.
- Odum E. P. 1987. Ecología. 3a. ed. Interamericana, México, DF. 639 p.

- Paladines O. 1992. Metodología de pastizales. Proyecto de Fomento Ganadero (PROFOGAN), MAG/GTZ, Quito, Ecuador. 219 p.
- Peters A. G. E. 1994. Vegetation dynamics and liveweight changes in the Llanos Orientales of Colombia. (Tesis Ph.D.). Wageningen Agricultural University, Departamento de Agronomía. 94 p.
- Polo E. 1969. Gramíneas espontáneas de la zona norte del departamento del Meta. (Tesis). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. 118 p.
- Pott A.; Adamoli J. 1996. Caracterización ecológica y fitosociológica del pantanal de Paiguas. En: Sarmiento G.; Cabido M. (eds.). Pastizales y sabanas en América Latina. CYTED y CIELAT, Venezuela. p. 197-201.
- Rangel J. O.; Sánchez H.; Lowy P.; Aguilar M.; Castillo A. 1995. Región de la Orinoquia. En: Rangel J. O. (ed.). Colombia, diversidad biótica: I. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. p. 239-254.
- Rippstein G.; Escobar E.; Toledo, J. M.; Fisher M.; Mesa E. 1994. Caracterización de comunidades vegetales en relación con el suelo de la sabana de la Altillanura de los llanos orientales, en Carimagua, Meta, Colombia. Trabajo presentado a la XV Reunión de la Asociación Colombiana de Herbarios, celebrada en Montería (Córdoba), Colombia, en agosto de 1994. 20 p. (Multicopiado.)
- Rippstein G.; Broekhuijsen J. K.; Peters, A. G. E.; Escobar G. 1995. Vegetation and ecology of the "Serranía" native pastures of the Eastern Plains of Colombia (Llanos Orientales). En: Annual Report 1994: Tropical Lowlands Program. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 76-103.
- Romero M. E. 1994. El hombre de las sabanas. En: Sabanas naturales de Colombia. Carvajal, Cali, Colombia. p. 162-193.
- Sarmiento G. 1983. The savannas of tropical America. En: Bourlière F. (ed.). Tropical savannas. Elsevier, Amsterdam. p. 245-288.
- Sarmiento G. 1994. Sabanas naturales: Génesis y ecología. En: Sabanas naturales de Colombia. Carvajal, Cali, Colombia. p. 17-55.
- Sarmiento G. 1996a. Ecología de pastizales y sabanas en América Latina. En: Sarmiento G.; Cabido M. (eds.). Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina. CYTED y CIELAT, Venezuela. p. 15-24.
- Sarmiento G. 1996b. Aspectos de la biodiversidad en las sabanas tropicales de Venezuela. En: Sarmiento G.; Cabido M. (eds.). Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina. CYTED y CIELAT, Venezuela. p. 299-318.
- Serna-Isaza R. A.; Rippstein G. 1996. Una aproximación al manejo de la sabana nativa en la Altillanura colombiana. Trabajo presentado en el "Primer Seminario Taller Agropecuario del Municipio de Arauca", Arauca, julio 25-26 de 1996.
- Solbrig O. T.; Medina E.; Silva J. (eds.). 1996. Biodiversity and savanna ecosystem processes: A global perspective. Springer-Verlag, Berlín. 233 p.
- Sousa S.; Pedrosa S. 1990. Botanical resources from neotropical savannas. En: Sarmiento G. (comp.). Las sabanas americanas. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. p. 126-140.
- Tilman D.; Downing J. A. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. Nature 367(6461):363-365.
- WCMC (World Conservation Monitoring Centre). 1992. Global biodiversity: Status of the Earth's living resources. Chapman and Hall, Londres, R. U.

CAPÍTULO 4

Quema y Sucesión Secundaria de la Vegetación en el Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua

P. Torrijos O.* , J. O. Rangel* y G. Rippstein**

Resumen

En el Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua, en Meta, Colombia, se investigaron los cambios en la estructura y en la composición florística que se presentan en el proceso de sucesión vegetal sobre áreas con diferentes edades de descanso después de haber sido sometidas a quemadas (sucesión a largo plazo) y la dinámica de la regeneración a lo largo de 6 meses después de efectuar quemadas controladas. En la sucesión a largo plazo, la diversidad y riqueza vegetal aumentan desde la etapa I (1 año después de la quema) hasta la IV (15 años después de la quema); al avanzar el proceso, igualmente aumenta la complejidad estructural. Después de 4 años de reposo, se diferencia un estrato subarborescente, los estratos arbustivo y subarborescente aparecen en los sitios que han permanecido más de 8 años sin quema. En esta serie, entre las especies con valores mayores en los índices de importancia ecológica (IPF e IVI) figura *Vismia baccifera* (Clusiaceae).

* Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

** Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

Sobre los sitios que han permanecido cerca de 15 años en descanso, se presenta invasión de especies propias del bosque de galería.

En la dinámica de la regeneración (sucesión a corto plazo) se diferencian especies como *Axonopus purpusii* y *Schizachyrium sanguineum* (Poaceae) y *Rhynchospora nervosa* (Cyperaceae), que una vez regeneradas permanecen en las áreas, y otras como *Leptocoryphium lanatum* y *Otachyrium versicolor* (Poaceae), que predominan en una etapa y luego desaparecen. La requema favorece el establecimiento de nuevas especies e influye en un grupo de especies con ciclo de vida corto, entre las cuales aparecen *Lindernia crustacea* (Scrophulariaceae), *Sipanea pratensis* (Rubiaceae), *Hyptis atrorubens* (Lamiaceae), *Xyris laxifolia* (Xyridaceae), *Macroptilium monophyllum* (Fabaceae), *Galactia glaucescens* (Fabaceae), *Merremia aturensis* (Convolvulaceae), *Peltaea speciosa* (Malvaceae) y *Eugenia puniceifolia* (Myrtaceae). No se encontró variación significativa en cuanto al número de especies, valores de presencia y permanencia en los ensayos sobre los efectos del fuego y la remoción de la parte aérea.

Introducción

Los diferentes ambientes que engloba la Orinoquia colombiana están

sometidos a la influencia de valores altos en temperatura, radiación solar y evaporación, particularmente durante la época de sequía, lo cual, sumado al frecuente lavado de nutrientes de los suelos, favorece el establecimiento de varios tipos de vegetación fácilmente afectados por los incendios, como los pastizales o pajonales, que tienen una cubierta casi exclusiva de gramíneas, y los matorrales mixtos, donde hay una capa más o menos continua de pastos debajo de los elementos leñosos.

El fuego es un factor ecológico determinante en la fisonomía de varias de las comunidades y formaciones vegetales. En la Orinoquia, su uso se relaciona con el aprovechamiento económico de los pastizales para mejorar el contenido proteínico y la palatabilidad de los elementos dominantes, condición que se logra al obtener los rebrotes después de haber provocado las quemas.

El proceso de sucesión vegetal comprende varias etapas que conducen hacia estructuras y composición florística cada vez más complejas, puesto que cada etapa o fase tiene niveles estructurales diferentes que contribuyen a aumentar la diversidad.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) adelanta en el Centro de Investigación Agropecuaria (CI) Carimagua el programa de ecología y manejo de la sabana nativa, en el cual desde hace varios años se realizan ensayos sobre el manejo controlado del fuego. Los esfuerzos del programa se han dirigido a optimizar el manejo de vegetación herbácea destinada a la alimentación de ganado vacuno y, simultáneamente, a controlar la degradación y el impacto de la ganadería sobre la sabana.

En esta contribución se evalúan los patrones estructurales y los cambios en la composición florística en parcelas que han estado protegidas de las quemas durante diferentes lapsos

(sucesión a largo plazo); igualmente, se evalúan los patrones de regeneración después de inducir quemas en estas mismas parcelas (sucesión a corto plazo). A modo de complemento se efectúa una caracterización química de los suelos de las áreas de estudio.

Area de Estudio

El CI Carimagua se halla en el departamento del Meta (ver Capítulo 1 de esta obra). Descansa sobre altiplanicies formadas por sedimentos depositados por ríos que descienden del sistema orográfico andino, evento posterior al levantamiento de la cordillera Oriental (Khobzii et al. 1980).

Los subpaisajes que integran el área de Carimagua son diques pequeños y algunos bajos y vegas de reducida superficie en las orillas de los ríos Tomo y Muco, en los caños Caviona, Mapiria y Almorzadero y en la laguna Carimagua (IGAC 1974).

Los suelos presentan, en general, baja fertilidad debido al avanzado estado de meteorización y al continuo lavado de nutrientes. Se generan además condiciones de toxicidad para las plantas y otros organismos por la acentuada acidez y por las cantidades altas de aluminio que contiene.

La temperatura media es de 26.1 °C, la máxima de 33.6 °C y la mínima de 21.5 °C. La precipitación media mensual es de 189.5 mm y el monto anual es de 2344.7 mm. En Carimagua se registra el valor extremo, para la Orinoquia, de brillo solar mensual: 166.9 h (Rangel y Aguilar 1995).

Metodología

Se siguieron dos procedimientos: el primero tenía por objeto reconstruir el proceso de sucesión vegetal en el tiempo; el segundo conducía a evaluar

las fases iniciales de la dinámica de regeneración, después de la quema, en las parcelas donde se evaluó la sucesión.

Sucesión vegetal

Con la colaboración de los funcionarios del CI, y revisando la estadística del centro respecto a frecuencia de quemadas, se seleccionaron sitios representativos con diferentes edades de reposo luego de haber sido quemados, cuya vegetación variaba desde los pastizales hasta los matorrales altos. Adicionalmente, se seleccionó un parche de bosque de galería adyacente al sitio que correspondía a la etapa IV. El tiempo transcurrido desde la quema hasta la época del inventario (1995) en cada sitio se indica en el siguiente cuadro:

Etapas	Edad después de la quema (años)
I	1
II	4
III	8
IV	15
Parche de bosque de galería	Sin quema

Los aspectos de la estructura y de la composición florística que se estudiaron se presentan a continuación:

Análisis estructural

Este análisis considera la cobertura, la altura, el diámetro a la altura del pecho (DAP) y el área basal de la vegetación.

Cobertura. En los estratos bajos se utilizó el método del punto cuadrático (Paladines 1992) que evalúa el valor porcentual de cada especie en relación con el valor de todas las

especies. En los estratos altos se midieron los diámetros mayor y menor de la proyección de la copa sobre el suelo (Rangel y Velásquez 1997).

Altura. Se hicieron mediciones directas.

Área basal. Se midió el DAP en individuos de altura (h) superior a 1.2 m y luego se estimó el área basal. Por tanto, los valores obtenidos corresponden a poblaciones con pocos individuos.

La altura y la cobertura se midieron a partir de la segunda etapa de sucesión, cuando ya había individuos con tallas superiores a 0.5 m. Las mediciones del DAP (h > 1.2 m) se hicieron a partir de la tercera etapa de sucesión.

Los valores representados en las figuras corresponden a los siguientes levantamientos de vegetación: el 2 (etapa III), el 4 (etapa IV), el 6 y el 7 (bosque de galería). Los detalles de estas mediciones aparecen en Torrijos (1996).

La distribución en clases para cada uno de los caracteres sociológicos sigue la siguiente fórmula:

$$c = (X_{\max.} - X_{\min.})/m \quad (1)$$

$$m = 1 + 3.3 (\log n) \quad (2)$$

donde:

c = amplitud de la clase

m = número de clases

n = número total de individuos

Los parámetros mencionados y el Índice de Predominio Fisonómico (IPF) para los estratos subarbóreo y arbóreo se calcularon según Rangel y Garzón (1994):

$$IPF = \text{cobertura relativa (\%)} + \text{área basal relativa (\%)} + \text{densidad relativa (\%)} \quad (3)$$

Se calculó también el Índice de Valor de Importancia (IVI) (Finol 1976):

$$IVI = \text{dominancia relativa} + \text{densidad relativa} + \text{frecuencia relativa} \quad (4)$$

Análisis florístico

La similitud florística entre las etapas de sucesión se evaluó mediante el Índice de Jaccard (Ij), donde el valor más cercano a 1 indica mayor semejanza:

$$Ij = J/(a + b - c) \quad (5)$$

donde:

a = especies (no.) presentes en el sitio a

b = especies (no.) presentes en el sitio b

c = especies (no.) presentes en los sitios a y b

Otra medida empleada fue el coeficiente de distancia euclidiana, que se corrió en el paquete estadístico multivariado (M.V.S.P., v.1.3.), en el que un valor de cero significa que las comunidades son idénticas (Ludwig y Reynolds 1988).

Análisis de suelos

En los lugares donde se hicieron los levantamientos de vegetación, se

extrajeran muestras por triplicado en los siguientes intervalos: 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm (Torrijos 1996). Las tres muestras de cada nivel se secaron al aire, se tamizaron y se mezclaron. Posteriormente se hicieron análisis de textura, pH, M.O., fósforo, aluminio, calcio, magnesio, potasio, azufre, hierro y nitrógeno. Los métodos químicos para el análisis de las muestras siguen el procedimiento de Salinas y García (1985). En el Cuadro 4-1 se relacionan los resultados que solamente cubren los niveles entre 0-10 y 10-20 cm.

Regeneración en áreas quemadas

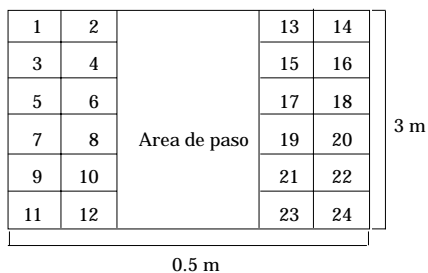
La dinámica de la regeneración de plantas en áreas recientemente quemadas se conoce como sucesión a corto plazo. En las mismas parcelas en donde se habían realizado los levantamientos de vegetación para detectar patrones en la sucesión a largo plazo, se aplicaron dos tratamientos para conocer la regeneración de la cobertura vegetal después de la perturbación. Las parcelas se marcan como II-R, III-R y IV-R. Se aplicaron dos tratamientos:

- Remoción total de la parte aérea de la vegetación, que representa un testigo sin quema.
- Quema de las partes aéreas de la vegetación.

Cuadro 4-1. Caracterización química de los suelos (0-20 cm de profundidad) en las etapas de sucesión y en el bosque.

Etapas	M.O. (%)	pH	P (ppm)	Al	Ca Mg K			S (ppm)	Fe (ppm)	N total
					meq/100 g de suelo					
I	4.25	4.15	1.07	2.93	0.14	0.035	0.055	18.8	25.54	1132.0
II	3.4	4.6	0.95	2.04	0.13	0.045	0.04	17.6	21.95	1043.5
III	4.05	4.6	0.92	2.37	0.09	0.035	0.065	18.4	55.41	1181.5
IV	2.55	4.65	1.5	1.64	0.14	0.05	0.05	22.7	30.6	910.0
Bosque de galería	5.45	4.6	3.65	3.65	0.18	0.185	0.115	14.9	56.94	1864.5

En ambos casos se evitó remover el suelo para no afectar los propágulos, los xilopodios y las raicillas. Los dos tratamientos se aplicaron en las etapas de sucesión II, III y IV. En la etapa I no se practicó la quema por la ubicación de la parcela dentro del paisaje local. Se utilizó el cuadrado permanente (Gómez y del Amor 1979), el cual se subdividió internamente en 24 subunidades y permaneció instalado en cada una de las parcelas durante el tiempo de seguimiento del ensayo (6 meses). Cada tratamiento se aplicó por triplicado. El diseño de los cuadrados permanentes se muestra en el siguiente esquema:



Para registrar la composición florística (sustitución y renovación de las especies) y las respuestas a la quema, en cada intervalo de observación se evaluaron las 24 subunidades de cada repetición. Se calcularon dos parámetros: permanencia y presencia.

Grado de permanencia

Aunque se relaciona con la presencia, este parámetro estima la abundancia y dominancia de una especie que se ha establecido y perdura en el tiempo después de la quema (Vidal y Rangel 1987). Los estimativos se hicieron en la totalidad de las subunidades que se evaluaron así:

$$\text{Grado de permanencia} = \frac{\text{Interacciones (n) con la especie presente}}{\text{Total de interacciones (N)}} \times 100 \quad (6)$$

donde:

$$\begin{aligned} N &= 24 \text{ subunidades} \times \\ & 3 \text{ repeticiones} \times \\ & 8 \text{ observaciones} = \\ & 576 \text{ interacciones} \end{aligned}$$

Rhynchospora nervosa, por ejemplo, en la etapa II, presentó un valor de permanencia de 0.25, es decir, fue registrada en 144 interacciones (de un total de 576).

Grado de presencia

Se fundamenta en la presencia de la especie al menos en una de las tres repeticiones de cada etapa, sin que importe el número de subunidades en que se podría encontrar la especie. No considera parámetros de abundancia y dominancia. Durante el tiempo de muestreo (160 días) se realizaron ocho observaciones. Se calcula así:

$$\text{Grado de presencia} = \frac{\text{Interacciones (n) con la especie presente}}{\text{Total de intervalos (N)}} \times 100 \quad (7)$$

donde:

$$N = 8 \text{ intervalos}$$

En la etapa III, por ejemplo, *Mesosetum loliiforme* tiene un grado de presencia de 1, es decir, la especie se presentó en todas las observaciones realizadas (8) en esa etapa.

Se hizo una prueba de independencia para saber si había diferencias significativas en los resultados de los dos tratamientos (remoción y quema) con respecto a los valores de presencia, de permanencia y al número de especies. Los valores obtenidos no tuvieron significancia; por consiguiente, los resultados que se incluyen en la sección sobre dinámica de la regeneración se refieren a las parcelas donde se efectuó la quema controlada.

Resultados y Discusión

Sucesión vegetal a largo plazo

Cambios estructurales

En el Cuadro 4-2, Col. A, se consignan los valores máximo y mínimo de los parámetros altura, cobertura y variación general del DAP, en las etapas II, III y IV de sucesión y en los estratos arbóreo y subarbóreo del bosque de galería. En forma complementaria se incluyen las variaciones del 90% de los individuos que se agruparon en las primeras clases (Cuadro 4-2, Col. B).

En la Figura 4-1 se muestra la distribución por clase del 90% de los individuos con el tamaño de muestra (n), la amplitud de la clase (c) y el número de clases (m). En altura, la distribución de los individuos de las etapas II, III y IV es de tipo normal en forma de jota invertida, es, decir la mayoría de los individuos se concentran en las clases inferiores. En el estrato arbóreo del bosque de galería, el comportamiento de la distribución se presenta de manera inversa, con mayor concentración de individuos en la clase más alta; esta condición se esperaba en razón de que se evalúa aquí la distribución de los individuos en el estrato dominante de un bosque de galería.

En cobertura, las diferencias entre clases son muy marcadas, pero hay la misma tendencia del parámetro anterior: en las clases inferiores se concentra el mayor número de individuos.

La distribución del DAP (etapas III, IV y estratos subarbóreo y arbóreo) es muy regular; solamente en el estrato subarbóreo del bosque de galería se nota una ligera tendencia de los individuos a concentrarse en la clase inferior.

La Figura 4-2 muestra, a manera de síntesis, la diferenciación de estratos y los cambios en la cobertura a lo largo del proceso de sucesión. Es evidente que cuando avanza la recuperación, aumenta la complejidad estructural; en la etapa I solamente había un estrato (el herbáceo), mientras que en la etapa IV ya se han desarrollado cuatro estratos. El estrato herbáceo presenta el mayor valor de cobertura (100%) en la etapa II (con 4 años sin quema), que disminuye drásticamente en las etapas III y IV, quizás por el desarrollo de elementos leñosos y la sustitución de la capa de macollas por dicotiledóneas que no tienen este tipo de crecimiento.

El estrato subarborescente se desarrolla a partir de la etapa II y alcanza su máximo valor en la IV. Los estratos arbustivo (1.6 a 5.0 m) y

Cuadro 4-2. Variación de los valores (mínimo y máximo) de los parámetros altura, cobertura y DAP en las diferentes etapas del proceso de sucesión en sitios en que hubo quemas antiguas.^a

Etapas	Altura (m)		Cobertura (m ²)		DAP (cm)
	A	B	A	B	A
II	0.40-1.59	0.40-0.83	0.01-2.18	0.01-0.81	-
III ^b	0.4-6.44	0.4-2.1	0.01-7.48	0.01-1.63	1.80-4.7
IV ^c	0.4-8.06	0.4-2.9	0.01-27.1	0.01-4.03	1.00-10.90
Bosque subarbóreo	5.58-12.98	5.58-12.14	0.01-32.33	0.01-27.58	10.18-39.08
Bosque arbóreo	12.89-18.80	12.89-18.0	6.65-258.31	6.65-89.14	10.18-99.87

a. A = variación de todos los individuos; B = variación del 90% de los individuos.

b. Levantamiento 2.

c. Levantamiento 4.

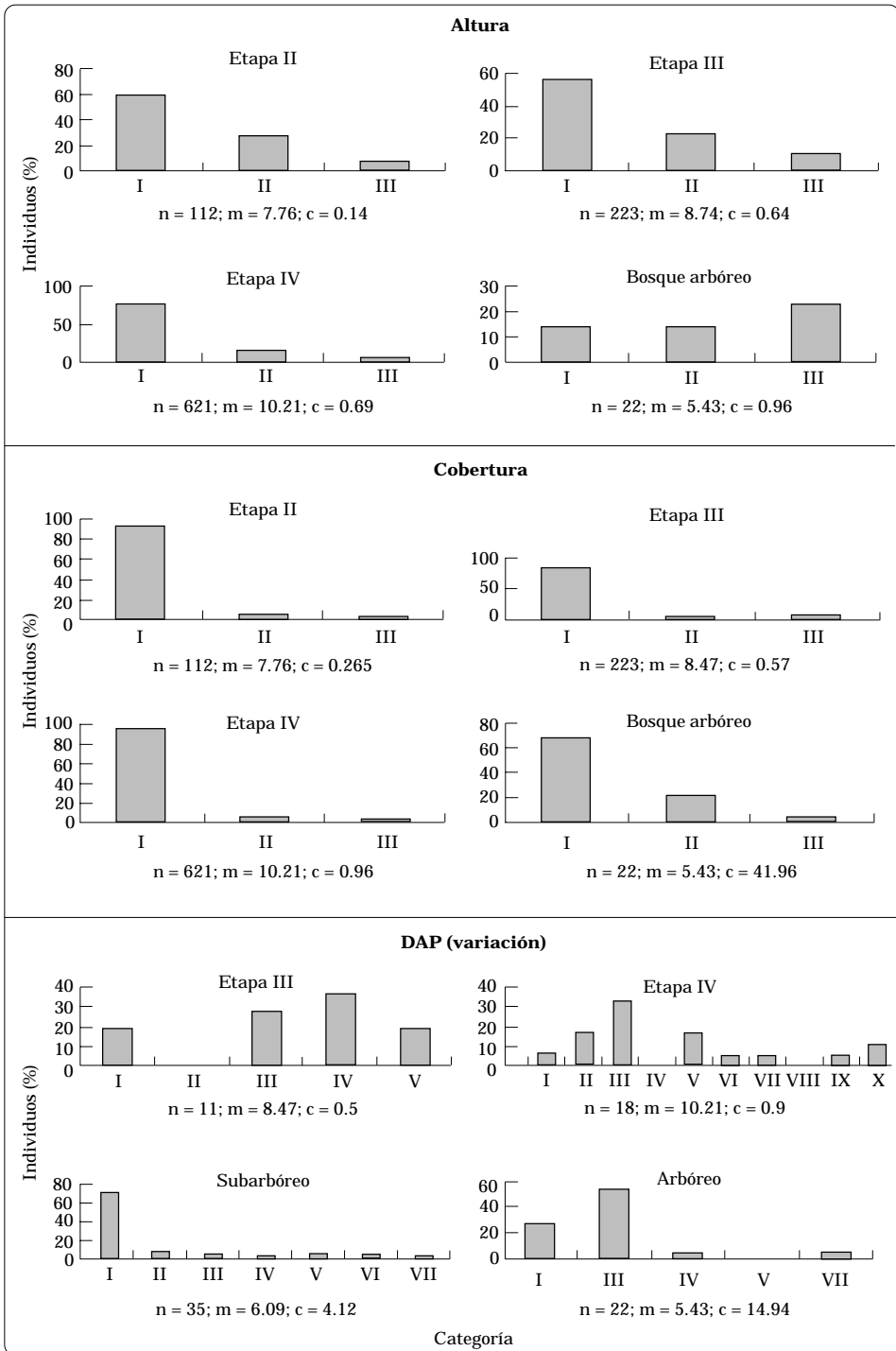


Figura 4-1. Distribución por categorías de parámetros fisonómicos (altura, cobertura y DAP) en las etapas de sucesión y el bosque de galería. n = tamaño de muestra; m = número de clases; c = amplitud de la clase.

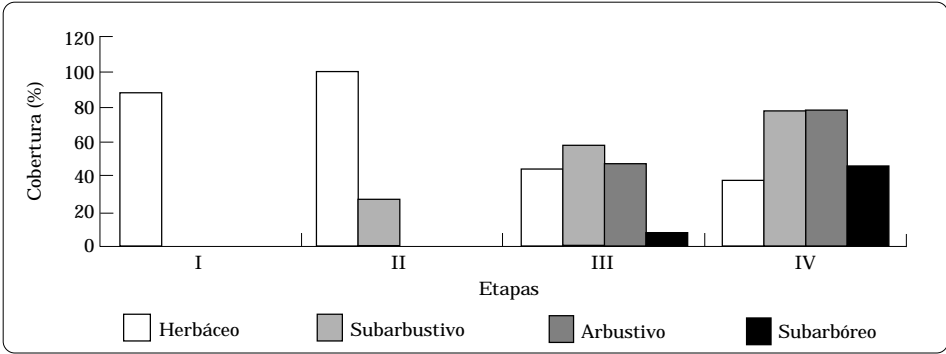


Figura 4-2. Distribución de la cobertura según los estratos de la sucesión vegetal.

subarbóreo (5.1 a 12 m) se diferencian en la etapa III y muestran su máximo vigor en la etapa IV, en la que forman pequeños “bosquetes” con manchas hasta de 6 m de diámetro que favorecen la proliferación de plántulas en un medio protegido por el fuego.

Indice de Predominio Fisonómico (IPF)

En la Figura 4-3 se presentan los valores del IPF en las etapas III y IV y en el bosque de galería, junto con los de la especie más importante según este parámetro. En la etapa III, el valor de IPF fue de 1.62 y la especie con el valor más alto fue *Vismia baccifera* (Clusiaceae) (1.05). En la etapa IV, el valor del IPF fue de 1.75 y la especie con mayor valor fue *Curatella americana* (Dilleniaceae) (0.416). También cobran importancia especies

arbóreas propias de la transición sabana-bosque como *Simarouba amara* (Simaroubaceae) y *Xylopia aromatica* (Annonaceae), con valores de IPF de 0.30 y 0.29, respectivamente.

En el bosque de galería, el valor del IPF fue de 1.95 y la especie con el valor más alto fue *Protium calanense* (Burseraceae) (0.43). En general, *V. baccifera* alcanzó el valor más alto (etapa III), más del doble del valor de cualquiera de las especies dominantes en las etapas restantes.

Indice de Valor de Importancia (IVI)

La Figura 4-4 muestra los valores de IVI para las etapas III y IV y para el bosque de galería, así como la especie con el valor más alto de este parámetro.

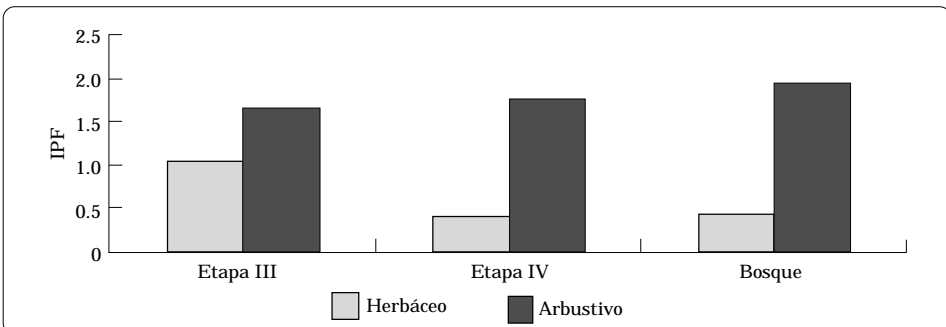


Figura 4-3. Índice de Predominio Fisonómico (IPF) en los estratos herbáceo y arbustivo.

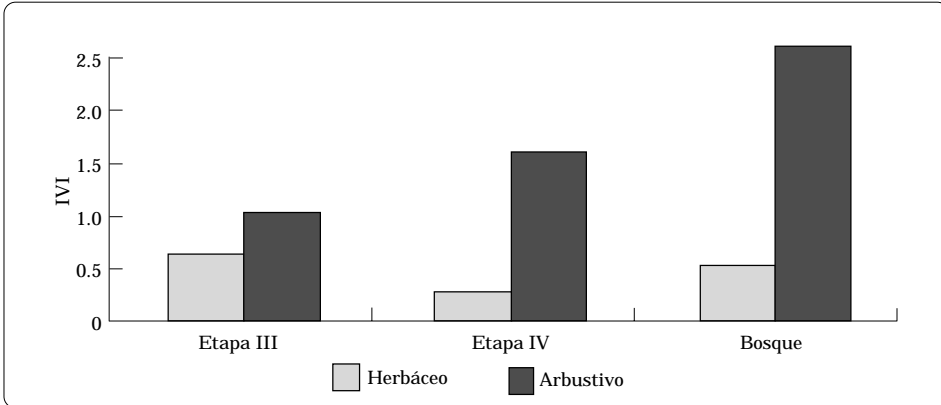


Figura 4-4. Índice de Valor de Importancia (IVI) en los estratos herbáceo y arbustivo.

En la etapa III, el IVI fue de 1.02 y la especie con mayor valor fue *Vismia baccifera* (Clusiaceae) con 0.62, seguida por *Davilla nitida* (Dilleniaceae) con 0.16; estas dos especies forman pequeños bosquetes. En la etapa IV, el IVI fue de 1.58 y la especie con mayor valor fue *Miconia albicans* (Melastomataceae) con 0.26; esta especie es propia de la sabana y muy sensible a la quema, ya que aumenta su densidad y vigor en la medida en que avanza la sucesión. En el bosque de galería, el IVI fue de 2.56 y la especie con mayor valor fue *Pseudolmedia laevis* (Moraceae) con 0.50, seguida por *Virola elongata* (Myristicaceae) con 0.23.

En general, los valores mayores en ambos parámetros los mostró *V. baccifera*; esta tendencia puede servir para interpretar patrones de distribución en otros parches de vegetación en el mismo paisaje.

Cambios florísticos

En las áreas investigadas en Carimagua, se registraron 132 especies de 101 géneros y 46 familias, de las cuales 36 familias son Dicotiledóneas, 8 Monocotiledóneas y 2 Pteridofitas. Las familias con el mayor número de especies son Poaceae (27),

Melastomataceae (10), Fabaceae (9), Rubiaceae (8), Burseraceae (5), Annonaceae (5) y Cyperaceae (4). Este espectro es similar al del patrón general del paisaje de altillanura (Rangel et al. 1995), excepto por la importancia que tienen las Burseraceae y Annonaceae en Carimagua. Los géneros más ricos son *Miconia* (5), *Paspalum* (5), *Gutteria* (3), *Casearia* (Flacourtiaceae, 3), *Desmodium* (Fabaceae, 3), *Hyptis* (3) y *Andropogon* (3).

En la Figura 4-5 se muestran los cambios en la composición florística en la medida en que avanza la sucesión; del análisis detallado de la figura se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El número de especies, géneros y familias aumenta al avanzar el proceso de sucesión; la etapa III es la excepción.
- Hay un aumento significativo (explosión) de la riqueza, al pasar de la etapa I a la II; los valores casi se duplicaron de una etapa a la otra.
- El descenso en diversidad registrado en la etapa de sucesión III (con 8 años sin quema) quizás se deba al éxito reproductivo y a la

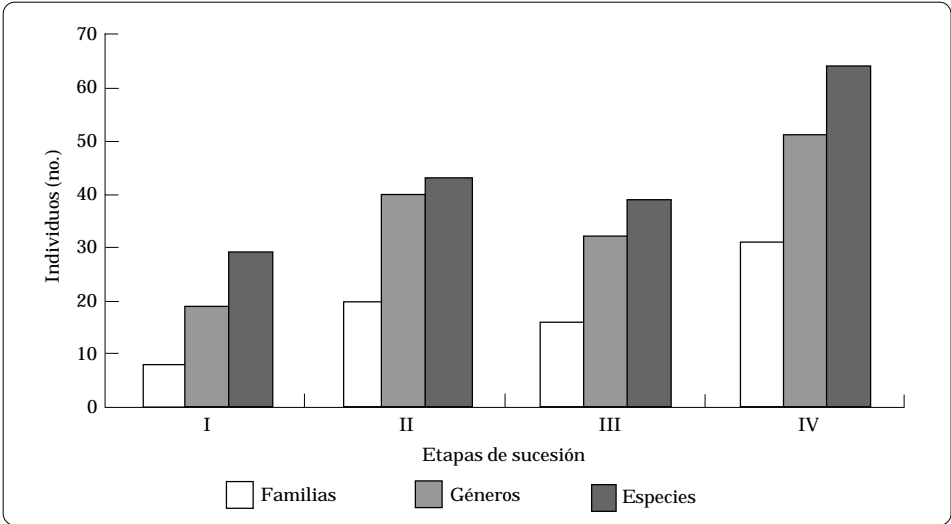


Figura 4-5. Diversidad florística en el proceso de sucesión en la Altillanura plana, en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia.

abundancia-dominancia de especies como *Vismia baccifera* (> IPF e > IVI), *Tococa guianensis* (Melastomataceae) y *Davilla nítida*, que aportan el 82% de la cobertura total y forman pequeños núcleos cerrados que limitan el establecimiento de otras especies.

- El aumento de la diversidad en la etapa IV, cuando se establecen especies propias de la sabana como *Schizachyrium sanguineum*, especies propias de la transición bosque-sabana como *Cochlospermum vitifolium* (Bixaceae), *Jacaranda obtusifolia* (Bignoniaceae), *Dendropanax arboreus* (Araliaceae) y típicas de bosque de galería como *Licania apetala* (Chrysolobanaceae) y *Protium calanense*.

Selectividad

Alude a las especies exclusivas en cada etapa de la sucesión (Figura 4-6); en la etapa IV se registró el mayor número de especies exclusivas, resultado que es un reflejo del aumento tanto en la

composición florística como en la complejidad estructural de la vegetación en la medida en que aumenta el periodo de reposo (sin quema); la excepción se presentó en la etapa III. El comportamiento del parámetro es similar al de la diversidad florística (Figura 4-5).

Similitud

Según el Índice de Jaccard (Magurran, 1988), que es exclusivamente cualitativo y no considera el grado de participación de cada especie en la dominancia ecológica, la mayor semejanza la muestran las etapas I y II ($I_j = 0.39$), seguidas por las II y III ($I_j = 0.27$). El valor menor de semejanza lo mostraron la etapa IV y el bosque. La mayoría de las especies compartidas entre las diferentes etapas se ubican en el estrato herbáceo, que es más vigoroso y variado en las etapas iniciales.

En la Figura 4-7 se muestran los valores de semejanza con base en el número absoluto de especies comunes. En las etapas I y II se presentaron los mayores valores (8.6%). La tendencia,

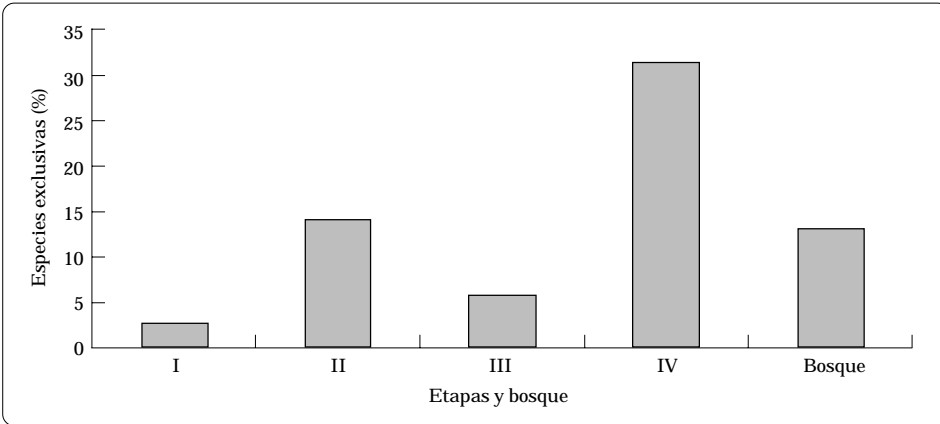


Figura 4-6. Porcentaje de especies exclusivas en cada etapa de sucesión y en el bosque.

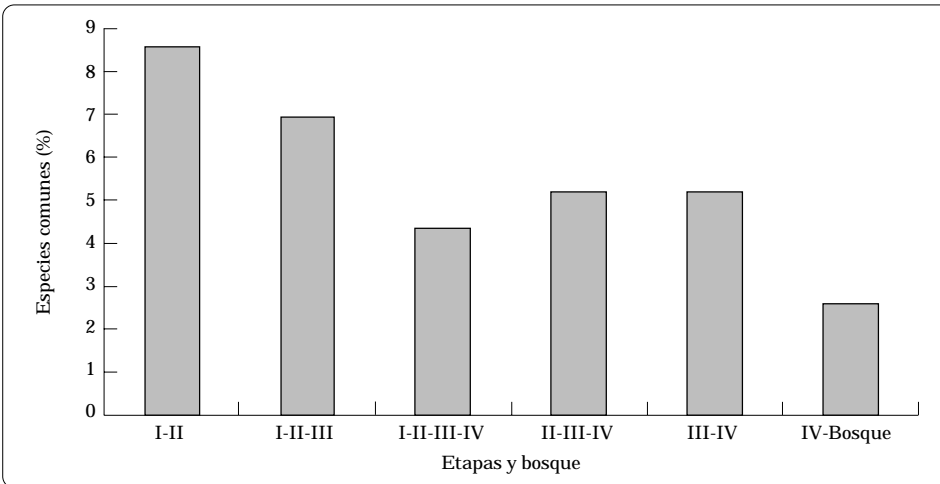


Figura 4-7. Porcentaje de especies comunes en diferentes etapas de sucesión y en el bosque.

como era de esperar, es inversa a la de la Figura 4-6.

Si se relacionan estos resultados con los de selectividad, se puede afirmar que al aumentar la complejidad estructural de la vegetación, disminuye el número de especies compartidas y obviamente aumenta el de las restringidas. En las primeras etapas predominaron especies como *Andropogon bicornis* (Poaceae), *Rhynchospora barbata* (Cyperaceae) y *Schizachyrium sanguineum*, que se caracterizan por producir gran

cantidad de semillas, tener estructuras de propagación vegetativa como estolones, formar macollas que en caso de una eventual quema protegen las estructuras de renovación, y lograr sincronizar los ciclos reproductivos con la estación seca, época en la cual se inducen las quemadas (Sarmiento 1990). Igualmente, figuran como ventajas, los ciclos de vida cortos como se presentó en *Ruellia geminiflora* (Acanthaceae), o el desarrollo de estructuras subterráneas de propagación vegetativa (xilopodios y estolones) como

se observó en *Vismia baccifera*, *Davilla nitida* y en varias especies de la familia Melastomataceae. Estos grupos de especies estuvieron presentes en todos los muestreos después de inducir la quema, lo que confirma su alta capacidad de recuperación después de una perturbación.

Miconia albicans, *M. trinervia* (Melastomataceae), *Simarouba amara* y *Siparuna guianensis* (Monimiaceae) se registraron solamente en las etapas III y IV, donde presentaron mayor cantidad de individuos y crecimiento más vigoroso en individuos maduros.

En la etapa IV se registraron especies presentes también en el bosque de galería, como *Dendropanax arboreus*, *Heliconia* sp. (Heliconiaceae), *Licania apetala* y *Protium calanense*. Estos resultados contrastan con los registrados por Eiten (1972) en San José y Fariñas (1983) para la vegetación del cerrado brasileño; allí, en áreas abiertas, después de 30 años de protección del fuego, no se observó la invasión por especies del bosque, a pesar de la proximidad del mismo. Para el área de estudio se podría plantear entonces que los factores edáficos y climáticos no son limitativos del desarrollo de la vegetación arbórea.

Cambios florístico-fisonómicos

Otro índice de semejanza utilizado fue la distancia euclidiana la cual, además de la presencia, considera la variación de un parámetro fisonómico como la cobertura. Las etapas con mayor afinidad florística y fisonómica fueron la III y la IV, con 8 y 15 años de descanso, respectivamente, puesto que presentaron el menor coeficiente de distancia euclidiana (32.31). El coeficiente para las etapas II, III y IV fue 39.07 y para las etapas I, II, III y IV fue 74.80.

Según esto, para lograr cambios fisonómicos en etapas avanzadas de la

sucesión, se requiere mayor tiempo que en las etapas tempranas. Una parcela con 3 años de recuperación se diferencia fácilmente de una de 4 años de recuperación, lo cual no es tan evidente entre parcelas de 8 y 15 años de recuperación.

Suelos

Las concentraciones altas de nitrógeno en las tres primeras etapas pueden deberse a la presencia y dominancia de leguminosas en esas etapas o al aumento de radiación incidente a nivel del suelo. Los contenidos altos de azufre en la etapa IV se explican por una compensación del elemento por diferentes vías durante el tiempo de descanso (Kauffman et al. 1994). Los valores de calcio y de potasio, no presentaron tendencias definidas en la sucesión.

Los contenidos de fósforo, hierro y magnesio tienden a aumentar de acuerdo con el incremento en la complejidad estructural de la vegetación, evento que corresponde a lo señalado por Kellman (1984), quien encontró que los suelos de las sabanas arboladas con largos períodos sin quema eran muy ricos en fósforo y cationes intercambiables, lo cual se reflejaba en el aumento de la fertilidad. Kauffman et al. (1994) encontraron en la vegetación del cerrado brasileño, que el fósforo, el nitrógeno, el azufre y el calcio aumentaban donde había un componente importante de hojarasca de dicotiledóneas, condición similar a la que se presenta en la etapa de sucesión IV y en el bosque de galería de nuestro estudio.

Regeneración en áreas quemadas

Cuando se hizo un solo evento de quema, se registraron 84 morfoespecies distribuidas así: etapa II-R, 60; etapa III-R, 48; etapa IV-R, 47. Aunque

6 meses como tiempo de seguimiento es un periodo muy limitado que no permite consolidar los valores absolutos de riqueza, se puede decir preliminarmente que en un evento de requema la diversidad florística tiende a disminuir.

En la etapa de sucesión II-R, en la que se presentó el mayor número de especies, estructuralmente dominó el estrato herbáceo donde se encuentran las especies con estructuras de resistencia al fuego.

Permanencia

En la Figura 4-8 se muestran las especies con mayor valor de permanencia. *Axonopus purpusii* alcanza figuración en las etapas II, III y IV, con mayor valor en la etapa III; *Schizachyrium sanguineum* y *Rhynchospora nervosa* repiten el mismo comportamiento, pero los valores mayores los alcanzan en la etapa II. *Davilla nitida* y *Miconia albicans* tienen valores importantes en las etapas III y IV. *Leptocoryphium lanatum* y *Otachyrium versicolor* logran valores altos en la etapa II, en la que se encontraron —en términos generales— los valores más altos de este parámetro, ya que allí predominan especies con estructuras subterráneas de propagación como rizomas, xilopodios y meristemas enterrados, que en situaciones adversas les confieren la posibilidad de regeneración después del daño (Noble et al., citados en Vidal y Rangel 1987). Algunas de estas especies poseen alto valor nutritivo y son apetecidas por el ganado, especialmente durante las cuatro primeras semanas luego de la quema.

Especies de los géneros *Adiantum* y *Phaseolus* se establecieron gracias a los cambios físico-bióticos producidos por el fuego de requema, ya que no se presentaron en los inventarios iniciales y son elementos que han sido

considerados colonizadores rápidos de las chacras y conucos indígenas después de las quemas. En parcelas que permanecieron 15 años sin quema (etapa IV), la aparición de las especies fue más lenta; quizás en esto influye la escasa cobertura de gramíneas y ciperáceas, que en otras etapas de la sucesión aseguraron un restablecimiento rápido del estrato herbáceo. A primera vista, los resultados encontrados encajan con los hallazgos de Jones (Blondel 1985); según este autor, en un proceso de sucesión secundaria en vegetación de sabana, la asignación de energía para la reproducción tiende a disminuir en la medida en que avanza el proceso. En las etapas tempranas, después de la perturbación, la estrategia es producir muchos individuos y establecerlos en el medio, mientras que en las etapas maduras se seleccionan mecanismos que aseguran la permanencia de los individuos en un medio saturado.

Presencia

En las etapas II, III, IV, las especies con valores altos son *Eriosema simplicifolia* (Fabaceae), *Schizachyrium sanguineum*, *Clidemia rubra* (Melastomataceae), *Axonopus purpusii* (bajos valores en la IV), *Sabicea villosa* (Rubiaceae), *Rhynchospora nervosa* y *Phyllanthus niruri* (Euphorbiaceae). Con valores altos en las etapas II y III están *Melochia spicata* (Sterculiaceae), *Mesosetum loliiforme* (Poaceae), *Otachyrium versicolor* y *Paspalum pectinatum* (Poaceae). Los valores de *Axonopus purpusii*, *Trachypogon vestitus* (Poaceae) y *Andropogon leucostachyus* (Poaceae) revisten gran importancia gracias a su potencial forrajero (Allard, citado en Serna-Isaza y Rippstein 1995).

Un grupo de especies con valores bajos de presencia, mostraron ciclos de vida cortos y produjeron semillas a los

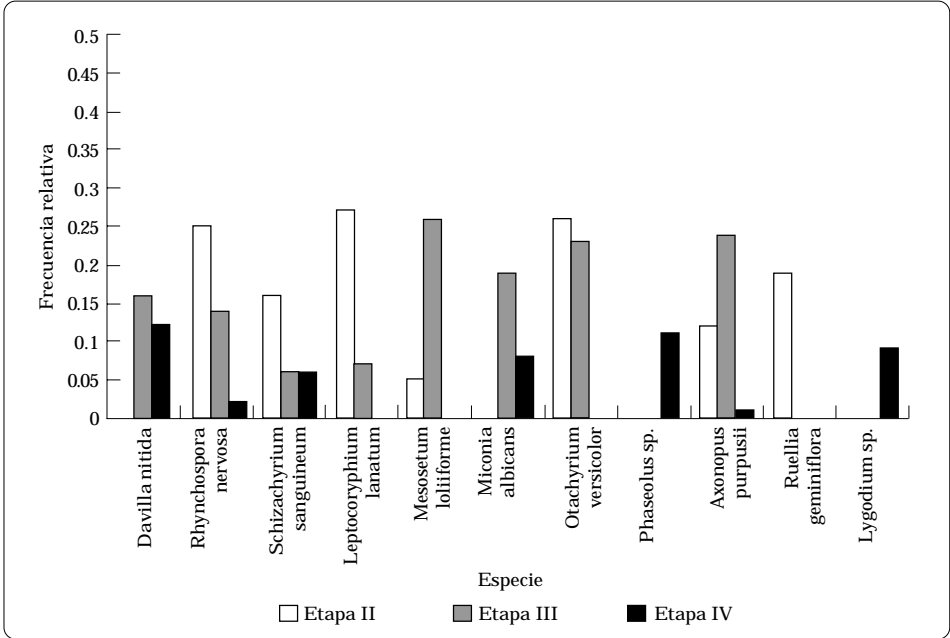


Figura 4-8. Especies con mayor valor de permanencia en tres etapas de la sucesión vegetal.

40 días de quema; entre ellas figuran las siguientes: *Lindernia crustacea*, *Sipanea hispida* (Rubiaceae), *Hyptis atrorubens*, *Xyris laxifolia*, *Macroptilium monophyllum* (Fabaceae), *Galactia glaucescens*, *Merremia aturensis*, *Peltaea speciosa*, y *Eugenia puniceifolia* (Vidal, 1986). El grupo fue sustituido por *Schizachyrium sanguineum*, *Eriosema simplicifolia*, *Clidemia rubra*, *Axonopus purpusii*, *Otachyrium versicolor*, *Sabicea villosa*, *Rhynchospora nervosa*, *Trachypogon vestitus* y *Paspalum pectinatum*.

Las diferencias que se encontraron en los tratamientos remoción y quema, se relacionan con el aspecto fenológico; especies como *Sipanea hispida*, *Hyptis atrorubens*, *Xyris laxifolia*, *Galactia glaucescens*, *Merremia aturensis*, *Peltaea speciosa* y *Eugenia puniceifolia*, florecieron en las parcelas que habían sido quemadas, mientras que en las parcelas donde se había removido la

vegetación, permanecieron en estado vegetativo (Figura 4-9).

Consideraciones Finales

- En las parcelas en que se estudió la sucesión a largo plazo se registraron 46 familias, 101 géneros y 132 especies. Las familias con el mayor número de especies fueron, en ese orden, Poaceae (27), Melastomataceae (10), Fabaceae (9), Rubiaceae (8), Burseraceae (5), Annonaceae (5), y Cyperaceae (4). Los géneros más comunes fueron *Leptocoryphium*, *Rhynchospora*, *Andropogon*, *Schizachyrium*, *Axonopus*, *Vismia*, *Davilla*, *Miconia*, *Curatella*, *Xylopia* y *Simarouba*.
- En general, al avanzar la sucesión se presentó un aumento en la riqueza vegetal, así: etapa I (29 especies, 18 géneros y

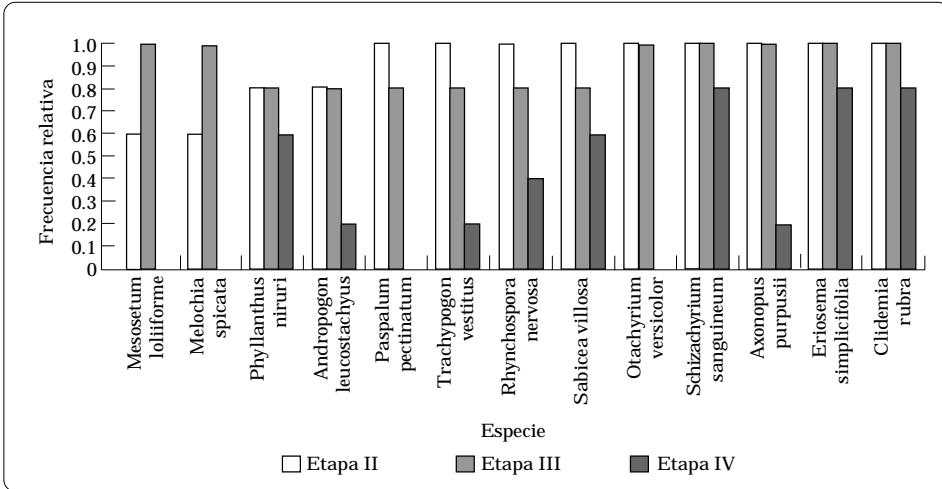


Figura 4-9. Especies con mayor valor de presencia en tres etapas de la sucesión vegetal.

8 familias), etapa II (43 especies, 40 géneros y 20 familias), etapa III (39 especies, 32 géneros y 16 familias), etapa IV (64 especies, 51 géneros y 31 familias).

- El desarrollo de elementos leñosos se evidencia luego de 8 años de permanecer un sitio en descanso (sin quema). En las etapas II y III, el patrón de crecimiento de las especies leñosas es agregado y favorece el crecimiento de plántulas en su interior; éstas, en su mayoría, conformarán los estratos subarbóreo y arbóreo, evento igualmente reseñado por San José y Fariñas (1983) y por Bergeron y Leduc (1998).
- En la etapa IV se puede presentar invasión de algunas especies propias del bosque de galería, la cual no se presenta en paisajes con rasgos fisonómicos y florísticos parecidos, como los del cerrado brasileño.
- En las parcelas con 8 años sin quema (etapa III), la diversidad florística disminuye en relación con la etapa anterior; esto se debe, probablemente, al éxito

reproductivo y a la alta productividad de especies como *Vismia baccifera*, *Tococa guianensis* y *Davilla nitida*, que aportan el 82% de la cobertura total, se tornan dominantes y, en cierto sentido, evitan el arraigo o el desarrollo de otras especies.

- En las parcelas que han permanecido más de 15 años en reposo (sin quema), se encontraron especies propias de la sabana, como *Vismia baccifera* y *Schizachyrium sanguineum*; especies propias de la transición bosque-sabana como *Cochlospermum vitifolium*, *Jacaranda obtusifolia*, *Dendropanax arboreus* y típicas del bosque como *Licania apetala*, *Protium calanense* y varias especies de los géneros *Dacryodes* (Burseraceae) y *Guatteria* (Annonaceae).
- En la dinámica de la regeneración en áreas recién quemadas (sucesión a corto plazo), al hacer un único evento de quema al cabo de 6 meses de observación, se registraron 84 especies cuya distribución numérica fue etapa II-R (60), etapa III-R (48) y etapa

IV-R (47). Los valores mayores en la etapa II probablemente se relacionan con la composición florística y con la dominancia del estrato herbáceo.

- En la sucesión a corto plazo, en áreas que habían permanecido cerca de 4 años sin quema, se evidenció la aceleración del ciclo reproductivo de *Ruellia geminiflora*, *Otachyrium versicolor*, *Axonopus purpusii*, *Paspalum pectinatum* y *Andropogon leucostachyum*.

Referencias

- Bergeron Y.; Leduc A. 1998. Relationships between change in the fire frequency and mortality due to spruce budworm outbreak in the southeastern Canadian boreal forest. *J. Veg. Sci.* 9(4):492-500.
- Blondel J. 1985. Biogeografía y ecología. Ed. Academia, Madrid, España. 187 p.
- Finol H. 1976. Estudio fitosociológico de las unidades 2 y 3 de la Reserva Forestal de Caparo, Estado de Barinas. *Acta Bot. Venez.* 10(1-4):15-103.
- Gómez P. A.; del Amor, S. 1979. Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México. Editorial Continental, México. 633 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1974. Reconocimiento general de suelos del Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua, Meta. Bogotá, Colombia. 58 p.
- Kauffman J.; Cummings D. L.; Ward D. E. 1994. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along vegetation gradient in the Brazilian cerrado. *J. Ecol.* 82:519-531.
- Kellman M. 1984. Relaciones de sinergismo entre el fuego y la baja fertilidad en las sabanas neotropicales; una hipótesis. *Biotrópica* 16(2):158-160.
- Khobzii J.; Kroonenberg S.; Faivre P.; Weeda A. 1980. Aspectos geomorfológicos de la Amazonía y Orinoquía colombianas. *Revista CIAF (Bogotá)* 5(1):97-126.
- Ludwig J.; Reynolds J. 1988. *Statistical ecology: A primer on methods and computing.* John Wiley, Nueva York. 336 p.
- Magurran A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement.* Princeton University Press, New Jersey. 179 p.
- Paladines M. O. 1992. Metodología de pastizales. Serie metodológica, Manual no. 1: Pastos y forrajes. Proyecto de Fomento Ganadero (Profogan), MAG/GTZ. Quito, Ecuador. 219 p.
- Rangel-Ch. J. O.; Aguilar-P. M. 1995. Una aproximación sobre la diversidad climática en las regiones naturales de Colombia. En: Rangel-Ch. J. O. (ed.). Colombia: Diversidad biótica; II. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Guadalupe, Bogotá, Colombia. 442 p.
- Rangel-Ch. J. O.; Garzón A. 1994. Aspectos de la estructura, de la diversidad y de la dinámica de la vegetación del Parque Regional Natural Ucumarí. En: Rangel-Ch. J. O. (ed.). Ucumarí: Un caso típico de la diversidad biótica andina. Carder, Pereira, Colombia. p. 85-108.
- Rangel-Ch. J. O.; Velásquez A. 1997. Métodos de estudio de la vegetación. En: Rangel-Ch. J. O. (ed.). Colombia: Diversidad biótica; II. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. Guadalupe, Bogotá, Colombia. 436 p.
- Salinas J. G.; García R. 1985. Métodos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Programa de Pastos Tropicales, Cali, Colombia. 83 p.
- San José J.; Fariñas M. R. 1983. Changes in tree density and species composition in a protected *Trachypogon* savanna in Venezuela. *Ecology* 64:447-453.

- Sarmiento G. 1990. Ecología comparada de ecosistemas de sabanas en América del Sur: Las sabanas americanas. CIELAT, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 332 p.
- Serna-Isaza R.; Rippstein G. 1995. Una aproximación al manejo de la sabana nativa en la altillanura colombiana. Informe interno. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 16 p.
- Torrijos-O. P. 1996. La quema y la sucesión secundaria de la vegetación en sectores de la estación biológica Carimagua, Llanos Orientales de Colombia. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 118 p.
- Vidal M. 1986. Aspectos sinecológicos de pastizales en una región de los Llanos Orientales y su relación con las quemadas. Trabajo de grado. Departamentop de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 123 p.
- Vidal M.; Rangel J. O. 1987. Efecto del fuego sobre la temperatura del suelo y la vegetación en un pastizal de los Llanos Orientales (Meta, Colombia). *Pérez-Arbelaezia* 1(4-5):55-84.

CAPÍTULO 5

Teledetección para la Cartografía de la Vegetación de Sabana¹

R. A. Serna-Isaza*

Resumen

Las sabanas naturales son uno de los biomas característicos del cordón intertropical mundial de baja altitud y ocupan una gran extensión de la superficie terrestre. La teledetección permite estudiar, en forma sintética, múltiples aspectos de ese ecosistema.

En este capítulo se revisan algunas técnicas de teledetección empleadas para hacer la cartografía de la vegetación de sabana a diferentes niveles, es decir, desde el estudio de las zonas biogeográficas hasta el enfoque de la comunidad y la población vegetal, pasando por aspectos relacionados con la formación, la fenología y la dinámica de las comunidades vegetales. Se presentan, al final, algunos trabajos realizados para las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia.

La información recibida de los satélites tiene diversos usos:

- Para estudios a escala continental o que requieran alta resolución

temporal, son útiles los datos provenientes de los satélites NOAA/AVHRR.

- Para estudiar las formaciones vegetales y su fenología o algunos aspectos de la sucesión vegetal, se han usado mucho los datos de NOAA/AVHRR y de Landsat MSS/TM.
- Para el estudio de comunidades y poblaciones vegetales de sabana, que requieren mayor resolución geométrica, se utilizan principalmente los datos de Landsat TM, los de SPOT, las fotografías aéreas y la información complementaria de campo.

Introducción

El término **sabana** define una gran variedad de tipos de vegetación que van desde una cubierta de gramíneas puras hasta un denso matorral en que está presente una capa más o menos continua de gramíneas debajo de los árboles o entre ellos, como denominador común (Susach 1989). Los ecosistemas de sabana tropical se caracterizan por presentar un clima isotérmico cálido con dos estaciones definidas (clima de sabana, A_w , en el sistema climático de Köeppen); son además exclusivos del trópico bajo, y presentan recurrencia del fuego y

1. Seminario presentado durante el curso de Especialización en Sistemas de Información Geográfica dictado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Santafé de Bogotá, septiembre de 1997.

* Biólogo, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

pobreza de nutrientes como factores ecológicos.

Estos ecosistemas constituyen uno de los grandes biomas característicos del cordón intertropical y ocupan cerca de 10 millones de km² de la superficie terrestre (3 millones de km² en América del Sur y Central). En América se extienden desde México y Cuba, en el norte, hasta Bolivia y Paraguay, en el sur, y alcanzan mayor superficie y más importancia nacional como fuente de recursos económicos y como unidad natural en Colombia, Venezuela y Brasil (Hernández et al. 1994).

Las sabanas son ecosistemas de bajo potencial productivo y alta biodiversidad (Serna-Isaza et al. 1996) y se dedican a ganadería extensiva, principalmente. El impacto que reciben las sabanas de diferentes formas de manejo (sobrepastoreo, quemas, etc.) y la necesidad de aprovecharlas en forma sostenible requieren de conocimientos sobre la distribución espacial y la dinámica de la vegetación y sobre el potencial forrajero de las comunidades vegetales, entre otros aspectos relevantes. La cartografía de las sabanas puede abordarse mediante la teledetección, una herramienta de estudio de los paisajes, las formaciones y las comunidades vegetales (Girard y Girard 1989).

En este capítulo se presentan algunas técnicas de teledetección empleadas para hacer la cartografía de la vegetación, la evaluación de las quemas y de la biomasa, la fenología, el uso y la cobertura de los ecosistemas de sabana. Esta información se organiza en cinco diferentes niveles: zona biogeográfica, formación vegetal, sucesión vegetal, comunidad vegetal y población vegetal. Al final del capítulo se revisan algunos trabajos de teledetección realizados para los Llanos Orientales de Colombia.

Zonas Biogeográficas y Formaciones Vegetales de Sabana

Estudio de zonas biogeográficas

Este estudio se hace principalmente a escala continental dadas las dimensiones de estas zonas. Los satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de los Estados Unidos obtienen imágenes de un tamaño de pixel de 1 x 1 km o de 4 x 4 km; pueden hacer, por tanto, este tipo de estudios a escala muy pequeña disminuyendo así el número de imágenes empleadas. Cuando se utilizan imágenes de mayor resolución espacial, como las de Landsat, para cubrir un continente (Africa, por ejemplo), son necesarias 1100 escenas de 185 x 185 km (Girard y Girard 1989).

Varios satélites NOAA toman imágenes cada 12 horas de un mismo sitio de la tierra (una de esas dos veces con luz diurna), empleando un campo de visión utilizable de 3000 x 3000 km. La resolución es de 1 x 1 km en el espectro visible y de 17 x 17 km en el infrarrojo, aunque los productos pueden proveer datos con una resolución de 1.1, 4, 15 y 25 km. El sensor utilizado es el AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Estos satélites adquieren datos digitales de emisividad y reflectividad de la superficie de la tierra en el rojo visible (0.580 a 0.680 μm), en el infrarrojo cercano (0.725 a 1.10 μm), en el infrarrojo medio (3.55 a 3.93 μm) y en el infrarrojo termal (10.3 a 11.3 y 11.5 a 12.5 μm) (Stone et al. 1994). Completan 14.1 órbitas por día (cada una dura 102 minutos) y las trayectorias orbitales, aunque no se repiten, se asimilan a nodos ecuatoriales cada 8 días (Montoya 1997). Esta baja resolución, tanto

espacial como espectral, permiten manejar un menor volumen de datos; la mayor resolución temporal, por su parte, ofrece ventajas para hacer análisis globales de la cobertura, en comparación con otros sensores (p.e., los programas de los satélites Landsat y SPOT) (Brown et al. 1993).

Entre las bandas más utilizadas están la 1 (C_1) y la 2 (C_2) que son, respectivamente, las usadas para el infrarrojo y el rojo (Chuvienco 1995). El mayor valor obtenido en el curso de una semana para cada uno de los índices C_2/C_1 (Índice de Vegetación Normalizado, NVI en inglés) y $C_2 - C_1 / C_2 + C_1$ (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, NDVI en inglés) es retenido para caracterizar cada malla de la rejilla de datos del AVHRR. El mayor valor de cada uno de esos índices, para un período de 3 semanas, es retenido para calificar cada malla. Así se descartan las peores condiciones de 'irradiancia' debidas a la nubosidad o a los aerosoles en suspensión en la atmósfera (Girard y Girard 1989).

Con esta metodología se ha realizado el mapa de la cobertura terrestre a escala pequeña (Sylvander et al. 1988; Millington et al. 1992). Se han utilizado datos NOAA/AVHRR del Índice Global de Vegetación (GVI, resolución 15-25 km) para hacerle seguimiento (monitoría) a la cobertura terrestre mundial, mediante una clasificación no supervisada (Murai et al. 1991; Tateishi y Kajiwara 1991) o para hacer el mapa de la cobertura terrestre de diferentes biomas partiendo de datos NOAA/AVHRR LAC (Cobertura de Area Local, resolución de 1.1 km) (Nelson y Horning 1993; Stone et al. 1994). Se ha empleado también el análisis multitemporal de las series de Fourier para obtener una clasificación de la cobertura terrestre (Andrés et al. 1994).

Para investigar el cambio de la cobertura terrestre global, es necesario

utilizar datos complementarios de múltiples fuentes, incluyendo aquí los de altitud y región ecológica; de este modo se marcan y refinan las clases de cobertura terrestre que presenten diferentes tipos de cobertura para una única firma espectro-temporal (Brown et al. 1993).

En otros trabajos se cuestiona la confiabilidad del NDVI por estar influenciado por los cambios climáticos de corta duración. En su lugar se usan datos de Cobertura de Area Global (GAC) obtenidos del AVHRR durante 8 a 9 años, con los cuales se logra una clasificación de la cobertura vegetal. Se logra también, empleando datos promedio multianuales del NDVI y la temperatura superficial (TS) para obtener la relación NDVI/TS, relación que es menos influenciada por variaciones interanuales de las condiciones climáticas (Mather 1992; Ehrlich y Lambin 1996; Malingreau et al. 1996).

Otra aplicación ampliamente difundida de los datos del AVHRR en ecosistemas de sabana es la evaluación de la distribución espacial de las quemadas de la vegetación de la sabana (Frederiksen et al. 1990; Riggan et al. 1993; Pereira y Setzer 1996), la emisión de gases de dichas quemadas (Kaufman et al. 1992) y las implicaciones que éstas tienen en el cambio climático y la ecología de los ecosistemas terrestres (Levine 1991; Lindsay 1992). No obstante, la mejor discriminación de las cenizas y las áreas quemadas se logra con datos de alta resolución espacial, p.e., Landsat MSS (Multi-Spectral Scanner) o TM (Thematic Mapper) (Riggan et al. 1993).

Estudio de formaciones vegetales

Los datos de Landsat MSS están bien adaptados a este tipo de estudios, gracias a su resolución (Girard y Girard 1989).

En la época seca, la vegetación se ha desecado, en gran parte; por ello, en el infrarrojo próximo, la 'reflectancia' del suelo desnudo es frecuentemente superior a la de la vegetación; lo contrario se observa en las zonas templadas. Es posible poner en evidencia formaciones vegetales con una composición en color realizada mediante tres canales MSS, pero empleando una combinación diferente a la que comúnmente se usa para obtener una composición coloreada que represente el infrarrojo. Bajo esta composición coloreada, las sabanas arbustivas más o menos densas no pueden distinguirse entre sí y son codificadas en rojo; se confunden así con la quema reciente de la maleza que se codifica también en rojo. Las sabanas arboladas, más densas y un poco clorofilicas, aparecen en amarillo verdoso, lo mismo que los bosques de galería que bordean los ríos. Hay que extraer entonces las quemadas recientes de la maleza; una forma de hacerlo es seleccionando todos los píxeles cuyo valor de luminiscencia sea el más débil para los tres canales MSS (Girard y Girard 1989).

El cálculo del NVI pone en evidencia el suelo desnudo y las diferentes clases de vegetación, p.e., maleza recientemente quemada, barbechos, sabanas herbáceas, sabanas arbustivas, sabanas arboladas y selvas de galería. Una clasificación realizada a partir de los componentes principales daría las mismas unidades (Girard y Girard 1989).

Partiendo de los datos Landsat MSS, por tanto, pueden distinguirse formaciones vegetales en función de la mayor o menor abundancia de los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo, a condición de que éstos presenten estados fenológicos lo suficientemente diferenciados para que puedan exhibir diferentes comportamientos espectrales (Armand 1986; Girard y Girard 1989; Townshend y Justice 1990).

Ahora bien, es difícil diferenciar entre las diversas sabanas arbustivas, ya que sus valores de luminiscencia son muy próximos y las diferencias estructurales que podrían diferenciarlas no son perceptibles a causa de la resolución geométrica de los datos (Girard y Girard 1989).

Se ha usado también con éxito, para discriminar formaciones de sabana, el satélite difusómetro de viento Seasat-A el cual, mediante técnicas de superposición parcial (solapamiento) de imágenes, permite incrementar la resolución de éstas (Hardin y Long 1994).

Estudio de Etapas y Series de Vegetación: Fenología y Dinámica

Una *etapa de vegetación* ocurre en una zona geográfica en la cual el clima condiciona la presencia de uno o varios grupos vegetales (definidos mediante arreglos de especies particulares y diferenciables) y de agrupaciones de igual naturaleza pertenecientes a otra etapa. Una *serie de vegetación* corresponde a un arreglo de grupos vegetales que se suceden después de estar el terreno desnudo (o desprovisto de agua) y llegan a alcanzar un estado de equilibrio (climático o no) en una sucesión progresiva o regresiva. La primera de estas unidades corresponde a la región ecológica y al paisaje vegetal, y la segunda a la formación vegetal y a la comunidad vegetal (Girard y Girard 1989).

Es posible diferenciar en un territorio relativamente grande, y para una fecha determinada, las etapas de vegetación correspondientes, p.e., a las diferentes fases fenológicas; asimismo, dentro de una serie de vegetación pueden distinguirse los estados de evolución presentes cuyas fisonomías son diferentes. Los datos que entregan Landsat MSS y TM son los más

indicados para diferenciar las unidades antes descritas y para seguir su evolución (Girard y Girard 1989).

El uso de datos NOAA/AVHRR ha permitido también evaluar la productividad de comunidades herbáceas (Bauliés y Pons 1995). Asimismo, permite distinguir los siguientes aspectos:

- las fases fenológicas y los aspectos fisiológicos y fisonómicos de la vegetación empleando el NDVI (Justice et al. 1985; Gregoire 1990; Lloyd 1990; Gond et al. 1992);
- la clasificación supervisada o no supervisada (Jackson y Gaston 1994);
- la relación entre el NDVI y la Radiación Saliente de Longitud de Onda Larga (OLR), especialmente en el cambio de una fase de reposo ('lag') o una de crecimiento vegetativo (Shinoda 1995).

Se pudo establecer, además, mediante el análisis de las series de tiempo, una correlación positiva entre el NDVI y la precipitación como factores condicionantes de las fases fenológicas de los ecosistemas de sabana (Davenport y Nicholson 1993; Fuller y Prince 1996). Se proponen de nuevo las ventajas del uso de la relación multitemporal NDVI/TS (TS = temperatura de la superficie terrestre) para la cartografía de la vegetación sometida a variaciones estacionales, como en las comunidades de sabana (Achard et al. 1989; Achard y Blasco 1990; Mather 1992; Ehrlich y Lambin 1996; Malingreau et al. 1996).

La definición de etapas de vegetación y de series de vegetación se hace a partir de observaciones y registros hechos en el campo. Los datos del MSS no pueden servir para este fin. Una vez que se definan y

describan las diferentes unidades, éstas pueden ser reconocidas en las imágenes satelitales, cartografiadas posteriormente y acompañadas en su evolución, es decir, en el establecimiento de cultivos, la regeneración vegetal y otras acciones similares.

Los datos satelitales, recolectados en fechas en que la vegetación presenta diferentes estados fenológicos, son útiles en una fase preliminar de reconocimiento y en la cartografía e inventario de las series de vegetación. Sin embargo, no pueden remplazar, en ningún caso, los datos y las observaciones de campo que se necesitan en la fase de definición de las series.

Estudio de Comunidades Vegetales de Sabana

Una *comunidad vegetal* puede definirse como un arreglo estructurado y definido de la vegetación, que ocupa un hábitat determinado, homogéneo en sus condiciones físicas y biológicas y con el cual interactúa.

Los objetos que se estudian son de dimensiones más pequeñas que las zonas biogeográficas y las formaciones vegetales. Las comunidades vegetales pertenecen, frecuentemente, a una misma formación vegetal y presentan, por ello, fisonomías semejantes. Para distinguirlas, es necesario entonces disponer de información sobre las bandas espectrales más finas y de datos adquiridos en diferentes fechas. Los sistemas de teledetección deben poseer, por tanto, mejor resolución geométrica.

La teledetección puede usarse para el estudio de una comunidad vegetal sólo cuando la mayoría de las especies presentes en esa comunidad, cuya descripción y clasificación fitosociológica se busca, contribuyen

con su comportamiento espectral a la caracterización radiométrica de la comunidad. Esta situación se presenta cuando la comunidad no tiene estratificación vertical simple y cuando el recubrimiento del suelo tiene importancia para ella. Tal es el caso de las formaciones herbáceas y de los matorrales: rastrojos, estepas, sabanas herbáceas densas, pastizales, praderas seminaturales, etc. (Girard y Girard 1989; Choudury 1993).

La metodología desarrollada para una región dada puede aplicarse a otros casos, es decir, a comunidades vegetales herbáceas densas que crecen bajo diferentes tipos de climas (Girard y Girard 1989).

Caracterización botánica y radiométrica de comunidades herbáceas de sabana

Esta caracterización se hace con observaciones y medidas radiométricas de campo (terrestre) y es indispensable hacerla antes de cualquier clasificación o cartografía ya que ésta se apoya principalmente en datos satelitales de teledetección.

Los levantamientos florísticos de las comunidades de sabana se hacen, principalmente, por el método del punto cuadrático (Boudet 1991; Paladines 1992) en estaciones ubicadas en posiciones topográficas diferentes que corresponden a diferentes condiciones ecológicas. Debe haber suficientes estaciones para que representen los principales tipos de sabana permanente que existen en un área dada.

Estos levantamientos se someten luego al análisis factorial de correspondencia, el cual los reagrupa según la presencia o ausencia de la totalidad de las especies descritas (Boudet 1991). Estos grupos de levantamientos se asignan entonces a alianzas, asociaciones o

subasociaciones, según diversos métodos fitosociológicos (Müller-Dombois y Ellenberg 1974).

Las mediciones de reflectancia se hacen a baja altura (1.5 a 2 m) sobre las parcelas de muestreo y en diferentes etapas fenológicas de la comunidad vegetal; estas etapas condicionarán las fechas de adquisición de los datos radiométricos (Mueksch 1983; Benoit et al. 1988; Girard y Girard 1989). Pueden tomarse muestras en un amplio espectro de longitudes de onda, según el sensor que se utilice (Girard y Girard 1989); asimismo, las unidades de tierra pueden equiparse con sensores de longitud de onda específica, p.e., para medición de la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR) o del Flujo de Radiación en el Infrarrojo Cercano (NIR), con el fin de conocer el comportamiento espectral durante la época de crecimiento (Begue et al. 1996).

Se pueden analizar medidas espectrométricas y densidades ópticas de fotografías aéreas multizonales sintetizadas (escala 1:10,000), según las diferencias en color, el tono y la estructura, con el fin de calcular la disponibilidad de biomasa en los pastizales, de detectar y delimitar áreas de interés específico y de identificar especies vegetales (Ferrer et al. 1988). Para las bandas de infrarrojo cercano (IR) y de rojo (R), de un lado, y para la relación IR+R, del otro, se ha detectado una correlación significativa e inversa con la biomasa seca y con la densidad de la clorofila, respectivamente (Torres et al. 1991). El uso de negativos fotográficos ha permitido compilar índices de vegetación que revelan diferencias en la disponibilidad de las especies de una comunidad de sabana (Torres et al. 1994). Para hacer mapas de la distribución de la fitomasa forrajera y de las comunidades vegetales se han usado también fotografías aéreas

pancromáticas e infrarrojas en falso color, mediante la aplicación del programa SIG Terrasoft (Toure et al. 1994).

Los datos radiométricos se tratan numéricamente, fecha por fecha, utilizando el Análisis de Componentes Principales (ACP). Generalmente, la información más útil para la cartografía de la vegetación, utilizando los satélites Landsat TM y SPOT, se obtiene de las bandas del visible y del IR cercano. Por ejemplo, si se hace un ACP con datos adquiridos en 12 bandas espectrales repartidas entre los 500 y los 1400 nm, este análisis mostraría que se puede trabajar con sólo 4 bandas espectrales cuyas longitudes de onda serían de 550, 675, 850 y 1400 nm. Esta última longitud de onda se emplea en el campo, pero no puede usarse en el registro satelital, ya que la atmósfera terrestre, rica en agua, no permite pasar suficiente señal. Los canales 5 (1570 a 1780 nm) y 7 (2100 a 2350 nm) de TM, sensibles al agua de la vegetación, deben aportar una información más o menos equivalente a la anterior. Para caracterizar radiométricamente los grupos vegetales previamente definidos, debe calcularse el valor promedio de reflectancia, fecha tras fecha, en cada una de las cuatro longitudes de onda, a partir de los valores de reflectancia correspondientes medidos en las diferentes estaciones. Un ACP hecho con valores de reflectancia de diversos grupos vegetales, en función de las fechas, permite representar los tipos de evolución fisiológica y fenológica según los dos primeros ejes, los cuales corresponden a las cuatro longitudes de onda retenidas en el espectro visible y en el infrarrojo próximo (Girard y Girard 1989).

Cada grupo diferente de sabana tiene un comportamiento espectral diferente. Una vez definidas en el tiempo las clases radiométricas cuyos

valores de reflectancia en fechas determinadas se conocen, es posible asignarlas a los tipos de sabana.

Clasificación y cartografía de comunidades vegetales

El interés agronómico de las especies de sabana depende de la naturaleza de éstas y de la cobertura que den al suelo. Estas especies pueden convertirse en parte más o menos importante del material de pastoreo y reflejan además, como elementos de cobertura, las condiciones de clima y suelo y la explotación de la comunidad vegetal.

Se establece entonces una nueva clasificación de las comunidades herbáceas en función de un número limitado de especies que presenten los mayores coeficientes de abundancia-dominancia en los levantamientos. Los conjuntos así definidos se denominan unidades agroecológicas. Los datos radiométricos obtenidos en el terreno sirven para medir el comportamiento de las unidades agroecológicas (Girard y Girard 1989).

El estudio de los valores de luminiscencia y reflectancia obtenidos en estaciones de diversos pastizales indica que los valores medidos no son siempre los mismos en las estaciones que pertenecen a una misma unidad agroecológica. Por ello, para determinar las variaciones ocurridas en el tiempo, la evaluación se hace dentro de una unidad agroecológica (Girard 1987b, Girard y Girard 1989).

El comportamiento espectral servirá así de base para la clasificación y la cartografía a escala mediana (p.e., 1:100,000), partiendo de valores de luminiscencia suministrados por datos de Landsat TM (Warmick-Smith 1981; García y Alvarez 1994) y de SPOT, principalmente (Girard y Girard 1989, Girard y Rippstein 1994; Rippstein y Girard 1994), utilizando clasificación

híbrida (supervisada/no supervisada) y definiendo el sello espectral de cada una de las unidades; cuando se acopla este proceso con fotografías aéreas e información de campo, es posible hacer una diferenciación muy precisa de los tipos de vegetación (Ferrer et al. 1988; Torres et al. 1991, 1994; Brondizio et al. 1993; García y Alvarez 1994).

Cartografía de las unidades agroecológicas

Los datos de Landsat TM o de SPOT permiten hacer cartografía a una escala de mediana a grande (p.e., 1:100,000 a 1:25,000). Puesto que aquí el pixel tiene grandes dimensiones, las unidades son poco detalladas y se pueden reagrupar en función del drenaje del suelo, por ejemplo (Girard y Girard 1989).

Si se aplica el modelo de comportamiento espectral en el espacio de la imagen, se pueden definir diferentes unidades cartográficas. Para caracterizar estas unidades desde un punto de vista agronómico, es necesario hacer el estudio fitosociológico de base (1º) según presencia-ausencia de especies y según la abundancia de un número menor de especies (2º). Este estudio permite colocar una leyenda al mapa (Girard y Girard 1989).

Con dos escalas cartográficas, en algunas partes del mapa las unidades pueden reunir varias unidades agroecológicas que corresponden, por tanto, a un mosaico.

A escala 1:150,000, por ejemplo, puede tomarse la decisión de reagrupar las pasturas y los cultivos para asegurar una coherencia espacial de la unidad, ya que, en ciertos casos, la resolución geométrica de Landsat no permite hacer una diferenciación confiable (Girard y Girard 1989).

A escala 1:25,000, la resolución de SPOT permite diferenciar sin

ambigüedad los cultivos en las sabanas. El modo de explotación de las parcelas se puede detectar mediante el satélite; para ello, se reagrupan algunas unidades agroecológicas diferentes que tengan una explotación semejante.

Esta escala se usa mucho para evaluar los cambios que experimenta el uso de la tierra en los ecosistemas de sabana (Jadhav et al. 1993; Lovett y Prins 1994). Se aplican, en este caso, diferentes técnicas como el análisis digital de bandas incrementadas con imágenes de Landsat TM, que permite no sólo discriminar el suelo desnudo de los pastizales en diferentes etapas de uso (Movia y Navone 1994) sino también evaluar el impacto que ejerce en la sabana la introducción de germoplama exótico (Boutrais y Lortic 1983). La teledetección se ha utilizado también para definir, según algunos aspectos fisiográficos y edáficos, el uso óptimo de las unidades de tierra (Alcántara et al. 1989); esta información se enriquece, en muchos casos, con técnicas que combinan datos a diferentes niveles (Mackel et al. 1989).

La evaluación de la sucesión vegetal en los ecosistemas forestales —los cuales forman parte de las 'matas de monte' en los ecosistemas de sabana (*sensu lato*) y son manejados principalmente mediante sistemas de tala y quema por los grupos aborígenes— ha sido abordada mediante el análisis de imágenes Landsat TM multitemporales. Con tal fin se utilizaron, como parámetros indicativos de la etapa de sucesión, la reflectancia del infrarrojo cercano, el índice de diferencia, el verdor de Kauth-Thomas, el porcentaje de cobertura foliar, y los índices espectrales del brillo del dosel (Mausel et al. 1993; Steininger 1996).

Cartografía de la biomasa de la vegetación de sabana

La cantidad de materia seca (M.S.) se establece a partir de medidas y observaciones de campo y mediante la relación IR/R a partir de datos de luminiscencia de SPOT HRV; con estos cálculos se traza un mapa en donde figuren, a escala 1:25.000, las unidades según la cantidad de M.S. Estos mapas, que se obtienen en muy poco tiempo gracias al tratamiento de los datos numéricos espaciales, dan una evaluación casi instantánea del estado o potencial de un territorio (Grouzis y Methy 1983; Girard 1987a; Girard y Girard 1989; Girard et al. 1990).

A escala pequeña se han utilizado datos AVHRR para estimar la biomasa de grandes áreas y, en consecuencia, la capacidad de carga de las pasturas (Harrington y Wylie 1989).

Estructura de las Poblaciones en la Sabana

Una población de individuos de la misma especie puede estudiarse mediante teledetección, siempre y cuando esa población cubra una superficie de dimensiones compatibles con la resolución geométrica de los datos aéreos o espaciales (Girard y Girard 1989). Aquí se aborda el estudio de poblaciones monoespecíficas o pauciespecíficas, seminaturales, ya que las poblaciones naturales son generalmente muy pequeñas.

Identificación de especies

En las zonas templadas o en la intertropical, sólo las plantaciones industriales y algunas masas forestales exóticas cubren varias decenas o centenas de hectáreas cuyas dimensiones permiten una identificación de datos satelitales a mediana o pequeña escala (Landsat MSS). Son ejemplos las plantaciones

de caucho (*Hevea* sp.) y las pasturas de gramíneas introducidas en los Llanos Orientales (género *Brachiaria*, principalmente).

Por lo tanto, es posible hacer identificaciones con fines de inventario empleando solamente datos multispectrales de buena resolución geométrica (TM o SPOT) o con fotografías a gran escala. La identificación mediante datos multispectrales se hace partiendo de valores de luminiscencia. En las fotografías aéreas se emplea el criterio de la escala de grises o de la escala de color, así como los criterios de forma, ligados ambos con las características morfológicas de los límites. La identificación de especies será más confiable cuando se definen sus fases fenológicas, que son responsables de los valores de luminiscencia y de fisonomías particulares. Por ello, para obtener una buena identificación es importante la elección de la fecha en que se toman las imágenes. En los pastizales permanentes se pueden reconocer ciertas especies (o grupos de especies) en diferentes periodos del año porque en ellos se presentan estados fenológicos particulares formados por poblaciones densas (Ferrer et al. 1988; Torres et al. 1991, 1994).

Estructura de poblaciones

Este tipo de evaluación puede hacerse con fotografías aéreas; sin embargo, se necesita un gran número de fotografías para cubrir un área grande, la duración del análisis es muy larga y los resultados se volverán obsoletos rápidamente. Se utilizan, por ello, datos multispectrales, los cuales ofrecen ciertas ventajas según la resolución geométrica de los diferentes sistemas (Girard y Girard 1989). Cuando se emplea información de satélites Landsat MSS, incluso la relacionada con poblaciones forestales monoespecíficas, el promedio de los

valores de luminiscencia de muchas parcelas presenta una desviación elevada debido a la fuerte heterogeneidad de las parcelas, aun suponiendo que las medidas se toman en la misma fecha. Esta heterogeneidad está ligada a las diferentes fisonomías provenientes de los tratamientos silvícolas. La baja resolución espacial le da poca importancia a los estratos del sotobosque.

En la cartografía forestal realizada con imágenes SPOT y Landsat TM (p.e., en plantaciones comerciales y 'matas de monte'), la diferenciación no se puede hacer en las mismas condiciones antes mencionadas puesto que el pixel tiene, en este caso, dimensiones mucho más pequeñas. Los estratos arbustivo y herbáceo tienen mayor importancia, ya que su comportamiento espectral puede influir en los valores de luminiscencia. No se puede hablar, propiamente, de reconocimiento de especies, sino de una interpretación de las especies en función de su comportamiento espectral estacionario.

Es importante seleccionar, según el objetivo del estudio, los documentos de teledetección que se usarán. Para un estudio de estructura de poblaciones, es conveniente disponer de datos bastante sintéticos, como los que aporta el Landsat MSS. Para una identificación muy precisa y para poblaciones pluriespecíficas, hay que utilizar datos de buena resolución geométrica. Son preferibles las fotografías aéreas a escalas grande y mediana; los datos SPOT y Landsat TM corresponden a la mínima resolución necesaria (Girard y Girard 1989).

La Teledetección Cartográfica de Vegetación de Sabana

La teledetección se ha usado en los Llanos Orientales principalmente en

aspectos fisiográficos, y poco énfasis se ha hecho en la discriminación de la cobertura vegetal de esa región (Forero 1977, 1978; Khobzi 1981). Montoya (1977, 1978) utiliza el procesamiento digital de imágenes Landsat MSS por transformación de los componentes principales de las cuatro bandas producidas por el barreador multiespectral; se definen así grupos fisonómicos de vegetación según clases espectrales diferentes.

Se parte de una primera distribución general de las unidades fisiográficas por zonas, lograda por interpretación preliminar de las imágenes Landsat (bandas 5 y 7, con escala aproximada de 1:1,000,000) y se hace luego una caracterización de la vegetación de sabana. Se hacen primero inventarios de la vegetación en algunas de las unidades fisiográficas, teniendo en cuenta las plantas dominantes y subdominantes. Las unidades incluidas en los mapas se ajustaron según la información del mapa geomorfológico; sin embargo, la parte contenida en el estudio se apoya en la revisión bibliográfica hecha para Colombia, Venezuela y Brasil (Salamanca 1983).

Botero y Serrano (1992) confrontan la información extraída de diferentes tipos de imágenes, como las fotografías aéreas, el radar y los satélite (Landsat TM y SPOT). Se utilizó una cartografía básica de 1:100,000 a la cual se le transfirió la interpretación temática. Estos autores concluyen que las composiciones en color de las imágenes Landsat (escala 1:250,000 a 1:100,000) o SPOT (escala 1:100,000), de las fotografías aéreas pancromáticas (escala 1:60,000 a 1:10,000), de las infrarrojas (escala 1:80,000 a 1:10,000) o de las tomadas en color (escala 1:80,000 a 1:10,000), son buenas para discriminar los tipos de bosques, pastos y cultivos, así como las áreas taladas en el interior de los bosques.

En la altillanura de los Llanos Orientales se ha realizado, con la ayuda de datos SPOT HRV (escala 1:50,000), un inventario del uso de la tierra, del manejo de la vegetación y del estado fisiológico de ésta. Paralelamente, se tomaron datos de la reflectancia de la cobertura vegetal, con ayuda de un radiómetro CIMEL (terrestre) en las mismas frecuencias que el sensor SPOT XS (satelital). Estos datos se utilizaron para definir parcelas de verificación, que fueron analizadas más tarde según las imágenes SPOT; la reflectancia a nivel de campo se usó para hacer una clasificación del uso de la tierra en categorías mayores y un inventario de la vegetación de sabana (Girard y Rippstein 1994; Rippstein y Girard 1994).

La región de la altillanura está cubierta principalmente por vegetación natural (sabanas y bosques), de relieve bajo, cuya principal característica es la disección de los planos sedimentarios

causada por los patrones de drenaje; por ello, Botero et al. (1996) consideran fácil el levantamiento de los mapas de diferentes unidades, ya que se dispone de una cobertura total del área mediante teledetección (hay imágenes de Landsat, especialmente TM; de SPOT en algunas partes; de Radar SLAR; y fotografías aéreas, principalmente de áreas de muestra).

Consideraciones Finales

La información presentada permite encontrar algunos puntos comunes para la cartografía de la vegetación de sabana, según el nivel de evaluación con que se esté trabajando; estos puntos se resumen en el Cuadro 5-1.

La teledetección contribuye a la cartografía de la vegetación de sabana de la siguiente manera:

- Localiza mejores puntos de observación sobre el terreno.

Cuadro 5-1. Características generales de algunos sensores y procesos desarrollados con ellos para hacer la cartografía de la vegetación de sabana.

Objeto medido	Aspecto evaluado	Dimensiones (orden de magnitud) ^a	Instrumento de percepción y (Proceso) ^b
Zona biogeográfica	Bioma, cambio climático, emisión de gases, distribución de quemas	10 ⁰ a 5 x 10 ⁶ m	NOAA o AVHRR (IGV, CAG, IVDN, CAL)
Formación	Formaciones vegetales, fenología	10 a 10 ⁴ m	Landsat MSS-TM (CC, IVDN, CP)
Sucesión	Sucesión vegetal	10 ⁻¹ a 10 ⁴ m (hasta 10 ⁶ a nivel mundial)	Landsat TM, NOAA o AVHRR (IVDN, IGV, IVDN/SLR, IVDN/Ts)
Comunidad	Comunidades vegetales, biomasa de la comunidad, uso de la tierra	10 ⁻¹ a 10 ³ m	Radiometría terrestre (CIMEL), Landsat TM, SPOT, fotografía aérea (múltiples procesos)
Población	Estructura poblacional	10 ⁻³ a 10 ² m	Los mismos usados en la comunidad

a. Modificado de Girard y Girard (1989).

b. IGV = Índice Global de Vegetación; CAG = Cobertura de Área Global; IVDN = Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada; CAL = Cobertura de Área Local; CC = Composiciones en color; CP = Componentes Principales; SLR = Salida de Radiación de Longitud de Onda Larga; Ts = Temperatura de la superficie terrestre.

- Permite extrapolar la información obtenida sobre el terreno. Es un instrumento útil para la cartografía de objetos cuyas dimensiones estén entre 10 y 10⁶ m (y más).
- Ayuda a seguir la evolución y los cambios experimentados por las comunidades, las formaciones y los paisajes vegetales, mediante el seguimiento intraanual e interanual durante varias decenas de años.
- Se convierte en herramienta valiosa para el ordenamiento, la gestión y la protección del medio ambiente, ya que permite resaltar las relaciones entre el ecosistema y las formas de uso.
- Es un dato complementario indispensable para refinar distintas clases de cobertura, cuando éstas presentan una misma firma espectral.
- Señala que la reflectancia espectral de la sabana está determinada por las especies más abundantes.
- Permite diferenciar comunidades de sabana florísticamente diferentes gracias al cambio estacional en la reflectancia.
- En zonas florísticamente similares, permite estimar la biomasa de la vegetación en rangos mayores mediante la relación entre el infrarrojo cercano y el rojo; esta relación es influenciada, además, por los cambios climáticos, por lo cual es útil corregir los datos de biomasa (aplicando, p.e., un algoritmo de temperatura de la superficie terrestre).

Referencias

- Achard F.; Blasco F. 1990. Analysis of vegetation seasonal evolution and mapping of forest cover in West Africa with the use of NOAA/AVHRR/HRPT data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 56(10): 1359-1365.
- Achard F.; Lavenue F.; Blasco N.; Podaire A. 1989. Etude de la dynamique saisonnière des formations au contact forêt-savanne en Afrique de l'Ouest par télédétection. *Bulletin Société Française de Photogrammetrie et de Télédétection* 114:37-39.
- Alcántara P. B.; Rocha G. L. da; Junior M. J. P.; Donzelli, P. L. 1989. Ecological zoning of São Paulo, Brazil, for tropical forage plants. *Proceedings of the XVI Grasslands Congress*, celebrado en Niza, Francia, octubre 1989. Niza, Francia. p. 1367-1368.
- Andrés L.; Salas W. A.; Skole D. 1994. Fourier analysis of multi-temporal AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) data applied to a land cover classification. *Int. J. Remote Sens.* 15(5):1115-1121.
- Armand M. 1986. Reconnaissance des formations végétales du secteur preforestier guinéen à partir des images Landsat. *Bulletin Société Française de Photogrammetrie et de Télédétection* 103:33-49.
- Bauliés X.; Pons X. 1995. Approach to forestry inventory and mapping by means of multi-spectral airborne data. *Int. J. Remote Sens.* 16(1):61-80.
- Begue A.; Roujean J. L.; Hanan N. P.; Prince S. D.; Thawley M.; Huete A.; Tandre D. 1996. Shortwave radiation budget of Sahelian vegetation; 1: Techniques of measurements and results during HAPEX-Sahel. *Agric. Forest Meteorol.* 79(1-2):79-96.
- Benoît M. C. M. Girard C. M.; Vaubernier E. de. 1988. Comparaison du type de comportement spectral de prairies permanentes en Lorraine avec leur type d'utilisation. *Agronomie* 8:265-272.

- Botero P.; Serrano D. H. 1992. Estudio comparativo de Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombianas. *Revista CIAF* 13(1):87-115.
- Botero P.; Jiménez B.; Herrera J. M. Castillo L. A.; Rodríguez N.; Duque A.; Mendoza Y. 1996. Inestabilidad de los paisajes en Orinoquia-Amazonia (ORAM). Trabajo presentado al VII Congreso Colombiano de Geología y II Seminario Sobre el Cuaternario, celebrados en Bogotá, agosto 1996. Bogotá, Colombia. 13 p. (Mimeografiado.)
- Boudet G. 1991. Manuel sur les pâturages tropicaux et les cultures fourragères. Collection Manuels et Précis de Elevage. Ministère de la Coopération et du Développement, Institut d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, ORSTOM, Paris. 266 p.
- Boutrais J.; Lortic B. 1983. Géographie par télédétection d'un complexe cerealier tropical (Nord Cameroun). Traitements photochimiques d'imagerie Landsat. Cahiers ORSTOM, Serie Sciences Humaines 19(2):141-166.
- Brondizio E. S.; Moran E. E.; Mausel P.; Wu Y. 1993. Dinamica na vegetação do baixo Amazonas: análise do uso da terra integrando imagens Landsat TM, levantamentos florístico e etnográfico. Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto celebrado em Curitiba, Brasil. Memórias. v.2, p. 38-47.
- Brown J. F.; Loveland T. R.; Merchant J. W.; Reed B. C.; Ohlen D. O. 1993. Using multisource data in global land-cover characterization: Concepts, requirements, and methods. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59(6):977-987.
- Choudury B. J. 1993. Reflectivities of selected land surfaces types at 19 and 37 GHz from SSM/I observations. *Remote Sens. Env. (USA)* 46(1):1-17.
- Chuvieco E. 1995. Fundamentos de teledetección espacial. 2a. ed. Rialp, Madrid, España. 453 p.
- Davenport M. L.; Nicholson S. E. 1993. On the relation between rainfall and the Normalized Difference Vegetation Index for diverse vegetation types in East Africa. *Int. J. Remote Sens.* 14(12):2369-2389.
- Ehrlich D.; Lambin E. F. 1996. Broad scale land-cover classification and interannual climatic variability. *Int. J. Remote Sens.* 17(5):845-862.
- Ferrer E.; Torres V.; San Martín E. 1988. Estudio preliminar sobre la aplicación de la teledetección en la identificación de los pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 22(3):219-224.
- Forero M. C. 1977-1978. Patrones de dunas de los Llanos Orientales de Colombia sobre imágenes ERTS-MSS y fotografías aéreas. *Revista CIAF* 4:71-82.
- Frederiksen P.; Langaas S.; Mbaye M. 1990. NOAA-AVHRR and GIS-based monitoring of fire activity in Senegal: A provisional methodology and potential applications. *Ecol. Stud. Anal. Syn. (USA)* 84:400-417.
- Fuller D. O.; Prince S. D. 1996. Rainfall and foliar dynamics in tropical Southern Africa: Potential impacts of global climate change on savanna vegetation. *Clim. Change* 33(1):69-96.
- García M. C.; Alvarez R. 1994. TM digital processing data of a tropical forest region in southeastern Mexico. *Int. J. Remote Sens.* 15(8):1611-1632.
- Girard C. M. 1987a. Caractérisation des prairies permanentes par leur phytosociologie saisonnière et leur comportement spectral: Application à l'évaluation de la biomasse. *Acta Oecol. Oecol. Plant.* 8:345-356.
- Girard C. M. 1987b. Spectral and botanical classification of grasslands: Auxois example. *Adv. Space Res.* 7(11):67-70.

- Girard C. M.; Benoit M.; Vaubernier E. de; Curran P. J. 1990. SPOT HRV data to discriminate grassland quality. *Int. J. Remote Sens.* 11:2253-2267.
- Girard C. M.; Rippstein G. 1994. Utilisation de données SPOT HRV pour la cartographie de savanes et pâturages dans les Llanos de Colombie. *Bull. Société Française de Photogrammetrie et Télédétection* 133:11-19.
- Girard M. C.; Girard C. M. 1989. Télédétection appliquée: Zones tempérées et intertropicales. Collège de Sciences Agronomiques, Masson, Paris, Francia. 260 p.
- Gond V.; Hübschmann J.; Meste C. 1992. Analyse par télédétection spatiale du rythme bioclimatique et du comportement phenologique de la végétation dans le Nordeste du Bresil. *Secheresse (France)* 3(2):97-102.
- Gregoire J. M. 1990. Effects of the dry season on the vegetation canopy of some river basins of West Africa as deduced from NOAA-AVHRR data. *Hydr. Sci. J.* 35(3):323-338.
- Grouzis M.; Methy M. 1983. Détermination radiométrique de la phytomasse herbacée en milieu Sahélien: Perspectives et limites. *Acta Oecol. Oecol. Plant.* 4:241-257.
- Hardin P. J.; Long D. G. 1994. Discriminating between tropical vegetation formations using reconstructed high-resolution Seasat-A scatterometer data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 60(12):1453-1462.
- Harrington J. A. Jr.; Wylie B. K. 1989. Assessing annual changes in the Sahelian Vegetation of Niger. *Papers and Proceedings of Applied Geography Conferences* 12:107-115.
- Hernández J. I.; Sarmiento G.; Renjifo J. M.; Samper D.; Sánchez H.; Romero M. E. 1994. Sabanas naturales de Colombia. Banco de Occidente, Cali, Colombia. 207 p.
- Jackson P. L.; Gaston G. G. 1994. Digital enhancement as an aid to detecting patterns of vegetation stress using medium-scale aerial photography. *Int. J. Remote Sens.* 15(5):1009-1018.
- Jadhav R. N.; Kimothi M. M.; Kandya A. K. 1993. Grassland mapping/monitoring of Banni, Kachech (Gujarat) using remotely-sensed data. *Int. J. Remote Sens.* 14(17):3093-3103.
- Justice C. O.; Townshend J. R.; Holben B. N.; Tucker C. J. 1985. Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data. *Int. J. Remote Sens.* 6(8):1271-1318.
- Kaufman Y. J.; Setzer A.; Ward D.; Tanre D.; Holben B. N.; Menzel P.; Pereira M. C.; Rasmussen R. 1992. Biomass burning airborne and apaceborne experiment in the Amazonas (BASE-A). *J. Geogr. Res.* 97:14581-14599.
- Khobzi J. 1981. Los campos de dunas del norte de Colombia y de los Llanos del Orinoco (Colombia y Venezuela). *Memorias del I Seminario sobre el Cuaternario en Colombia. Revista CIAF* 6:257-292.
- Levine J. S. 1991. Global biomass burning: Atmospheric, climatic, and biospheric implications. Chapman Conference, Williamsburg, Virginia, E.U., marzo 1990. American Geophysical Union, Williamsburg, VG, E.U. 569 p.
- Lindsay J. A. 1992. Biomass burning as a factor in atmospheric chemistry and terrestrial ecology. *S. Afr. J. Sci.* 88(3):143-144.
- Lloyd D. 1990. A phenological classification of terrestrial vegetation cover using shortwave vegetation index imagery. *Int. J. Remote Sens.* 11(12): 2269-2279.
- Lovett J. C.; Prins E. 1994. Estimation of land use changes on Kitulo Plateau, Tanzania, using satellite imagery. *Oryx (Reino Unido)* 28(3):173-182.

- Mackel R.; Menz G.; Walther D. 1989. Weidepotential und Landdegradierung in den Trockengebieten Kenias, dargestellt an Testflächen im Samburu Distrikt. *Erdkunde* 43(4):253-267.
- Malingreau J. P.; Ehrlich D.; Lambin E. F. 1996. Are there detectable boundaries between African biomas? *Int. J. Remote Sens.* 17(5):841-844.
- Mather P. M. 1992. TERRA-1: Understanding the terrestrial environment: The role of earth observations from space. Taylor and Francis, Londres, R.U. 251 p.
- Mausel P.; Wu Y.; Li Y. H.; Moran E. F.; Brondizio E. S. 1993. Spectral identification of successional stages following deforestations in the Amazon. *Geocarto International (Hong Kong)* 4:61-71.
- Millington A. C.; Styles P. J.; Critchley R. W. 1992. Mapping forests and savannas in sub-Saharan Africa from advanced very high resolution radiometer (AVHRR) imagery. En: Furley P. A.; Proctor J.; Ratter J. A. (eds). *Nature and dynamics of forest-savanna boundaries*. Chapman and Hall, Londres, R.U. p. 35-62.
- Montoya A. 1977-1978. Comparación de interpretaciones fisiográficas de imágenes Landsat, radar y fotografías aéreas para una zona de los Llanos Orientales de Colombia. *Revista CIAF (Colombia)* 4(1):83-89.
- Montoya A. 1997. Percepción remota y procesamiento digital de imágenes: Conceptos básicos. Serie 1-Docencia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Centro de Investigación en Percepción Remota (CIAF), Bogotá, Colombia. 154 p.
- Movía C. P.; Navone S. M. 1994. Imágenes Landsat TM: Una herramienta para evaluar el deterioro de los pastizales en La Puna, Argentina. *Investigación Agraria (Argentina)* 9(1):127-136.
- Mueksch M. C. 1983. Determination of reflectances of tropical vegetation by combined methods of radiometry and photometry. En: *Memorias del Colloque International Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection*, Bordeaux, INRA, 12-16 Septembre. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris; Centre National d'Etudes Spatiales, Paris, Francia. p. 287-294.
- Müller-Dombois D.; Ellenberg, H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley & Sons, Nueva York. 547 p.
- Murai I. S.; Honda Y.; Eiumnoch A. 1991. World forest watch using NOAA vegetation index. En: *International Workshop on Conservation and Sustainable Development*. Memorias. Taller internacional celebrado en Khao Yai National Park, Bangkok, Tailandia, abril 1991. AIT-Bangkok, Tailandia. p. 213-220.
- Nelson R.; Horning N. 1993. AVHRR-LAC estimates of forest area in Madagascar in 1990. *Int. J. Remote Sens.* 14(8):1463-1475.
- Paladines O. 1992. Metodología de pastizales: Para trabajar en fincas y proyectos de desarrollo agropecuario. Proyecto de Fomento Ganadero, MAG/GTZ, Quito, Ecuador. 219 p.
- Pereira A. C.; Setzer A. W. 1996. Comparison of fire detection in savannas using AVHRR's channel 3 and TM images. *Int. J. Remote Sens.* 17(10):1925-1938.
- Riggan P. J.; Brass J. A.; Lockwood R. N. 1993. Assessing fire emissions from tropical savanna and forests of central Brazil. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 59(6):1009-1015.
- Rippstein G.; Girard C. M. 1994. Utilización de datos radiométricos espacial y terrestre para el estudio e inventario de la vegetación de los Llanos Orientales de Colombia. *Pasturas Tropicales* 16(2):9-17.

- Salamanca S. 1983. La vegetación de la Orinoquia-Amazonia: Fisiografía y formaciones vegetales. Colombia Geográfica 10(2):5-31.
- Serna-Isaza R. A.; Rippstein G.; Grollier C.; Mesa E. 1996. Biodiversidad de la vegetación de sabana nativa en la Altillanura plana y serranía de los Llanos Orientales de Colombia. Trabajo presentado en el Taller Regional Agrociencia y Tecnología Siglo XXI: Orinoquia Colombiana, celebrado en Villavicencio, Meta, Colombia, noviembre de 1996. Bogotá, Colombia. 31 p.
- Shinoda M. 1995. Seasonal phase lag between rainfall and vegetation activity in tropical Africa as revealed by NOAA satellite data. Int. J. Climatology 15(6):639-656.
- Steininger M. K. 1996. Tropical secondary forest regrowth in the Amazon: Age, area, and change estimation with Thematic Mapper data. Int. J. Remote Sens. 17(1):9-27.
- Stone T. A.; Schlesinger P.; Houghton R. A.; Goodwell G. M. 1994. A map of the vegetation of South America based on satellite imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 60(5):541-551.
- Susach C. 1989. Caracterización y clasificación de la vegetación de sabanas del sector oriental de los Llanos Centrales Venezolanos. Acta Biol. Venez. 12(3-4):1-54.
- Sylvander R.; Bystroem M.; Hoegberg P. 1988. The use of satellite imagery for delineation of vegetation types in eastern Tanzania (incl. dry forests, Miombo woodland). Umeaa, Suecia. 38 p.
- Tateishi R.; Kajiwaru K. 1991. Land cover monitoring in Asia by NOAA GVI data. Geocarto International (Hong Kong) 6(4):53-64.
- Torres V.; Ferrer E.; San Martín E. 1991. Utilización de la teledetección en el estudio de los pastizales; 1: Fotointerpretación y procesamiento óptico. Revista Cubana de Ciencia Agrícola 25:1-6.
- Torres V.; Ferrer E.; San Martín E. 1994. Utilización de la teledetección para el inventario de áreas con pasturas en Cuba. Pasturas Tropicales 16(2):18-22.
- Toure A. S.; Grandtner M. M.; Hiernaux P. Y. 1994. Relief, sols et végétation d'une savane soudano-sahélienne du Mali Central. Phytocoenologia 24: 233-256.
- Townshend J. R. G.; Justice J. C. 1990. The spatial variation of vegetation changes at very coarse scales. Int. J. Remote Sens. 11(1):149-157.
- Warmick-Smith R. M. 1981. The use of digitally processed Landsat imagery for vegetation mapping in Sulawesi, Indonesia. Remote Sensing Quarterly 3(2):21-26.

CAPÍTULO 6

Radiometría Terrestre para el Inventario y Otros Estudios de la Vegetación de Sabana

*G. Rippstein**, *J. Sionneau***, *G. Escobar**** y
G. Ramírez^ψ

Resumen

En el estudio de la vegetación de los Llanos Orientales de Colombia con ayuda del satélite SPOT, se ha hecho un muestreo, a nivel del suelo, de la reflectancia de los pastos nativos y de los pastos introducidos del Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua, la estación experimental que mantienen el ICA y el CIAT en Carimagua, departamento del Meta, Colombia.

Los análisis estadísticos que se hicieron con las medidas tomadas en las épocas seca y lluviosa permitieron clasificar la vegetación en diferentes tipos. Se hizo así un trabajo de clasificación e inventario de la vegetación de los Llanos Orientales por control remoto.

Introducción

Una característica de los Llanos Orientales de Colombia es que, en la zona de los bancos de la Altillanura, están cubiertos por una vegetación nativa de sabana que, a primera vista, es muy homogénea.

Los estudios ecológicos (Blydenstein 1967; Grollier 1994; Rippstein et al., Capítulo 2 de esta obra; Serna-Isaza et al., Capítulo 3 de esta obra) muestran, no obstante, una gran variedad de comunidades constituidas por vegetación nativa y por pastos sembrados. Estos estudios fueron hechos sólo en algunos sitios y era necesario extenderlos ahora a toda la región considerada. Esta generalización se hizo empleando imágenes de satélite, que parecen ser un buen instrumento de la ecología vegetal para extrapolar datos a grandes áreas, como la Altillanura de los Llanos Orientales de Colombia.

Se estudió primero la imagen de satélite del Centro de Investigación Agropecuaria (CI) Carimagua, la estación experimental del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) y, actualmente, también de su homólogo CORPOICA, que la comparten con el CIAT; está situada en Carimagua, Meta, en Colombia. De este sitio se conocen muy bien el clima, los tipos de suelo, los tipos de vegetación con su

* Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

** Agrónomo, VSN, Embajada de Francia, Proyecto Colaborativo IGAC-CIAF, Bogotá, Colombia.

*** Biólogo, CIAT, Cali, Colombia.

ψ Estadístico, CIAT, Cali, Colombia.

biomasa, el uso que se da a esta vegetación y otras variables. Se obtuvieron tres imágenes del satélite SPOT-HRV tomadas en enero, marzo y octubre de 1991. Se habían hecho previamente mediciones de radiometría terrestre de los diferentes tipos de vegetación del CIA Carimagua.

Objetivos del Estudio

- Distinguir y clasificar en el CI Carimagua, empleando radiometría terrestre, las diferentes comunidades vegetales nativas y de pastos introducidos, y el tipo de explotación (quema, carga animal, fertilización y otras) que se da a estas comunidades.
- Clasificar e inventariar, con ayuda de los datos del satélite SPOT y con los datos de radiometría terrestre, la vegetación de la zona de Carimagua y, con esta experiencia, la de otras partes de los Llanos Orientales.

Descripción General del Ecosistema

El ecosistema en que se halla el CI Carimagua pertenece a la Altillanura plana de las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia. Su superficie es de 3.5 millones de hectáreas (Vera y Seré 1985), es decir, ocupa el 3% del territorio de Colombia (20% de las sabanas de los Llanos Orientales). Es una franja de 60 km de ancho y 580 km de largo, aproximadamente, que se extiende al sur del río Meta entre la localidad de Puerto López, al oeste, hasta la frontera con Venezuela, en el este. Su suelo está formado por sedimentos aluviales del Pleistoceno antiguo.

El paisaje de la Altillanura está conformado por extensos sectores altos y planos, denominados 'bancos', que alternan con los bajos; éstos son

estrechos y prolongados y constituyen las vías de drenaje del ecosistema. Los bancos tienen una topografía ligeramente convexa cuya pendiente es inferior a 1% y se calcula que ocupan el 93% de la superficie total del paisaje.

Clima

La región tiene una época seca de 4 meses (de diciembre a marzo) en que casi no cae lluvia (171 mm) y una época lluviosa de 8 meses, cuyo promedio anual, medido en el lapso 1974-91, es de 2171 mm.

Las temperaturas máxima y mínima son, en promedio, de 33.5 y 21.5 °C, respectivamente, en la época seca, y de 31.7 y 21.5 °C, respectivamente, en la época lluviosa. No habiendo mucha diferencia entre las temperaturas de la época seca y de la lluviosa, la humedad relativa es, en promedio, de 70% en la primera y de 85% en la segunda.

Suelos

Los suelos de la Altillanura se clasifican como Oxisoles, así: Haplustox, típico, arcilloso, caolinítico, isohipertérmico. En general, son suelos ácidos (pH: 4.1 a 5.1), que tienen alta saturación de aluminio (82%), baja disponibilidad de fósforo (1 a 2 mg/kg) y baja capacidad de intercambio catiónico (3.4 meq/100 g de suelo) (Spain 1979).

Vegetación

La vegetación de los bancos es de sabana, es decir, tiene muy pocos árboles y arbustos. Alrededor de los bosques de galería hay bajos que pueden inundarse, tienen vegetación arbustiva o herbácea y son de muy poca amplitud. Alrededor de las lagunas, en cambio, hay bajos más amplios que tienen importancia para la alimentación del ganado durante la época seca.

En los Llanos Orientales de Colombia, Blydenstein (1967) reconoce la existencia de 10 tipos de sabanas. En el estudio reportado en el Capítulo 2 de esta obra se identificaron ocho grupos de vegetación en la región de Carimagua. Predominan las especies pertenecientes a los géneros *Andropogon*, *Axonopus*, *Paspalum*, *Schizachyrium*, *Trachypogon* y *Rhynchospora*, casi todos poáceas (gramíneas) y ciperáceas.

Metodología

Reflejo

En el estudio de la vegetación a nivel del suelo se observó el comportamiento espectral de la vegetación nativa y de los cultivos forrajeros sembrados en parcelas de 0.25 a 5 ha de área o en sitios muy conocidos. Esta medida se hizo, aproximadamente, a 1.5 m de altura sobre la superficie del terreno, con un radiómetro CIMEL que capta las ondas reflejadas por los objetos en la banda del verde (500-590 nm), en la del rojo (615-680 nm) y en la del infrarrojo cercano (790-890 nm). Estas mismas bandas son captadas por un radiómetro similar instalado en el satélite SPOT-HRV.

Se observaron 60 parcelas, la mitad de ellas cubiertas por sabana nativa y la mitad con diversos cultivos forrajeros. Se tomaron al azar 30 medidas en cada parcela, entre las 10:00 y las 14:00 GMT del día y cuando el cielo estaba despejado. Las medidas se hicieron primero entre el 18 y el 23 de enero de 1991 y luego entre el 23 de septiembre y el 5 de octubre del mismo año.

El radiómetro CIMEL registra un porcentaje del reflejo máximo de los objetos. Ahora bien, para comparar las parcelas, corregimos su reflejo ya ajustado según el porcentaje de reflejo emitido desde una hoja de papel blanco

(unidad de referencia) en el momento de las mediciones, así:

$$\text{Reflejo corregido (\%)} = \frac{\text{Reflejo en vegetación, promedio}}{\text{Reflejo en papel blanco, promedio}} \times 100 \quad (1)$$

Vegetación

Se determinaron las principales especies vegetales, su fisonomía, su altura promedio, su edad, su biomasa y su porcentaje de materia seca (M.S.). Se precisaron también el estado fenológico de esas especies, los tratamientos y el tipo de manejo que han recibido, y se hizo un cálculo del porcentaje de suelo descubierto en sus parcelas.

Análisis estadístico

En primer lugar se empleó un análisis estadístico de multivariadas (SAS 1990) en las dos fechas y con las tres bandas, para distinguir grupos ('clusters') de determinados tipos de vegetación. Se empleó además el análisis de componentes principales (ACP) para formar grupos.

Se compararon, finalmente, los grupos de tipo de vegetación diferente; se hicieron por ello confrontaciones estadísticas en el interior de cada grupo (análisis de varianza con Prueba de Duncan), y para cada banda de energía (verde, rojo e infrarrojo), para las especies, los géneros y los diferentes tipos de sabana nativa.

Resultados

Se presentan en cuadros los análisis de las medidas tomadas en la época seca (enero) y al final de la época de lluvias (octubre).

Los Cuadros 6-1 y 6-2 muestran los resultados de un análisis multivariado (para 'clusters') de las medidas realizadas en los tres canales del

Cuadro 6-1. Clasificación de la vegetación de Carimagua según su reflejo en las tres bandas de un radiómetro terrestre CIMEL. Análisis multivariable con las muestras de enero de 1991 (época seca).

Grupos (clusters)	Parcelas (no.)	Reflejo (%) en la banda:			Vegetación, G (tipo, altura, edad), suelo, S , y clasificación ^a
		Verde, V (500-590 nm)	Rojo, R (615-680 nm)	Infrarrojo cercano, IR (790-890 nm)	
1	13	9.1	11.4	30.0	G: Sabanas nativas y cultivos forrajeros viejos; altura intermedia (30 a 60 cm); más de 12 meses de edad. S: Suelo poco visible. Clase: B.
2	8	9.7	10.4	38.6	G: <i>Brachiaria dictyoneura</i> joven; 5 meses de edad; 50 cm de altura. S: Suelo visible < 10%. Clase: D.
3	14	8.0	10.6	24.7	G: Sabanas nativas o cultivos forrajeros de más de 1 año; altura de 30 a 70 cm. S: Suelo más o menos visible. Clase: C.
4	12	10.6	13.4	34.4	G: Cultivos forrajeros jóvenes (5 meses), con malezas. S: Suelo generalmente bien visible (15% a 30%). Clase: D.
5	9	7.4	8.6	27.5	G: Sabanas nativas de bajos, con arbustos y con cultivos forrajeros viejos bien verdes (buena clorofila). S: Suelo visible (15% a 30%). Clase: C.
6	2	10.7	12.2	42.2	G: Muy parecido al Grupo 4, pero sin malezas. S: Como el Grupo 4, pero con menos suelo visible (10% a 25%). Clase: D.

a. Clasificación según Benoit et al. 1988:

Clase A: V = medio, R = bajo, IR = fuerte: plantas con alto contenido de clorofila.

Clase B: V = medio, R = fuerte, IR = bajo: plantas con menos clorofila: seca o madura.

Clase C: V = bajo, R = medio, IR = bajo: plantas con alto contenido de clorofila pero con escasa cobertura; suelo visible.

Clase D: V = medio, R = alto, IR = alto: plantas con alto contenido de clorofila y otro pigmento (inflorescencias).

Cuadro 6-2. Clasificación de la vegetación según su reflejo en las tres bandas de un radiómetro terrestre CIMEL. Análisis multivariable con las muestras tomadas en octubre de 1991 (fin de época lluviosa).

Grupos (clusters)	Parcelas (no.)	Reflejo (%) en la banda:			Vegetación, G (tipo, altura, edad), biomasa, B , y materia seca (MS) de los pastos y clasificación ^a
		Verde, V (500-590 nm)	Rojo, R (615-680 nm)	Infrarrojo cercano, IR (790-890 nm)	
1	14	9.2	9.9	33.1	G: Sabanas nativas y cultivos forrajeros; altura intermedia (40 a 60 cm); edad: >1 año. B: Biomasa variable (100 a 500 g/m ²); MS variable (40% a 60%). Clase: D.
2	13	7.8	8.6	29.2	G: Sabanas nativas y pastos; edad: >1 año; altura intermedia (60 cm). B: Biomasa alta (300 a 450 g/m ²); MS alta (40% a 55%). Clase: C.
3	6	8.3	8.9	35.5	G: Pastos y sabanas nativas con clorofila (muy verde); altura intermedia (40 cm); edad: >1 año. B: Biomasa mediana (300 g/m ²); MS ≈ 40%. Clase: D.
4	9	7.0	7.7	25.1	G: Sabanas nativas y <i>Andropogon gayanus</i> ; altura variable (20-120 cm); edad: >1 año. B: Biomasa diversa (80 a 400 g/m ²); MS alta (40% a 70%) o suelo visible. Clase: C.
5	5	8.7	8.3	38.7	G: Cultivos forrajeros diversos; altura variada. B: Biomasa media y baja (150 a 350 g/m ²); edad de 1 año y más; MS baja (40%). Clase: A.
6	4	9.8	11.8	27.4	G: Sabanas nativas jóvenes (después de la quema). B: Biomasa (60 g/m ²); edad de 2 a 12 meses; MS de 30% a 50%. Clase: B.

a. Clasificación según Benoit et al. 1988 (ver Cuadro 6-1, nota a.).

radiómetro CIMEL. Para cada una de las dos épocas, las medidas tomadas en cada parcela se agruparon en seis clases. Cada clase contiene un número variable de parcelas que conforman grupos de vegetación más o menos homogéneos. Para los datos de enero, por ejemplo (Cuadro 6-1), las clases 1, 3 y 5 contienen parcelas de vegetación nativa y de especies forrajeras; las clases 2, 4 y 6 contienen únicamente especies cultivadas; en la clase 2 (ocho parcelas) está únicamente *Brachiaria dictyoneura*.

Las medidas tomadas en octubre (Cuadro 6-2) permiten formar clases más heterogéneas; sólo la clase 5 contiene únicamente especies cultivadas. Además, los datos confirmaron una fuerte correlación (0.843) entre la banda verde (XS1) y la roja (XS2), relación que señalaría la posibilidad de prescindir de una de estas bandas en los análisis. Esto fue

sugerido por Lallemand y Legendre (1984).

La comparación de las mismas parcelas en las dos épocas del año muestra (Cuadro 6-3) lo siguiente:

- Las pasturas nativas tienen, generalmente, un reflejo muy diferente según la época, mientras que los cultivos muestran pocas variaciones en el tiempo.
- Las formaciones vegetales naturales muy maduras dan, en general, un reflejo en el espectro visible (verde y rojo) más elevado en la época seca, porque esa vegetación es menos clorofílica. Lo contrario ocurre en una sabana joven.
- En los 3 ó 4 primeros meses después de la quema, el reflejo es muy débil (6%). Las formaciones nativas, 5 meses o más después de

Cuadro 6-3. Comparación del reflejo terrestre (por CIMEL) de diferentes tipos de sabanas nativas y de cultivos forrajeros, en la época seca y en la lluviosa.

Tipo de pasto (y manejo)	Epoca de la muestra	Reflejo (%) en la banda:			Clases ^a
		Verde	Rojo	Infrarrojo cercano	
Sabana nativa vieja (más de 2 años)	Enero	8.47	10.63	26.83	B
	Octubre	7.46	8.28	30.82	C
Sabana nativa joven (1 a 3 meses después de la quema)	Enero	6.00	6.83	10.25	C
	Octubre	9.10	11.50	29.39	B(D)
Sabana nativa joven (5 a 6 meses después de la quema)	Enero	8.35	11.07	24.39	C
	Octubre	9.77	11.50	34.79	D
Sabana nativa joven (Serranía)	Enero	8.32	10.67	22.36	B
	Octubre	7.83	8.86	22.66	C
<i>Andropogon gayanus</i> (más de 1 año sin pastoreo)	Enero	6.98	8.82	23.76	C
	Octubre	9.00	6.99	38.09	A
<i>Brachiaria humidicola</i> (más de 5 años en pastoreo)	Enero	7.93	9.46	25.03	C
	Octubre	7.54	8.11	27.82	C
<i>Brachiaria decumbens</i> (más de 5 años en pastoreo)	Enero	10.01	11.90	32.51	D
	Octubre	10.11	9.84	35.08	A
<i>Brachiaria dictyoneura</i> (joven: menos de 1 año)	Enero	9.96	11.74	35.74	D
	Octubre	8.85	9.40	32.91	D

a. Clasificación según Benoit et al. 1988 (ver Cuadro 6-1, nota a.).

la quema, tienen pocas diferencias de reflejo en el verde y prácticamente ninguna en el rojo, onda en que el reflejo es relativamente elevado (>11%).

- La sabana joven de la Altillanura ondulada —que tiene un relieve notorio y un suelo arenoso y pedregoso— da un reflejo idéntico al de la sabana vieja de suelo arcilloso. La diferencia aparece en el IR cercano, banda en que la vegetación da un reflejo notablemente inferior.
- En el IR cercano y para todos los tipos de vegetación (excepto para *B. dictyoneura* menor de 1 año), el reflejo en la época lluviosa es más fuerte que en la seca.

En la Figura 6-1 se presentan los resultados de un ACP con las

53 muestras radiométricas de octubre. En los ejes 1 y 2, la contribución de la variación total es de 67.4%. Esta representación gráfica permite distinguir 10 grupos. Ahora bien, en los Cuadros 6-1 y 6-2 algunos grupos no son homogéneos. Los grupos 3, 6, 8 y 9 son mezclas de sabana nativa y de cultivos forrajeros, los conjuntos 1, 2, 7 y 10 están constituidos únicamente por sabana nativa, y los conjuntos 4, 5 y 8 tienen solamente praderas cultivadas.

En los Cuadros 6-4 a 6-9 se compara el reflejo, en cada banda del espectro, de diferentes cultivos forrajeros, así: de un mismo cultivo (*Brachiaria dictyoneura*) implantado o explotado de diferentes formas (Cuadro 6-4); de dos tipos de suelo (Cuadros 6-5 y 6-6); y de pasturas nativas de edades diferentes o explotadas con diferentes cargas

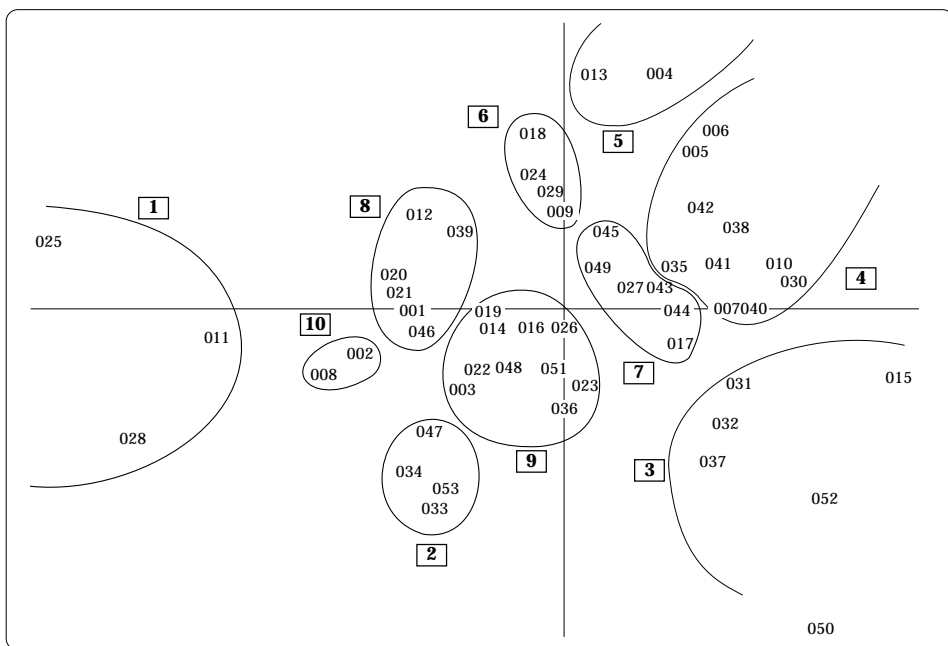


Figura 6-1. Agrupación de la vegetación, y su representación correspondiente, según su reflejo en las tres bandas del radiómetro terrestre CIMEL. Se hizo un análisis de componentes principales con las muestras de octubre (fin de época lluviosa).

Cuadro 6-4. Comparación del reflejo de diferentes especies de *Brachiaria* (observaciones hechas en el mes de octubre).

Reflejo en la banda:					
Verde (XS1)		Rojo (XS2)		Infrarrojo cercano (XS3)	
Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b
10	10.1 a	10	9.8 a	4	40.6 a
5	9.0 b	5	9.0 ab	5	38.4 ab
4	8.6 b	9	8.5 ab	10	35.1 b
9	8.1 bc	4	8.4 ab	9	34.3 b
1	7.4 c	1	7.8 b	1	28.7 c

- a. Parcela no. 1 = *Brachiaria humidicola*; biomasa seca: 235.3 g/m²; MS: 45.8%.
 Parcela no. 4 = Diferentes especies.
 Parcela no. 5 = *Brachiaria dictyoneura* + *Centrosema acutifolium*; biomasa: 153.8 g/m²; MS: 37.4%.
 Parcela no. 9 = *Brachiaria humidicola* + malezas; biomasa: 425.4 g/m²; MS: 42.2%.
 Parcela no. 10 = *Brachiaria decumbens*; biomasa: 113.6 g/m²; MS: 33.6%.
- b. Promedios con letras iguales (en las columnas) no son estadísticamente diferentes según la Prueba de Duncan, a nivel del 5%.

Cuadro 6-5. Comparación del reflejo de *Brachiaria dictyoneura* de 1 año de edad, sembrado en suelo arenoso y sometido a diferentes manejos (observaciones de octubre).

Reflejo en la banda:					
Verde (XS1)		Rojo (XS2)		Infrarrojo cercano (XS3)	
Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b
15	10.8 a	15	11.5 a	18	37.0 a
17	8.9 b	17	10.2 b	24	35.4 a
23	8.4 bc	23	9.6 bc	15	32.6 b
16	7.9 cd	16	9.1 cd	17	31.8 bc
24	7.9 cd	22	8.6 de	19	30.2 cd
18	7.8 cd	19	8.4 de	16	30.1 cd
22	7.8 cd	24	8.0 de	20	30.0 cd
19	7.7 de	18	7.8 ef	21	29.3 d
21	7.3 de	21	7.5 f	23	29.1 d
20	7.1 e	20	7.4 f	22	28.1 d

- a. Parcela no. 15 = *B. decumbens* viejo + paja; fertilidad baja; carga alta; biomasa seca: 310 g/m²; MS: 42%.
 Parcela no. 16 = *B. dictyoneura* + *Stylosanthes capitata*; fertilidad baja; carga alta; biomasa: 272 g/m²; MS: 59%.
 Parcela no. 17 = *B. dictyoneura* puro; fertilidad baja; carga media; biomasa: 217 g/m²; MS: 38%.
 Parcela no. 18 = *B. dictyoneura* + *Centrosema acutifolium*; fertilidad alta; carga media; biomasa: 378 g/m²; MS: 43%.
 Parcela no. 19 = *B. dictyoneura* + *Stylosanthes capitata*; fertilidad baja; carga alta; biomasa: 336 g/m²; MS: 47%.
 Parcela no. 20 = *B. dictyoneura* + *Stylosanthes capitata*; fertilidad baja; carga baja; biomasa: 241 g/m²; MS: 45%.
 Parcela no. 21 = *B. dictyoneura* + *Stylosanthes capitata*; fertilidad baja; carga media; biomasa: 323 g/m²; MS: 45%.
 Parcela no. 22 = *B. dictyoneura* + *Stylosanthes capitata*; fertilidad baja; carga alta; biomasa: 451 g/m²; MS: 41%.
 Parcela no. 23 = *B. dictyoneura* puro; fertilidad baja; carga media; biomasa: 99 g/m²; MS: 66%.
 Parcela no. 24 = *B. dictyoneura* + *Centrosema acutifolium* de más de un año; biomasa: 286 g/m²; MS: 38%.
- b. Promedios con letras iguales (en las columnas) no son estadísticamente diferentes según la Prueba de Duncan, a nivel del 5%.

Cuadro 6-6. Comparación del reflejo de *Brachiaria dictyoneura* de 1 año de edad sembrado en un suelo arcilloso y sometido a diferentes manejos (observaciones de octubre).

Reflejo en la banda:					
Verde (XS1)		Rojo (XS2)		Infrarrojo cercano (XS3)	
Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b
41	9.6 a	38	10.8 a	43	36.5 a
39	9.4 a	41	10.2 a	39	36.0 ab
38	9.4 a	42	9.9 a	42	34.4 abc
42	9.2 ab	39	9.7 a	36	34.0 abc
36	9.0 ab	36	9.5 a	41	33.3 bc
43	9.0 ab	37	9.5 a	40	32.3 c
37	8.3 bc	43	9.4 a	38	28.0 d
40	7.6 c	40	7.7 b	37	27.8 d

- a. Parcela no. 36 = *B. dictyoneura* + *Arachis pintoï*; fertilidad baja; carga baja; biomasa seca: 211 g/m²; MS: 48%.
Parcela no. 37 = *B. dictyoneura* + *Arachis pintoï*; fertilidad intermedia; carga alta; biomasa: 318 g/m²; MS: 52%.
Parcela no. 38 = *B. dictyoneura* puro; fertilidad baja; carga media; biomasa: 318 g/m²; MS: 46%.
Parcela no. 39 = *B. dictyoneura* + *C. acutifolium*; fertilidad baja; carga media; biomasa: 260 g/m²; MS: 43%.
Parcela no. 40 = *B. dictyoneura* + *C. acutifolium*; fertilidad baja; carga media; biomasa: 250 g/m²; MS: 42%.
Parcela no. 41 = *B. dictyoneura* + *C. acutifolium*; fertilidad baja; carga alta; biomasa: 251 g/m²; MS: 42%.
Parcela no. 42 = *B. dictyoneura* + *C. acutifolium*; fertilidad baja; carga alta; biomasa: 578 g/m²; MS: 69%.
Parcela no. 43 = *B. dictyoneura* puro; fertilidad baja; carga media; biomasa: 298 g/m²; MS: 40%.
- b. Promedios con letras iguales (en las columnas) no son estadísticamente diferentes según la Prueba de Duncan, a nivel del 5%.

Cuadro 6-7. Comparación del reflejo de diferentes tipos de sabana nativa (observaciones hechas en octubre).

Reflejo en la banda:					
Verde (XS1)		Rojo (XS2)		Infrarrojo cercano (XS3)	
Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b
33	9.7 a	33	11.5 a	12	33.5 a
28	8.8 b	28	9.3 b	28	32.5 ab
26	8.2 bc	26	9.2 b	26	30.3 b
14	7.8 c	14	8.6 b	14	29.6 b
12	6.7 d	12	8.0 c	33	29.4 b
11	5.9 d	11	6.7 d	11	26.0 c

- a. Parcela no. 11 = Sabana nativa (bajo) de más de 1 año. Biomasa seca: 325 g/m²; MS: 55%.
Parcela no. 12 = Sabana nativa de más de 1 año. Biomasa: 235 g/m²; MS: 51%.
Parcela no. 14 = Sabana nativa de más de 1 año. Biomasa: 408 g/m²; MS: 63%.
Parcela no. 26 = Sabana nativa de más de 1 año. Biomasa: 187 g/m²; MS: 52%.
Parcela no. 28 = Sabana nativa de más de 1 año. Biomasa: 225 g/m²; MS: 48%.
Parcela no. 33 = Sabana nativa de 3 meses, después de la quema. Biomasa: 55 g/m²; MS: 43%.
- b. Promedios con letras iguales (en las columnas) no son estadísticamente diferentes según la Prueba de Duncan, a nivel del 5%.

Cuadro 6-8. Comparación del reflejo de la sabana nativa después de la quema y sin quema (observaciones de octubre).

Reflejo en la banda:					
Verde (XS1)		Rojo (XS2)		Infrarrojo cercano (XS3)	
Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b
31	9.8 a	31	11.5 a	31	34.8 a
33	9.7 a	33	11.5 a	32	30.9 b
32	9.4 a	32	10.7 a	33	29.4 b

- a. Parcela no. 31 = Sabana nativa de 6 meses (después de la quema). Biomasa seca: 87 g/m²; MS: 39%.
 Parcela no. 32 = Sabana nativa de más de 1 año (sin quema). Biomasa: 310 g/m²; MS: 67%.
 Parcela no. 33 = Sabana nativa de 3 meses. Biomasa: 55 g/m²; MS: 43%.
- b. Promedios con letras iguales (en las columnas) no son estadísticamente diferentes, según la Prueba Duncan, a nivel del 5%.

Cuadro 6-9. Comparación del reflejo de sabanas nativas con diferentes manejos (observaciones hechas en octubre).

Reflejo en la banda:					
Verde (XS1)		Rojo (XS2)		Infrarrojo cercano (XS3)	
Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b	Parcela (no.) ^a	Porcentaje ^b
44	9.1 a	46	9.7 a	46	35.7 a
45	8.9 a	45	9.7 a	45	32.8 b
48	8.1 b	44	9.2 a	44	32.6 b
46	7.6 bc	47	8.0 a	47	28.8 c
47	7.3 c	48	7.9 b	48	24.5 d

- a. Parcela no. 44 = Sabana nativa de 2 a 3 meses (después de la quema). Altura: 30-40 cm; biomasa seca: 50 g/m²; MS: 38%; carga: 0.5 an./ha.
 Parcela no. 45 = Sabana nativa de más de 1 año. Altura: 90 cm; biomasa: 280 g/m²; MS: 57%; carga: menos de 0.2 an./ha.
 Parcela no. 46 = Sabana nativa de más de 1 año. Altura: 110 cm; biomasa: 327 g/m²; MS: 52%; carga: 0.5 an./ha.
 Parcela no. 47 = Sabana nativa de más de 1 año. Altura: 110 cm; biomasa: 322 g/m²; MS: 54%; carga: 0.2 an./ha.
 Parcela no. 48 = Sabana nativa de 3 meses. Altura: 50 cm; biomasa: 70 g/m²; MS: 38%; carga: 0.2 an./ha.
- b. Promedios con letras iguales (en las columnas) no son estadísticamente diferentes, según la Prueba Duncan, a nivel del 5%.

(Cuadros 6-7, 6-8 y 6-9). Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Tanto las parcelas de especies cultivadas como de nativas recibieron una clasificación, en las bandas XS1 y XS2, prácticamente idéntica; este resultado confirma la fuerte correlación existente entre estas dos bandas. Esta clasificación fue muy diferente en el IR cercano que en las otras dos

bandas, y lo fue para todos los tipos de vegetación.

- Las diferentes especies cultivadas (Cuadro 6-4) presentan diferencias de reflejo, en las bandas del espectro visible, no muy importantes aunque significativas. Se notó que *B. humidicola* tiene un débil reflejo y que *B. decumbens* tiene un fuerte reflejo. En el IR

cercano, el orden de clasificación es diferente del visible, aunque también en esta banda *B. humidicola* da el reflejo más débil.

- La comparación de los reflejos que da *B. dictyoneura* en suelo arenoso, después de recibir diversos tratamientos (fertilización y cargas), y tanto en asociación como no asociada con una leguminosa, indica lo siguiente:
 - En el espectro visible, la gramínea pura da un reflejo relativamente más fuerte que asociada con una leguminosa.
 - La gramínea *B. dictyoneura*, asociada con la leguminosa *S. capitata* y sometida a la carga más baja, tiene el reflejo más débil registrado en el espectro visible; el incremento de la carga trae consigo un aumento de ese reflejo.
 - El reflejo en el IR cercano no parece estar relacionado con el manejo de las parcelas; lo está, probablemente, con factores que no fueron muestreados, como el agua, el porcentaje de cobertura, la estructura de la vegetación (es decir, hábito y porte de las plantas, leñosidad, diversidad).
- Las observaciones hechas respecto a los datos del Cuadro 6-5 no son válidas para el suelo arcilloso (Cuadro 6-6). Se observa, de otra parte, que la amplitud de la reflectancia en las tres bandas del espectro es menor si proviene de este tipo de suelo.
- En lo que concierne a la vegetación nativa, observamos lo siguiente:
 - grandes amplitudes de reflectancia (en cualquiera de las tres bandas del espectro);

- no hay relación evidente entre reflectancia, biomasa en pie (viva o muerta) o contenido de agua de la biomasa, un resultado que confirma los datos del Cuadro 6-8.

Discusión

Se han obtenido datos de radiometría terrestre que permiten agrupar o *discriminar estadísticamente* los diferentes tipos de vegetación nativa y los cultivos forrajeros, así como los tratamientos o el manejo diferente (fertilización, fuego, carga animal) que unos y otros hayan recibido.

Esta discriminación no es siempre posible, especialmente en relación con la vegetación nativa (Cuadro 6-8) o con la vegetación que tenga diferentes edades, es decir, cuya biomasa y contenido de agua sean muy diferentes. No fue posible diferenciarlas estadísticamente en ninguna de las tres bandas del espectro, sobre todo en la época de lluvias.

Los cultivos forrajeros, en cambio, pueden discriminarse más fácilmente mediante la combinación de los datos obtenidos en las tres bandas y de las observaciones hechas en la época de lluvias y en la época seca.

Las causas de las diferencias en reflectancia no son siempre fáciles de explicar, particularmente de la reflectancia obtenida en la banda del IR cercano. Para tratar de encontrar una explicación, hemos medido algunos parámetros, como las especies dominantes, la altura de la vegetación, la biomasa en pie y su contenido de agua o de M.S., el estado fenológico de la especie vegetal, la carga animal, la fertilización, la edad de la vegetación (época de la quema), y el tipo de suelo.

En los Cuadros 6-1, 6-2 y 6-3 (última columna) hemos clasificado la vegetación según los grupos

establecidos por Benoit et al. (1988). Estos grupos o clases se adaptan bastante bien a nuestros datos y observaciones (Cuadros 6-1 y 6-2). En la clase D, en que aparecen inflorescencias, pueden incluirse, para nuestro estudio, los cultivos forrajeros invadidos por malezas (generalmente, poáceas en floración) y las sabanas jóvenes en la época de lluvias y en estado de floración, unos 5 meses después de la quema (Cuadro 6-4).

Los cultivos forrajeros son difíciles de clasificar, en este caso, cuando tienen un buen porcentaje de M.S. en pie o en el suelo y una carga animal grande tanto en la época seca como en la lluviosa; los datos de las bandas son V débil, R fuerte e IR intermedio para *B. humidicola* y V fuerte, R fuerte e IR intermedio para *B. decumbens*.

Algunos factores tienen un papel evidente en el reflejo, aunque otros parecen menos importantes. Al final del estudio se percibió la falta de algunas observaciones. Se ha podido observar, o deducir, por ejemplo, que la edad o el manejo de la vegetación son importantes por el aspecto de la clorofila (reflejo en las bandas verde y roja del espectro visible) en los cultivos forrajeros pero no en la vegetación nativa. En ésta, al parecer, la cobertura del suelo desempeña un papel muy importante en la banda visible del IR cercano; este factor (la cobertura) no fue observado con suficiente precisión y no pueden extraerse aún conclusiones más precisas.

La edad de las plantas y la biomasa aérea no muestran correlación en el reflejo medido en la banda del IR cercano, en las especies del género *Brachiaria* (Cuadro 6-4); sin embargo, parece que hay una correlación entre ellas respecto al contenido de M.S. Esta correlación negativa no apareció en las observaciones hechas en *B. dictyoneura* (Cuadros 6-5 y 6-6).

El reflejo observado en el IR cercano no parece estar relacionado tampoco con el manejo de las parcelas (Cuadros 6-5, 6-6 y 6-9), aunque hay cierta relación con factores no medidos en este estudio, como la cobertura o la estructura de la vegetación. El ACP de la Figura 6-1 confirma esta observación.

No parece que haya buena correlación entre la reflectancia y las características observadas o medidas (biomasa seca, porcentaje de M.S., edad de las plantas y otras). No obstante, se notó lo siguiente en los grupos constituidos:

- El Grupo 1 está formado por pasturas de biomasa importante.
- El Grupo 2 contiene la sabana nativa joven después del fuego (biomasa débil).
- El Grupo 3 contiene la sabana joven o de cultivos degradados con débil cobertura; este grupo sería muy importante para inventariar las zonas degradadas en que aparece el suelo desnudo y estudiarlas luego.
- El Grupo 4 está integrado por cultivos forrajeros jóvenes en que se mezclan gramíneas y leguminosas.
- El Grupo 5 contiene parcelas cultivadas en que hay hasta un 50% de suelo descubierto.
- Los Grupos 6 y 8 están conformados, principalmente, por parcelas en que hay una mezcla de gramínea y leguminosa; son bastante parecidas a las del Grupo 4, pero difíciles de distinguir por las observaciones hechas en el campo o por el manejo.
- El Grupo 7 contiene únicamente parcelas de sabana; el Grupo 9 contiene parcelas de cultivos

forrajeros y por ello las reflectancias son idénticas en las tres bandas.

- El Grupo 10, por último, tiene dos parcelas sembradas con *Andropogon gayanus*, que poseen una estructura y una fisonomía particular: hierbas altas muy verdes, en varios estratos.

Conclusiones

- La radiometría terrestre debe hacerse al mismo tiempo que las observaciones de satélite para que éstas puedan clasificarse mejor; así podrán elaborarse bien los mapas que muestren vegetación nativa y cultivos (de especies forrajeras y otros).
- La radiometría terrestre es también una herramienta indispensable para conocer bien la vegetación y poderla clasificar. Tiene, sin embargo, límites respecto a la clasificación de la vegetación nativa; los especialistas deben, por tanto, mostrarse prudentes en la interpretación de datos de satélite y evitar interpretaciones erradas.
- A nivel terrestre, es necesario estudiar grandes superficies (más de 5 ha) con buen contraste en cuanto a especies sembradas, época de floración, estructura de la vegetación, manejo de las parcelas, cobertura del suelo y otros factores. Estas características pueden tener una fuerte influencia en el reflejo de la superficie y afectarán, por tanto, la relación que se establezca entre las observaciones terrestres y las obtenidas por el satélite.

Bibliografía

- Benoit M.; Girard C. M.; de Vaubernier E. 1988. Comparaison du comportement spectral de prairies permanentes en Lorraine avec leur type d'utilisation. *Agronomie* 8(3):265-272.
- Benoit M.; Thomas J. F.; Girard C. M. 1991. Détermination d'un niveau de sécheresse sur des couverts prairiaux à partir des valeurs radiométriques visible et proche infrarouge. C. R. Acad. Sci. Paris, tomo 313, serie III, p. 281-285.
- Blydenstein J. 1967. Tropical savanna of the Llanos of Colombia. *Ecology* 48(1): 1-15.
- Escobar E.; Belalcázar J.; Ripstein G. 1993. Clave de las principales plantas de sabana de la Altillanura de los Llanos Orientales en Carimagua, Meta, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 92 p.
- Girard C. M. 1987. Spectral and botanical classification of grasslands: Auxois example. *Adv. Space Res.* 7(11):67-70.
- Girard C. M.; Benoit M. 1990. Méthode de cartographie des prairies permanentes: application à la Lorraine sur données SPOT. C. R. Acad. Sci. Paris tomo 310, serie III, p. 461-464.
- Girard C. M.; Benoit M.; Vaubernier E. de; Curran P. J. et al. 1990. SPOT HRV data to discriminate grassland quality. *Int. J. Remote Sens.* 11(12):2253-2267.
- Girard M. C.; Girard C. M. 1989. Télédétection appliquée: Zones tempérées et intertropicales. Collège de Sciences Agronomiques, Masson, Paris, Francia. 260 p.

- Grollier C. 1994. Caractérisation des savanes d'une région des Llanos Orientaux de Colombie. Trabajo final de estudios. ISTOM y École d'Agro-développement International, Cergy-Pontoise, Francia.
- Lalemand C.; Legendre G. 1984. Notion de variables indépendantes en télédétection en fonction du type de paysage. En: Second coll. international de signatures spectrales d'objets en télédétection, Burdeos, septiembre de 1983. Ed. INRA. p. 801-804.
- SAS Institute Inc. 1990. SAS o Statistics User's guide. Versión 6, vol. 2. 4a. ed. Cary, NC, E. U.
- Spain J. M. 1979. Establecimiento y manejo de pastos en los Llanos Orientales de Colombia. En: Sánchez P. A.; Tergas L. E. (eds.). Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos: Memorias de un taller celebrado en CIAT, Cali, Colombia, abril 1978. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 181-189.
- Vera R.; Seré C. 1985. Sistemas de producción pecuaria extensiva; Brasil, Colombia, Venezuela. Informe final del Proyecto ETES (Estudio Técnico y Económico de Sistemas de Producción Pecuaria 1978-1982). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 215-225.

CAPÍTULO 7

La Macrofauna del Suelo en la Sabana Bien Drenada de los Llanos Orientales

T. Decaëns^{*ψ}, *J. J. Jiménez*^{**}, *****, *A. F. Range*^{***},
A. Cepeda^{**}, *A. G. Moreno*^{**} y *P. Lavelle*^ψ

Resumen

Las lombrices, las termitas y las hormigas son, generalmente, los tres componentes dominantes de las comunidades de macrofauna en las sabanas nativas y en los bosques de galería del Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua, situado en los Llanos Orientales, Meta, Colombia. Estos componentes se consideran como ingenieros del ecosistema que pueden actuar como grupos funcionales clave y afectar significativamente algunos procesos relacionados con la fertilidad del suelo.

Las actividades de estos organismos conducen a la creación de estructuras biogénicas, las cuales influyen en la agregación, las propiedades hidráulicas y la dinámica de la materia orgánica del suelo. Dichas estructuras influyen, a su vez, en la composición, la abundancia y la diversidad de otros organismos del suelo. La abundancia y la diversidad de los macroinvertebrados del suelo son

factores importantes en la sostenibilidad de la producción primaria de la sabana nativa y de los agroecosistemas derivados de ella.

Las comunidades de macroinvertebrados responden a las diversas intervenciones humanas realizadas en el medio ambiente del modo siguiente: (1) Los sistemas tradicionales de ganadería extensiva tienen un impacto despreciable sobre ellas. (2) Los cultivos anuales causan una reducción dramática de las comunidades de macrofauna del suelo. (3) Las pasturas introducidas y los cultivos arbóreos mantienen la cobertura herbácea del suelo y favorecen el desarrollo de una biomasa importante de lombrices nativas de la sabana. Investigar el manejo conservativo de la macrofauna del suelo es una etapa importante del trabajo de sostenibilidad y durabilidad de los agroecosistemas tropicales.

Introducción

En el trópico húmedo, los macroorganismos del suelo (raíces e invertebrados de tamaño mayor que 2 mm) desempeñan un papel clave en los procesos que determinan la fertilidad del suelo, ya que regulan la disponibilidad de nutrientes asimilables para las plantas y la estructura del suelo. Las esferas de actividad de estos

* Laboratoire d'Ecologie, UFR Sciences, Université de Rouen, F-76821 Mont Saint Aignan, Francia.

** Departamento de Biología Animal I (Zoología), Facultad de Biología, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.

*** Unidad de Suelos y Nutrición de Plantas, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

ψ Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux, IRD, F-93143 Bondy, Francia.

organismos se han definido como los sistemas de regulación biológica del suelo, los cuales están constituidos por una fuente de energía (materia orgánica, M.O.), una población de descomponedores (microorganismos) y una población de reguladores (macroorganismos) (Lavelle et al. 1992). Estos sistemas de regulación se distinguen según la naturaleza de los macroorganismos implicados: el sistema artrópodos de la hojarasca y raíces superficiales, la rizosfera para las raíces; la drilosfera, para las lombrices; y la termitosfera, para las termitas.

Ciertos organismos del suelo, principalmente las lombrices, las termitas y las hormigas, se han definido como ingenieros del ecosistema (Jones et al. 1994; Lavelle 1996). Estos producen estructuras (turrículos, nidos y galerías) por medio de las cuales pueden modificar el ambiente donde viven, causando dos efectos contrastantes en la descomposición y la dinámica de la M.O. (Lavelle 1996):

- aceleran, por un lado, su velocidad de reciclamiento, lo que facilita la actividad microbiana;
- favorecen, por otro, su conservación a largo plazo porque la inmovilizan en estructuras biogénicas estables en el tiempo.

Se han establecido también relaciones entre las actividades de los ingenieros del ecosistema y la formación y el mantenimiento de la estructura del suelo. Finalmente, influyen en las condiciones de vida de otras comunidades de organismos del suelo, más pequeños o menos móviles, y determinan su abundancia y su estructura. Por lo tanto, la diversidad y la abundancia de las comunidades de macroinvertebrados y la importancia relativa de los grupos de organismos de mayor interés pueden ser utilizados

como indicadores de la calidad del suelo (Stork y Eggleton 1992).

Las actividades de la macrofauna afectan, a veces de manera considerable, el crecimiento de las plantas (Brown et al. 1999). Pueden ser también vectores de microorganismos simbióticos de las plantas, como los fijadores de nitrógeno o los hongos de micorriza, o pueden digerir, de manera selectiva, microorganismos patógenos (Brown 1995). En los ecosistemas naturales, las lombrices y las hormigas afectan también a la dinámica de la vegetación, ya que pueden influir, de manera selectiva, en la diseminación de las semillas y en la composición de los bancos de semilla del suelo (Klaus and Delascio 1991; Thompson et al. 1994; Willems y Huijsmans 1994).

Desde el año 1993, la Unión Europea, a través del Proyecto Macrofauna, colabora con el CIAT y la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, en el estudio de la macrofauna del suelo en diferentes lugares de Colombia. Se prestó una atención especial a las lombrices de tierra por su función clave en los procesos que determinan la fertilidad de los suelos de las sabanas intertropicales (Lavelle 1983b). Se hicieron, por tanto, varios trabajos de investigación en los Llanos Orientales con el fin de identificar los agroecosistemas que conservan, en forma sostenible, las comunidades de macroinvertebrados del suelo. Algunos de los objetivos específicos del estudio fueron: describir las comunidades nativas de macroinvertebrados, definir sus funciones en el ecosistema, y evaluar su respuesta a las perturbaciones inducidas por las actividades humanas.

Zona de Estudio

Los estudios se realizaron en el CNIA Carimagua (CORPOICA-CIAT),

localizado en el municipio de Puerto Gaitán, Meta, a 175 m.s.n.m. La precipitación anual es de 2250 mm y la temperatura media anual de 26 °C (datos del CIAT), con una época seca bien definida de diciembre a marzo. Los ensayos se realizaron principalmente en suelos de tipo Oxisol (clasificación USDA) y en algunos Ultisoles que corresponden a la selva de galería. Son suelos de textura arcillo-limosa, bien estructurados y caracterizados por su baja fertilidad química (acidez y saturación de aluminio altas, bajo contenido de fósforo y de calcio, y baja capacidad de intercambio catiónico) (Cuadro 7-1).

El tipo de vegetación está determinado por la topografía del paisaje. A los lados de los ríos y en las depresiones (los bajos), se encuentran los bosques de galería dominados por las especies *Mauritia minor* Burr. (el moriche), *Protium tenuifolium* Engl. (el aníme), *Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nichols. (el cañaguaté), *Brosimum* sp. (el guáimaro), *Spondias mombin* L. (el hobo) e *Himatanthus articulata* Vahl. (el platanote) (FAO 1996). Las partes más altas (altos, planos y bancos) están cubiertas por formaciones vegetales de sabana abierta dominadas por las especies *Trachypogon vestitus* Anders. (la saeta peluda), y los pastos *Andropogon bicornis* L., *Gymnopogon* sp. e *Imperata* sp. (Rippstein et al. 1994; Torrijos et al. 1994).

Comunidades de Macroinvertebrados en Formaciones Vegetales Nativas

La caracterización de la estructura de las comunidades de macroinvertebrados en las formaciones vegetales nativas es de gran interés científico porque es necesario establecer el papel que dichas comunidades presentan en el funcionamiento del ecosistema. Este

estudio permite también hacer una estimación de la calidad de los suelos y de su susceptibilidad a la degradación, cuando son usados para la producción agrícola, porque la macrofauna edáfica es indicador de la calidad del suelo, como se dijo antes (Lavelle 1996; Stork y Eggleton 1992).

Bosque de galería

La comunidad de macroinvertebrados del bosque de galería de Carimagua presentó una densidad comparable a la que generalmente se observa en las selvas húmedas tropicales (Cuadro 7-2), aunque su biomasa fue inferior a la de éstas (Decaëns et al. 1994). Esta diferencia se explica, principalmente, por la presencia de especies de lombrices de tamaño reducido, abundantes en términos de densidad pero que arrojan una biomasa baja relativa (Fragoso y Lavelle 1992). Los habitantes del mantillo o de los primeros 10 cm del suelo, que son transformadores de la hojarasca según Lavelle (1996), son el componente dominante de las comunidades de macroinvertebrados (Figura 7-1). En efecto, de la biomasa total, el 40% está compuesto por artrópodos epigeos y 4 de las 7 especies de lombrices presentes en los bosques de Carimagua pertenecen a esta misma categoría ecológica (Jiménez et al. 1995). La variedad de microhábitats, de hojarasca, troncos descompuestos y corteza de los árboles favorece también la diversidad taxonómica alta de las comunidades de macroinvertebrados.

Sabana nativa

La sabana nativa sin manejo presenta poblaciones de macroinvertebrados dominadas por los grupos endógeos y anécicos (Bouché 1977), principalmente, las termitas y las lombrices de tierra (Decaëns et al. 1994; Jiménez et al. 1995). Los grupos de invertebrados epigeos, que dependen más

Cuadro 7-1. Principales propiedades físicas y químicas de los Oxisoles de la región de Carimagua, en la Altiplanura Plana, Colombia.

Prof. (cm)	Horizonte	Arcillas		Arenas		Limos		pF 2.5 (1)	pF 4.2 (2)	C (%)	M.O. (%)	pH (KCl) 1N	ppm					Sat. Al (%)
0-14	Ap	35.9	9.5	54.6	31.8	15.4	1.49	4.36	3.7	0.16	0.06	0.05	0.20	2.74	2.08	90		
14-36	AB	36.7	6.9	56.4	31.2	12.1	0.71	3.01	4.0	0.11	0.04	0.03	0.10	2.12	1.11	92		
36-80	B01	40.5	7.1	52.4	35.6	12.4	1.01	1.60	4.2	0.10	0.03	0.02	0.20	1.05	0.78	86		
80-108	B02	31.3	6.1	62.6	35.2	13.9	0.40	1.60	4.3	0.10	0.03	0.02	0.10	1.05	0.78	86		

FUENTE: Jiménez et al. 1995.

Cuadro 7-2. Biomasa (B, g/m²), densidad (D, ind./m²) y riqueza taxonómica (R) de la macrofauna del suelo en ecosistemas de sabana nativa y de selva tropical.

Localidad	Tipo de vegetación	Lombrices			Termitas			Hormigas			Macrofauna			Referencias
		D	B	% B total	D	B	% B total	D	B	% B total	D	B	R	
Carimagua (Colombia)	Sabana herbácea	157	4.8	31	1955	7.1	46	472	1.0	7	2830	15.3	29	Decaëns et al. 1994
Matazul (Colombia)	Sabana herbácea	49	3.5	36	1525	2.4	25	213	0.4	4	2030	9.6	26	Schneidmal y Decaëns 1995
Lamto (Costa de Marfil)	Sabana herbácea	230	49.0	91	910	1.9	4	500	2.0	4	2015	53.8	—	Lavelle 1983
Carimagua (Colombia)	Selva de galería	251	4.7	35	2806	2.5	18	862	1.0	7	4293	13.6	35	Decaëns et al. 1994
Yurimaguas (Perú)	Selva tropical	103	19.8	51	3405	7.7	20	423	0.7	2	4201	39.6	27-41	Lavelle y Pashanasi 1989
Costa de Marfil	Selva tropical	171	52.3	70	—	—	—	—	—	—	5747	74.2	—	Gilot et al. 1995
Laguna Verde (México)	Selva tropical	132	9.8	29	500	1.1	3	1400	1.6	5	3011	33.6	—	Lavelle 1983

específicamente de las capas de hojarasca de los bosques, no encuentran en la sabana un medio favorable para establecer poblaciones importantes. Por esta razón, la distribución vertical de la macrofauna tiende hacia los horizontes más profundos (Cuadro 7-2; Figura 7-1). La biomasa, tanto de la macrofauna en su totalidad como de las lombrices, es baja en comparación con los datos obtenidos en las sabanas africanas (Kouassi 1987; Lavelle 1978; Lavelle 1983a; Lavelle 1983b; Lavelle et al. 1992). Las termitas, por su parte, están muy bien establecidas en este medio y representan más del 45% de la biomasa total de macroinvertebrados frente al 30% que corresponde a las lombrices de tierra.

Estos resultados demuestran la riqueza de la fauna edáfica en los ecosistemas de sabana natural intertropical y el papel predominante de las termitas y las lombrices de tierra en el suelo. Sin embargo, falta todavía ampliar estos conocimientos y llegar a una buena caracterización de la macrofauna de los Llanos Orientales de Colombia, ya que hay variabilidad dentro de un mismo tipo de vegetación (Cuadro 7-2) (Schneidmadl y Decaëns

1995). Hasta ahora ningún estudio ha descrito los macroinvertebrados de otros tipos de suelo y de vegetación, como las regiones de suelos arenosos (serranía de la Altillanura ondulada) o de suelos mal drenados, muy frecuentes en la Orinoquia colombiana (Cochrane et al. 1985).

Lombrices de Tierra de la Sabana Nativa

Especies, diversidad y equitatividad

Las lombrices son el componente predominante de la macrofauna del suelo en las sabanas nativas o manejadas de Carimagua (Decaëns et al. 1994). Desempeñan, además, junto con las termitas, un papel clave en los procesos de fertilidad del suelo (Lavelle et al. 1992). La caracterización de la diversidad y ecología de estos grupos es una etapa indispensable para conocer sus funciones en el suelo (Lavelle 1996).

En todos los tipos de vegetación de Carimagua se encontraron 21 especies de lombrices de tierra (Cuadro 7-3); las

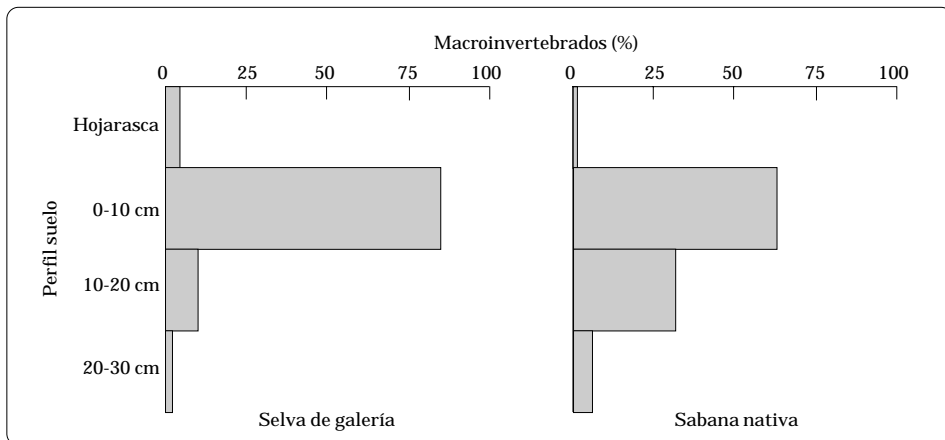


Figura 7-1. Distribución vertical promedio de la macrofauna del suelo en los ecosistemas nativos estudiados durante la época lluviosa, en Carimagua, Llanos Orientales.

FUENTE: Decaëns et al. (1994).

Cuadro 7-3. Lista de las especies encontradas en diferentes ecosistemas naturales y disturbados de Carimagua, Llanos Orientales, Colombia.^a

Especies	Familia	Ecosistemas nativos	Agrosistemas	Categoría ecológica	Biomasa en sabana	Biomasa total (%)
<i>Andiodrilus</i> n. sp. 1	Glossoscolecidae	SN, SG	PM, CA, MC	Endógea	0.81	16.8
<i>Andiorrhinus</i> n. sp. 1	Glossoscolecidae	SN	PM, CA	Endo-anécica	0	—
<i>Aymara</i> n. sp.	Glossoscolecidae	SN, SG	PM, CA	Epígea	0.25	5.2
<i>Glossodrilus</i> n. sp. 1	Glossoscolecidae	SN, SG	PM, CA, MC	Endógea	3.04	63.2
<i>Martiodrilus carimaguensis</i>	Glossoscolecidae	SN	PM, CA, MC	Anécica	0.47	9.8
Ocnerodrilidae n. sp.	Ocnerodrilidae	SN	PM, CA, MC	Endógea	0.24	4.5
<i>Dichogaster</i> n. sp.	Octochaetidae	SN	PM, CA	Epígea	0	—
<i>Andiodrilus</i> n. sp. 2	Glossoscolecidae	SG	—	Endógea	—	—
<i>Andiorrhinus</i> n. sp. 2	Glossoscolecidae	SN	—	Endo-anécica	0.06	0.5
<i>Rhinodrilus</i> n. sp.	Glossoscolecidae	—	CA	Endógea	—	—
<i>Pontoscolex corethrurus</i>	Glossoscolecidae	—	CA	Endógea	—	—
<i>Pontoscolex</i> n. sp.	Glossoscolecidae	SG	CA	Endógea	—	—
<i>Pheretima</i> sp.	Megascolecidae	—	CA	Epígea	—	—
<i>Glossodrilus</i> n. sp. 2	Glossoscolecidae	SN ^b	—	Endógea	—	—
<i>Dichogaster</i> sp. 2	Octochaetidae	SG	—	Epígea	—	—
Epígea 1	Glossoscolecidae	SG	—	Epígea	—	—
Epígea 2	Glossoscolecidae	SG	—	Epígea	—	—
Epígea 3	Sin identificar	SG	—	Epígea	—	—
<i>Martiodrilus</i> sp.?	Glossoscolecidae	SG	—	Anécica	—	—
Especie 1	Sin identificar	SG	—	Epígea	—	—
Especie 2	Sin identificar	SG	—	Epígea	—	—

a. SN = sabana nativa; SG = selva de galería; PM = pastura mejorada (*Brachiaria decumbens* + *Pueraria phaseoloides*; *B. humidicola* + *Arachis pintoii*); CA = cultivo arbóreo; MC = monocultivo anual; B = biomasa en g/m² de peso fresco.

b. Sabana de suelo arenoso, frente al hato Yopare.

FUENTE: Jiménez et al. 1995.

8 halladas en la sabana eran especies nativas y nuevas para la ciencia (Jiménez y Moreno, sin publicar Jiménez et al. 1998b). Las especies nativas de los Llanos Orientales fueron dominantes y únicamente dos especies, *Pontoscolex corethrus* Müller (Glossoscolecidae) y *Pheretima* sp. (Megascolecidae), se consideraron exóticas porque no se hallaron en los ecosistemas naturales.

La diversidad de las lombrices de la sabana se cuantificó según los índices λ de Simpson y H de Shannon a partir de los valores de biomasa, como sugieren algunos autores (Hurlbert 1971; Barbault 1992). En la sabana, el valor obtenido para el índice de Simpson fue 0.40, mientras que para el de Shannon fue 1.13; la equitatividad (Pielou 1975) fue 0.54. Estos valores muestran la desigual contribución que cada una de las especies aporta a la biomasa total de lombrices.

La comunidad de lombrices de las sabanas de Carimagua se caracteriza por la presencia de especies de tamaño variable. Tanto a nivel taxonómico como a nivel funcional, la diversidad de lombrices está dentro del rango encontrado en otros lugares tropicales (Fragoso 1993). Las especies pertenecen a grupos funcionales distintos (Bouché 1972; Lavelle 1981), lo que permite a la comunidad aprovechar diferentes fuentes de energía. Las epígeas, por ejemplo, consumen exclusivamente hojarasca, las endógeas M.O. del suelo y las anécicas una mezcla de los dos sustratos. En general, la diversidad taxonómica y funcional de la comunidad de macroinvertebrados produce efectos diversos en los diferentes compartimentos edáficos y permite, de esta manera, regular al máximo los procesos de fertilidad del suelo.

Densidad, biomasa y estructura de la comunidad

La densidad media anual de lombrices obtenida en la sabana fue de 114.5 ind./m²; el valor mínimo obtenido fue de 20.4 ind./m² (en la época seca) y el máximo de 292.4 ind./m² (en mitad de la época lluviosa). La biomasa media anual fue de 4.8 g/m² y los valores extremos fueron 1.2 g/m², obtenidos al inicio de la época seca en enero, y 15.7 g/m² en la época de lluvias en julio (Jiménez J. J., datos corregidos, sin publicar).

En la sabana, las especies endógeas fueron las más abundantes, tanto en términos de densidad como de biomasa. El 88.3% de la densidad total de lombrices corresponde a las especies endógeas: *Andiodrilus* n. sp., *Andiorrhinus* n. sp., *Glossodrilus* n. sp. y *Ocnerodrilidae* n. gen. (Cuadro 7-4). El 11.5% proviene de la especie epígea *Aymara* n. sp. y sólo el 0.3% corresponde a la especie anécica *Martiodrilus carimaguensis*.

La densidad y la biomasa de las lombrices son máximas al inicio de la época lluviosa, de mayo a agosto, y mínimas en la época seca, de diciembre a marzo (Figura 7-2). Dos especies endógeas, una polihúmica (Lavelle 1981), *Glossodrilus* n. sp., y una mesohúmica, *Andiodrilus* n. sp., dominan la comunidad en cuanto a la biomasa total (63.2% y 16.8%, respectivamente). Casi un 10% de la biomasa total se atribuye a *M. carimaguensis*, especie interesante desde el punto de vista ecológico (Jiménez et al. 1998a), ya que su gran tamaño le permite ingerir cantidades considerables de suelo que deposita luego en heces superficiales grandes. Estas heces, llamadas turrículos, influyen en diversos procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Decaëns et al. 1999a; 1999b).

Cuadro 7-4. Densidad, biomasa y tamaño medio de los adultos de algunas especies de sabana, Colombia (media \pm desviación típica). PF = peso fresco.

Especie	Densidad (no./m ²)	Biomasa, PF (g/m ²)	Longitud (mm)	Peso (g)
<i>Andiodrilus</i> n. sp.	2.3 \pm 0.7	0.81 \pm 0.31	109 \pm 9.8	1.30 \pm 0.3
<i>Andiorrhinus</i> n. sp.	— ^a	—	188 \pm 27.6	7.1 \pm 2.1
<i>Aymara</i> n. sp.	13.1 \pm 12.5	0.25 \pm 0.2	49.6 \pm 8.2	0.05 \pm 0.01
<i>Glossodrilus</i> n. sp.	50.1 \pm 37.6	3.04 \pm 3.0	73.3 \pm 11.4	0.10 \pm 0.02
<i>M. carimaguensis</i>	0.2 \pm 0.2	0.47 \pm 0.9	194.3 \pm 24.3	11.2 \pm 2.1
Ocnoderilidae n. gen.	48.8 \pm 56.0	0.24 \pm 0.3	22.9 \pm 3.7	0.007 \pm 0.01

a. No se encontró ningún individuo en el período anual considerado.

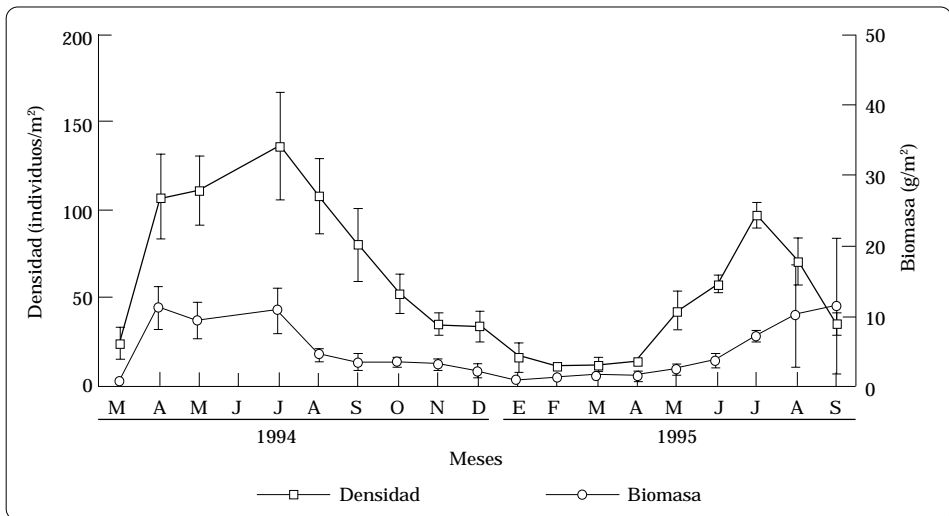


Figura 7-2. Evolución durante el año de la densidad y de la biomasa de la comunidad de lombrices de tierra en una sabana nativa de Carimagua.

FUENTE: Jiménez et al. 1998b.

Lavelle (1978) y Kouassi (1987) encontraron, en las sabanas africanas de Lamto, Costa de Marfil, que las lombrices eran también el principal componente de la biomasa de la macrofauna. En el Cuadro 7-5 se comparan los valores de densidad y biomasa de las lombrices encontradas en la sabana de Carimagua y su relativa contribución a las categorías ecológicas, con los valores medios obtenidos en el trópico húmedo. El número de lombrices encontradas en Carimagua es bajo, comparado con el de otros ambientes tropicales de

sabana; la comparación debe realizarse, no obstante, con precaución, pues los datos fueron obtenidos empleando métodos diferentes.

La aparición de una época seca muy severa de 4 meses de duración juega un papel fundamental en las variaciones de la densidad y de la biomasa de la sabana (ANOVA, $p < 0.001$). Tanto la densidad como la biomasa presentaron fluctuaciones temporales importantes (Figura 7-2). Las poblaciones fueron más abundantes al comienzo de la época de

Cuadro 7-5. Riqueza específica, densidad (D) y biomasa (B) corregidas y proporción (%) de las diferentes categorías ecológicas de lombrices en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia, frente a otros lugares del trópico húmedo (mínimo y máximo entre paréntesis).

Lugar	D (ind./m ²)	B (g/m ²)	Riqueza específica	Epígeas		Endógeas		Anécicas	
				% D	% B	% D	% B	% D	% B
Carimagua	57.8 (10.8-135.8)	5.0 (0.7-11.5)	8	11.5	5.2	88.3	85.0	0.2	9.8
Trópico húmedo ^a	236 (187-286)	44.1 (38-50.1)	8	3.5	6.5	96.5	93.5	0	0

a. FUENTE: Frago et al. 1992.

lluvias y disminuyeron a medida que ésta transcurría.

Estrategias adaptativas

Las sabanas tropicales se caracterizan por una fuerte estacionalidad ambiental. En Carimagua se presenta un período muy seco de 4 meses que marca el ritmo de actividad de las poblaciones de lombrices, ya que la humedad del suelo sufre una fluctuación estacional importante (de 14.4% a 23.4% en la sabana, en los primeros 10 cm del suelo); no llega, sin embargo, al pF 4.2 o punto de marchitamiento (11.6%). Todas las lombrices de la sabana permanecen inactivas durante la época seca, desde diciembre hasta marzo, aunque hay ciclos de actividad diferentes según las especies. Casi todas las especies de lombrices de tierra son capaces de suspender su actividad en respuesta a los cambios estacionales de temperatura y de humedad del suelo.

La actividad de las lombrices se lleva a cabo, generalmente, en los primeros centímetros del suelo, donde los niveles de M.O. son más altos. Las especies han desarrollado diferentes adaptaciones a la fuerte estacionalidad ambiental.

- *Andiodrilus* n. sp. y *Andiorrhinus* n. sp. no presentan una estrategia clara frente a la adversidad estacional; simplemente

descienden hasta una profundidad de 30 a 60 cm, donde permanecen quietas, sin enrollarse, en estructuras o cámaras de estivación. Este comportamiento origina una fuerte deshidratación del tegumento (Jiménez et al. 1998b). No vacían el contenido intestinal ni reabsorben los caracteres sexuales. Esta situación origina una fuerte mortalidad en la población; los adultos supervivientes, que pierden hasta un 60% de su peso (Figura 7-3), inician el período reproductor de su ciclo vital en la siguiente temporada de lluvias.

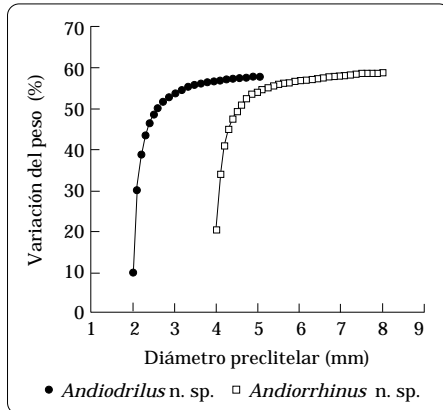


Figura 7-3. Pérdida de peso (en %) en los individuos inactivos de *Andiodrilus* n. sp. y *Andiorrhinus* n. sp., según el diámetro preclitelar, recolectados en febrero de 1994 en el pastizal de *B. decumbens* + *P. phaseoloides*. FUENTE: Jiménez et al. 2000.

- *Glossodrilus* n. sp. combina dos estrategias: la paradiapausa o diapausa facultativa (Saussey 1966, citado en Lee 1985) y la producción de capullos al final de la época lluviosa. Las lombrices descienden hasta una profundidad máxima de 50 cm, construyen una cámara de estivación y forman una cápsula de moco secretada por el tegumento. Esta estructura podría confundirse con un capullo, ya que ambos son idénticos en apariencia, aunque el tamaño y el peso de aquella son mayores.
- *Aymara* n. sp. y Ocnodrilidae n. gen. presentaron también paradiapausa, pero no forman una estructura mucosa. Los individuos inactivos de *Aymara* n. sp. fueron encontrados a una profundidad máxima de 40 cm y los de Ocnodrilidae n. gen. a 80 cm (Jiménez et al. 2000). Ocnodrilidae n. gen. se encuentra asociada, durante la época lluviosa, con lugares ricos en M.O., por ejemplo, nidos de coleópteros de la subfamilia Scarabeinae y heces de *M. carimaguensis* (Jiménez et al. 1998b). Esta especie forma, a consecuencia de su actividad, agregados mucho más pequeños que las otras y puede influir de manera positiva en la estructura física del suelo.
- *M. carimaguensis* ha mostrado un comportamiento muy sorprendente, hasta ahora inexplicado y único entre las lombrices de tierra: los individuos juveniles se inactivan en la mitad de la época lluviosa, mientras que los adultos permanecen activos hasta el final de ésta (Figura 7-4), exactamente después de pasar el período reproductor y de depositar los capullos (Jiménez et al. 1998a). Antes de iniciar este período de diapausa, los individuos vacían el contenido intestinal, tabican el

final de la galería con sus propias heces (4 a 5 paredes delgadas), forman una cámara de estivación esférica y se enrollan. Este proceso es desencadenado por un factor ambiental, pero el abandono está condicionado a escala fisiológica ya que, a diferencia de la paradiapausa, no hay respuesta cuando, de manera artificial, se introducen individuos en tierra que ha sido humedecida hasta capacidad de campo (pF 2.8). La lombriz pierde peso pero no sufre deshidratación; hay regresión de los caracteres sexuales pero no experimenta crecimiento durante este período (Jiménez et al. 2000). La combinación de estos patrones de comportamiento permite reducir el alto riesgo de mortalidad de la especie durante la época seca. En la Figura 7-5 se observa la distribución vertical de la inactividad de *M. carimaguensis*.

Los individuos más pesados, que se ubicaron en los estratos más profundos del suelo, pierden casi el 80% de su peso durante este período (ANOVA de Kruskal-Wallis, $p < 0.01$).

Las fuertes variaciones climáticas estacionales en Carimagua limitan la deposición de los capullos a los 8 meses de lluvia al año; en los demás meses las poblaciones están inactivas. Las estrategias reproductoras difieren también, según las especies. Se ha observado que, en general, cuanto mayor es el tamaño del adulto mayor es el capullo que produce, tanto en las lombrices tropicales como en las de latitudes templadas (Figura 7-6). Los adultos de *Andiodrilus* n. sp. y *Glossodrilus* n. sp. invierten casi el mismo porcentaje de su peso (6%) en la formación del capullo; los adultos de *M. carimaguensis*, en cambio, invierten un 16.1%, o sea, casi tres veces más que las dos especies anteriores. Este valor, el más alto obtenido hasta la fecha, muestra la estrategia adaptativa

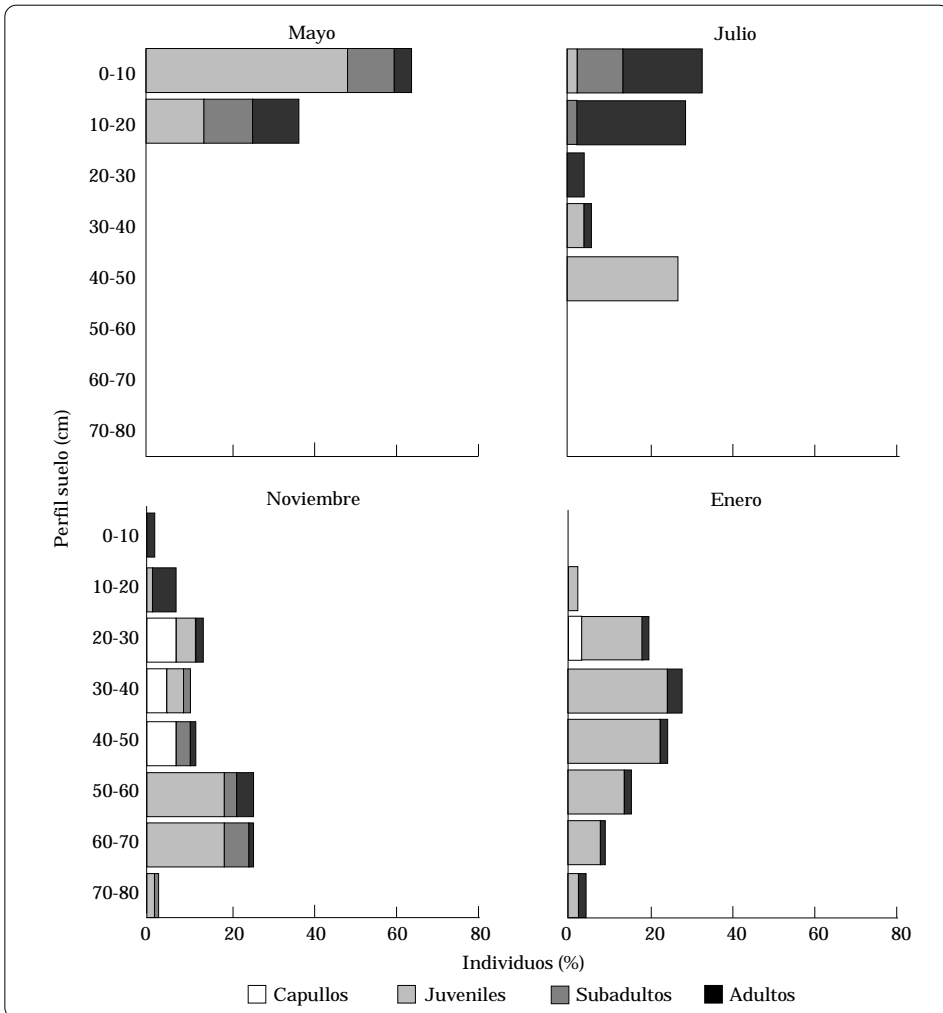


Figura 7-4. Variación temporal de la distribución vertical en el suelo de *M. carimaguensis*, en Carimagua, Llanos Orientales.

FUENTE: Jiménez et al. 1998a.

tan compleja y evolucionada de esta especie (Jiménez et al. 1999).

Significado Ecológico de las Estructuras Biogénicas

Como se mencionó antes, las lombrices, termitas y hormigas forman en el suelo estructuras como los turrículos de las lombrices, los nidos de los insectos

sociales, las galerías y cámaras, que son consideradas nexo directo entre la biodiversidad y la función realizada en el suelo (Lavelle 1996).

La Actividad de M. carimaguensis y la biodiversidad en el suelo

La diversidad de organismos de las diferentes comunidades del suelo se organiza jerárquicamente según el

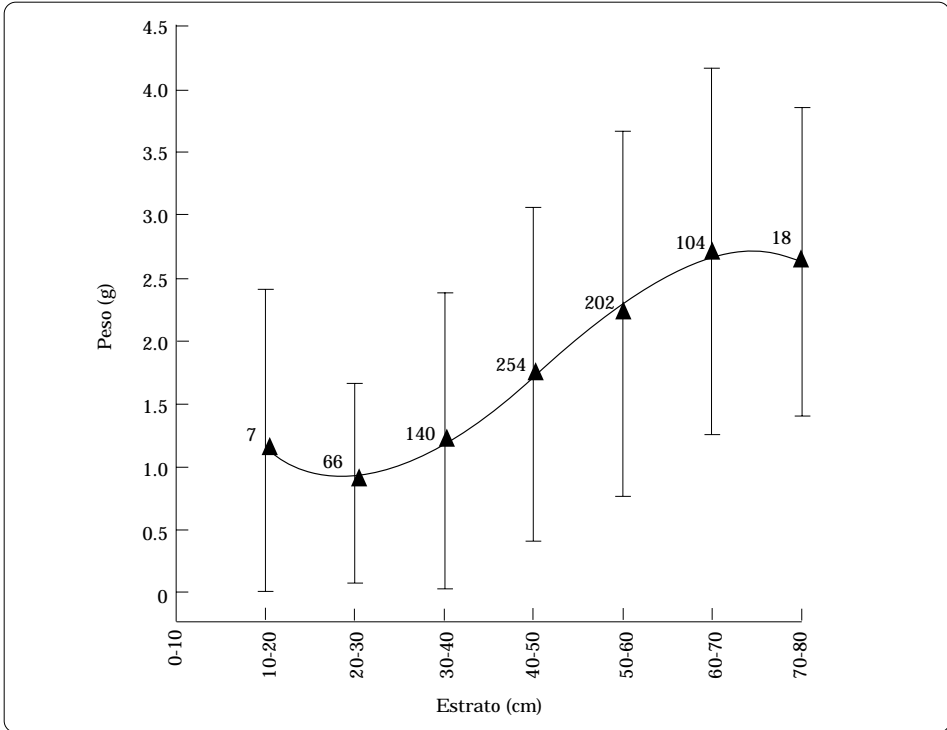


Figura 7-5. Distribución vertical en el suelo de los individuos inactivos de *M. carimaguenis*. Los números indican la cantidad de individuos obtenidos y las barras la desviación típica.
FUENTE: Jiménez et al. 2000.

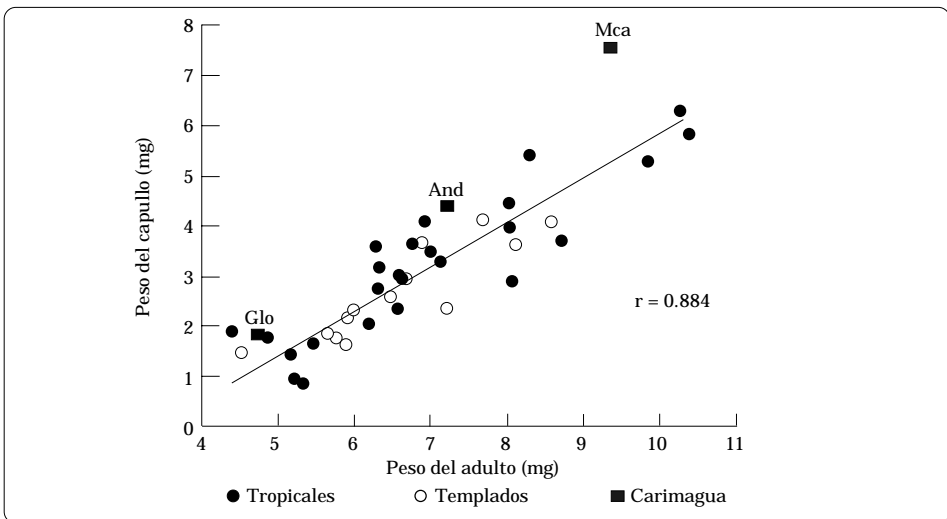


Figura 7-6. Relación entre el peso fresco de los capullos y los adultos (escala logarítmica) en 38 especies de lombrices de sitios tropicales y templados [datos de Lavelle (1981) y Barois et al. (1999)] y en tres especies de Carimagua ($p < 0.01$).
Glo = *Glossodrilus* n. sp.1; And = *Andiodrilus* n. sp.1; Mca = *M. carimaguenis*.
FUENTE: Jiménez et al. 1999.

esquema propuesto en la hipótesis de las “biodiversidades encajadas” (Lavelle 1996). Esta hipótesis propone que la diversidad de la vegetación epigea determina la diversidad de los ingenieros del ecosistema y que éstos, a su vez, condicionan la diversidad de otros organismos más pequeños.

Las especies de lombrices anécicas de tamaño grande son buenos ejemplos del concepto de ingenieros del ecosistema. En las sabanas de los Llanos Orientales, *M. carimaguensis* deposita turrículos superficiales de gran tamaño (más de 10 cm de diámetro y de alto) debajo de los cuales habitan poblaciones de macroinvertebrados (Cuadro 7-6) más abundantes y diversificadas que las del suelo cercano (Decaëns et al. 1999b). Las galerías y las heces de las lombrices grandes constituyen, en efecto, microhábitas privilegiados para algunas especies de termitas y de hormigas, que aprovechan los macroporos de dichas estructuras para establecer sus colonias. Otras especies (termitas y pequeñas especies de lombrices) pueden utilizar directamente las deposiciones como sustrato alimenticio porque en éstas encuentran un contenido alto de M.O. (Jiménez et al. 1998a; Rangel et al. 1997).

Los ingenieros del ecosistema influyen, recíprocamente, en la

diversidad de la cobertura vegetal. Las hormigas y las lombrices, por ejemplo, pueden afectar la dinámica y la germinación de las semillas de las plantas superiores (Klaus y Delascio 1991; Thompson et al. 1994).

Martiodrilus carimaguensis ingiere cantidades importantes de semillas mezcladas con el suelo y la hojarasca (Decaëns et al., sin publicar). Durante el tránsito intestinal se produce una destrucción, por digestión, de parte de las semillas. La lombriz provoca luego el movimiento vertical de las semillas, que sobreviven cuando son depositadas con las heces dentro del perfil o en la superficie del suelo (Cuadro 7-7). Las semillas enterradas por la lombriz pueden formar parte del banco de semillas permanente del suelo. Las semillas que la lombriz excreta en los turrículos encuentran condiciones favorables para la germinación (niveles de N mayores que en el suelo y acidez reducida) y tienen más oportunidad de influir en la distribución de la vegetación epigea después de la destrucción del turrículo. La gran diferencia existente entre la composición del banco de semilla del suelo y la vegetación epigea se reduce, por tanto, en las heces de la lombriz. Las mejores condiciones para la germinación explican también la mayor riqueza de especies y la diversidad encontradas en los turrículos en comparación con el suelo adyacente.

Cuadro 7-6. Efectos de la actividad de *M. carimaguensis* en la densidad (individuos/m²), en la riqueza taxonómica (número de especies) y en la diversidad (índice de Shanon; equitatividad de Pielou) de otros organismos del suelo en un suelo de la sabana nativa de Carinmagua. Las letras indican diferencias significativas con $p < 0.001$.

	Densidad	Riqueza	Diversidad	Equitatividad
Fauna				
En turrículos	24.5 (15.4) a	12	1.43	0.40
En suelo subyacente	1277.1 (207.0) b	37	2.75	0.53
En suelo testigo	380.0 (147.5) c	31	3.20	0.65
Semillas				
En turrículos	2.7 (0.6) a	21	2.78	0.63
En suelo testigo	25.8 (4.7) b	9	1.83	0.58

Cuadro 7-7. Similitud en la composición entre los bancos de semilla del suelo, los bancos de semilla de los turrículos de *M. carimaguensis* y la vegetación epígea en una sabana nativa de Carimagua.^a

Situaciones comparadas	Índice de similitud de Sørensen (Cs)
Semillas del suelo vs. semillas de los turrículos	0.50
Semillas del suelo vs. vegetación epígea	0.05
Semillas de los turrículos vs. vegetación epígea	0.41

a. Índice de similitud de Sørensen: $Cs = 2j / (a + b)$, donde j = número de especies comunes a las dos situaciones; a y b = número total de especies en las dos situaciones.

FUENTE: Decaëns et al. 1999a.

Según Willems y Huijsmans (1994), los turrículos pueden considerarse como un importante nicho de regeneración (Grubb 1977) para la comunidad herbácea y la actividad de las lombrices como el factor indispensable para que la diversidad del ecosistema sea sostenible.

Estructuras biogénicas y parámetros físicos del suelo

Los ingenieros del ecosistema cumplen un papel primordial en los procesos físicos que ocurren en el suelo de un ecosistema natural y son, además, unos de los pocos organismos capaces de participar activamente en los fenómenos de pedoturbación. Su acción afecta notablemente la rugosidad de la superficie, la porosidad y la agregación del suelo y tiene efectos en las propiedades hidráulicas del suelo (Lavelle 1997). Muchos trabajos de investigación han comprobado que los macroporos debidos a los movimientos de los macroinvertebrados del suelo (galerías y cámaras) ejercen un efecto positivo en la infiltración del agua, a pesar de que no representan más del 1% del volumen total del suelo (Lee 1995). En una sabana de Africa Occidental, Casenave y Valentin (1988) encontraron una relación directa entre la velocidad de infiltración del agua y el porcentaje de la superficie del suelo cubierto por turrículos de lombrices y por colonias de termitas. Las propiedades físicas del suelo

observadas en los pastizales introducidos en Carimagua son mejores que las de la sabana nativa, diferencia que se atribuye, al menos parcialmente, a la importante actividad de las lombrices de tierra en estos sistemas (Decaëns, sin publicar; Gijsman y Thomas 1997).

En la sabana de Carimagua, el suelo consumido por las especies *M. carimaguensis* y *Andiodrilus* n. sp. 1 es de más de 30 t suelo seco/ha por año (Fisher et al. 1995) y de 100 t suelo seco/ha por año si se considera la comunidad entera de lombrices; las dos primeras especies no representan más del 40% de la biomasa total de los suelos de la sabana nativa. Sólo el 35% del suelo ingerido es depositado en turrículos superficiales, en tanto que el restante se deposita dentro del perfil del suelo (Decaëns, sin publicar). Este consumo es relativamente bajo si se compara con el observado en otros tipos de pastizales nativos tropicales (de varias centenas a 1250 t/ha por año) (Lavelle 1997). Otros grupos de macroinvertebrados crean estructuras y, por tanto, la cantidad de suelo movilizado cada año por todos los ingenieros del ecosistema debe ser considerablemente mayor.

Después de su formación, las estructuras biogénicas quedan expuestas a ataques de diferentes factores, por ejemplo, las lluvias fuertes, las quemas y el pisoteo del ganado. Estos procesos causan poco a

poco la destrucción de estas estructuras y afectan así la agregación del suelo (Blanchart et al. 1989). En Carimagua se han descrito, hasta la fecha, 14 estructuras biogénicas de superficie con propiedades físicas muy diferentes entre sí (Decaëns et al. 2001): aquellas constituidas por agregados de gran tamaño (> 5 mm), producidas por lombrices (*M. carimaguensis* y *Andiodrilus* n. sp1) y termitas y aquellas constituidas principalmente por microagregados (< 0.250 mm) o por macroagregados de tamaño pequeño (0.250-2 mm), que provienen de los hormigueros (Figura 7-7). La densidad aparente de los turrículos frescos es alta si se la compara con las estructuras producidas por otros invertebrados del suelo (de 1.3 hasta 1.4 g/cm³ y de 0.5 hasta 0.9 g/cm³, respectivamente). El efecto de cada especie sobre la agregación del suelo es diferente y conduce a la formación de

agregados de tamaño y densidad variables.

Las estructuras biogénicas superficiales perduran a veces mucho tiempo en la superficie del suelo, varios años en el caso de los termiteros. Los turrículos de *M. carimaguensis* pueden permanecer intactos durante más de un año en la sabana y sus propiedades físicas presentan una dinámica temporal muy notoria (Decaëns 2000). La densidad aparente de los turrículos frescos recién depositados es de 1.4 g/cm³ y su diámetro medio ponderado es de 13 mm. Durante el envejecimiento del turrículo, ambos parámetros disminuyen gradualmente; después de un año llegan a 1.1 g/m³ y 5.6 mm, respectivamente. La colonización de los turrículos por otros invertebrados de tamaño pequeño (termitas y hormigas), que excavan galerías dentro de ellos y los

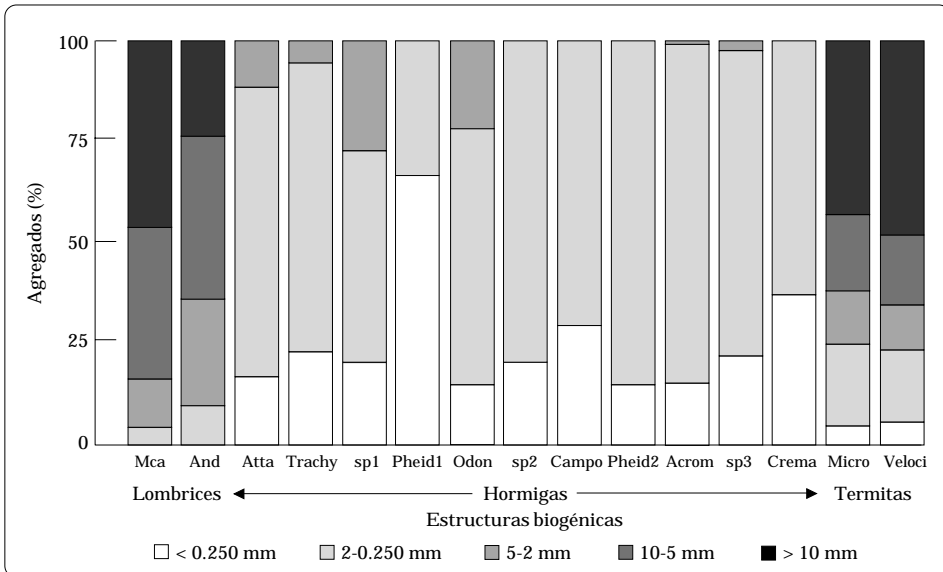


Figura 7-7. Distribución en clases de tamaño de los agregados que constituyen las estructuras biogénicas producidas por las lombrices, las hormigas y las termitas sobre la superficie del suelo en la sabana nativa de Carimagua. (Mca = *Martiodrilus carimaguensis*; And = *Andiodrilus* n. sp1; sp = especie; Atta = *Atta laevigata*; Trachy = *Trachymyrmex* sp.; Pheid = *Pheidole* sp.; Odon = *Odontomachus* sp.; Acrom = *Acromyrmex landolti*; Crema = *Crematogaster* sp.; Micro = *Microcerotermes* sp.; Veloci = *Velocitermes* sp.)

FUENTE: Decaëns et al. 2001.

descomponen en agregados más pequeños es, sin duda, la causa de esta evolución (Figura 7-8). Las actividades antagónicas que ejercitan las especies de macroinvertebrados de diferente tamaño mantienen en equilibrio la agregación del suelo (Blanchart 1992). Las especies pequeñas disgregan los turrículos compactos y evitan así su acumulación excesiva, la cual puede, en ciertos casos, afectar negativamente el crecimiento de las plantas (Rose y Wood 1980).

Efectos de *M. carimaguensis* en la dinámica de la materia orgánica

Martiodrilus carimaguensis, igual que otras lombrices, afecta de diverso modo la dinámica de la M.O. del suelo, según la escala de tiempo considerada (Blanchart et al. 1993; Lavelle 1997; Lavelle et al. 1992b; Trigo y Lavelle 1993).

En la fase inicial, *M. carimaguensis* selecciona e ingiere el suelo rico en M.O.; por lo tanto, sus heces presentan un contenido de carbono total mayor que el del suelo cercano a ellas (Rangel

et al. 1999). En una escala de tiempo corta (algunas horas), la lombriz mezcla activamente el suelo con agua y moco intestinal en su tracto digestivo; esta operación facilita una alta actividad microbiana y la mineralización de la M.O. En las heces frescas, las poblaciones importantes de microorganismos desarrollan una intensa mineralización (Figura 7-9) que libera nutrientes asimilables por las plantas (Cepeda et al. 1998; Rangel et al. 1999). Se ha observado también una difusión importante de los nutrientes del turrículo hacia el suelo cercano, donde pueden ser asimilados por las raíces superficiales (Decaëns et al. 1999c).

En una escala de tiempo intermedia (días a meses), la M.O. es integrada en agregados estables en las heces secas y queda así protegida de una mineralización rápida. Así, la liberación de nutrientes que ocurre en los turrículos intactos (Figura 7-9) se reduce y desaparece totalmente después de 3 semanas (Rangel et al. 1999). El efecto de factores externos como la lluvia, las variaciones de la humedad, el pisoteo del ganado o la colonización de otros invertebrados modifican poco a poco los turrículos que, finalmente, se incorporan al suelo cercano convirtiéndose en una reserva de nutrientes potencialmente utilizable por las plantas (Decaëns et al. 1999c). Falta todavía información que permita determinar si dichos factores externos pueden movilizar de nuevo la M.O. de los turrículos y reactivar la liberación de los nutrientes asimilables.

En una escala de tiempo larga (años o decenios), la actividad de las lombrices forma una reserva de carbono en el suelo y puede mejorar la calidad de la M.O.; en efecto, facilita la descomposición de la parte más vieja y resistente de esa materia y protege, a su vez, la fracción más reciente (Barois et al. 1993; Lavelle 1997; Lavelle et al. 1992).

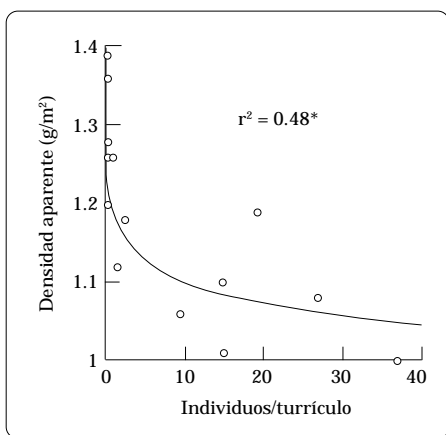


Figura 7-8. Evolución de la densidad aparente de los turrículos de *M. carimaguensis* en función de su colonización por otros macroinvertebrados.

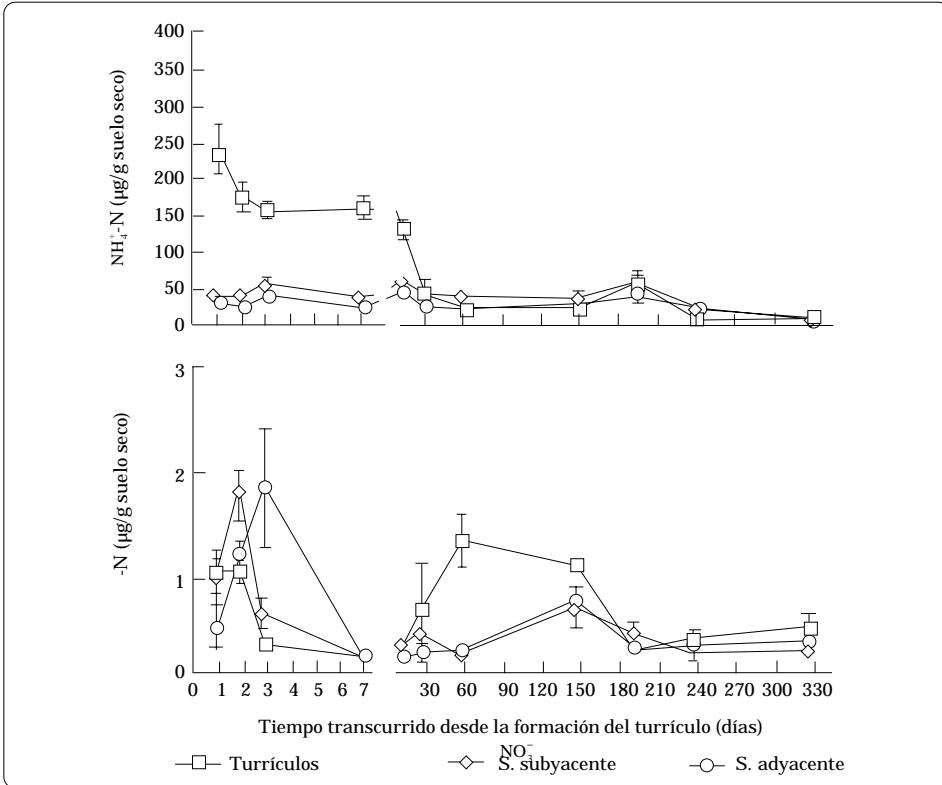


Figura 7-9. Dinámica, a través del tiempo, del nitrógeno de las heces de *M. carimaguensis* depositadas en la superficie de un suelo de sabana nativa.

FUENTE: Decaëns et al. 1999c.

La Macrofauna del Suelo y las Actividades Humanas en los Llanos Orientales

Las actividades de la macrofauna, a través de los efectos producidos en la fertilidad del suelo influyen considerablemente en el crecimiento de las plantas (Lavelle 1997; Brown et al. 1999). Las comunidades de macroinvertebrados pueden considerarse entonces como un recurso natural importante para la sostenibilidad de la producción primaria, ya sea en ecosistemas naturales o en agroecosistemas. Este recurso es altamente sensible al impacto de las actividades humanas

(Lavelle 1997); por tanto, los sistemas de producción agrícola sostenibles deben considerar como objetivo esencial la conservación de la abundancia y la diversidad de la macrofauna.

Los Llanos Orientales de Colombia han sido utilizados tradicionalmente como praderas nativas de explotación ganadera extensiva. La carga animal es baja y la quema se emplea como medio de renovación del pasto (Rippstein et al. 1996). Sin embargo, durante los últimos 10 años, se ha observado una tendencia a la intensificación agrícola, mediante la introducción de pasturas mejoradas o la siembra de cultivos anuales, en las áreas más accesibles de la región (Cadavid 1995). Los efectos de dichos

sistemas sobre los suelos están aún bajo estudio. En Carimagua, el manejo de la tierra para la producción agrícola afecta dramáticamente las comunidades de macroinvertebrados del suelo (Figura 7-7). Los dos factores ambientales más importantes que explican esta respuesta, extraídos de un análisis multivariante (Decaëns et al. 1994), son los siguientes:

- las modificaciones en la estructura y tipo de la vegetación (42.0% de la varianza total)
- los cambios en la calidad del recurso natural, principalmente de la hojarasca y del estiércol del ganado (24.4% de la varianza total).

La ganadería extensiva tradicional

Las prácticas de manejo tradicional de la sabana no afectan la biomasa de la macrofauna, pero disminuyen

ligeramente su riqueza taxonómica. Como ocurre en otras pasturas nativas (Lavelle 1983b), la presencia del ganado y la práctica de las quemas favorecen a las lombrices, pero actúan en detrimento de las termitas. La quema practicada en la época lluviosa causa un efecto negativo inmediato y de corta duración en la macrofauna, aunque las comunidades se recuperan en menos de 6 meses (Figura 7-10). Un resultado diferente se observó en las sabanas de Costa de Marfil (Athias et al. 1975), donde la macrofauna parece presentar más adaptaciones al estrés generado por el fuego. Durante la época seca, los macroinvertebrados se encuentran principalmente en los horizontes profundos del suelo, lejos del alcance de los cambios de temperatura y humedad inducidos por la propia quema o por la reducción de la cobertura vegetal.

El sobrepastoreo reduce la diversidad de la comunidad de macroinvertebrados, posiblemente, porque la diversidad de la cobertura

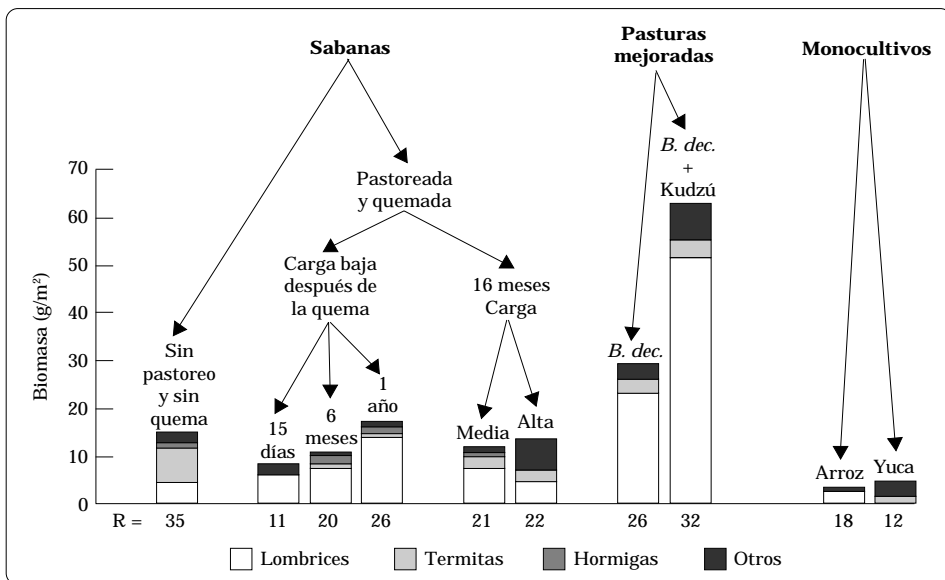


Figura 7-10. Biomasa (g/m²) y riqueza taxonómica de la macrofauna del suelo en agroecosistemas derivados de la sabana nativa, en Carimagua, Colombia. B. dec. = *Brachiaria decumbens*.

FUENTE: Decaëns et al. 1994.

herbácea del suelo disminuye. La biomasa de la macrofauna no cambia, pero aparecen diferencias en la contribución relativa de los diferentes grupos funcionales. Las lombrices, por ejemplo, son particularmente sensibles a la disminución de la cobertura vegetal, a las modificaciones del microclima edáfico y a la disminución del retorno de la hojarasca al suelo. Otros grupos, en cambio, como los coleópteros coprófagos o los rizófagos, son favorecidos por estas condiciones y llegan a representar una parte importante de la biomasa en Carimagua; no llegan, sin embargo, a los niveles encontrados por Villalobos y Lavelle (1990) en las pasturas mexicanas.

Intensificación de la producción agrícola

La conversión de la sabana nativa en pastura mejorada, bien sea de gramínea sola o asociada con leguminosa, mantiene la riqueza taxonómica de la macrofauna y aumenta hasta en casi 13 veces la biomasa de ésta. Este cambio de sistema de manejo reduce notablemente la diversidad de las lombrices según los resultados obtenidos en los índices de diversidad (Jiménez et al. 1998b). El desarrollo de las poblaciones de lombrices nativas generado por el cambio es espectacular, especialmente en el caso de *M. carimaguensis*, cuya biomasa, durante la época lluviosa, puede pasar de 1 t/ha en una pastura de *Brachiaria decumbens* asociado con *Pueraria phaseoloides* (Jiménez et al. 1998a). Este efecto se debe, principalmente, al cambio de cobertura vegetal y al incremento de la calidad de la M.O. fresca proveniente de la hojarasca y del estiércol del ganado. Muchos otros pastos tropicales establecidos en el bosque tropical no mantienen la composición taxonómica de la fauna nativa y permiten la aparición o

proliferación de especies exóticas, como *Pontoscolex corethrurus* Müller (Glossoscolecidae) o *Polypheretima elongata* Perrier (Megascolecidae) (Barros et al. 1996; Fragoso y Lavelle 1992; Lavelle y Pashanasi 1989; Lavelle et al. 1981).

Un punto importante de este estudio es la conservación de la riqueza de especies de la macrofauna nativa y, en consecuencia, el equilibrio entre las diferentes acciones con que los macroinvertebrados influyen en el suelo. No hay, por tanto, problemas de degradación del suelo como resultado de la proliferación de una especie exótica de lombrices, que es justamente el caso de otras regiones tropicales (Lavelle 1997).

Los cultivos anuales causan un dramático descenso, tanto cuantitativo como cualitativo, de las poblaciones de invertebrados. Este fenómeno tiene tres explicaciones posibles: el efecto de la labranza, el uso indiscriminado de pesticidas y la disminución de las reservas de carbono disponibles en el suelo a consecuencia de la desaparición de la vegetación perenne (House y Parmelee 1985; Lavelle y Pashanasi 1989). Los cultivos arbóreos de baja densidad de árboles, por el contrario, ofrecen condiciones favorables para el desarrollo de una alta actividad biológica, ya que conservan una cobertura herbácea permanente, aumentan el grosor del mantillo de hojarasca y tienen un efecto amortiguador sobre el microclima, gracias a la sombra de los árboles. La densidad de estos árboles no es aún lo suficientemente alta para crear un verdadero microclima forestal que permita el mantenimiento de la fauna sabanicola. En un cultivo de marañón (*Anacardium occidentale* L.) se registró una biomasa de lombrices de tierra nativas que era de 3 a 4 veces superior a la encontrada en la sabana nativa; las lombrices se localizaban, de preferencia, debajo de los árboles

(Decaëns, sin publicar). Estos resultados confirman los estudios de Lavelle y Pashanasi (1989) en Perú.

Conclusiones

En primer lugar, los resultados presentados en este trabajo provienen exclusivamente de las sabanas bien drenadas, cuyos suelos son arcillo-limosos, que se encuentran en la región de Carimagua, en Colombia. Cualquier extrapolación a otra región, así tenga las mismas propiedades de suelos y de vegetación, deberá hacerse con cautela, porque las características biogeográficas propias de cada especie (de lombriz, por ejemplo) determinan su presencia en un lugar determinado y su ausencia en otro, sin razón aparente. Además, falta información sobre la composición y la estructura de las comunidades de macroinvertebrados en las regiones de suelos arenosos e inundables, dos formaciones edáficas bastante representativas de los Llanos Orientales de Colombia.

La macrofauna del suelo en los ecosistemas del bosque de galería y la sabana nativa presenta una biomasa globalmente inferior a la registrada (datos disponibles) sobre tipos de vegetación comparables de otras regiones del trópico. Sin embargo, la diversidad taxonómica y funcional es grande porque hay especies representativas de todos los grupos funcionales definidos en los invertebrados del suelo (Bouché 1972; Lavelle 1981). Estos grupos utilizan, para su desarrollo, diversas fuentes de energía que van desde la hojarasca hasta la M.O. del suelo en diferente grado de descomposición. Se localizan, además, en diversos estratos horizontales, concentran sus actividades en sitios específicos y logran una buena homogeneización en el espacio de los efectos que regulan los procesos determinantes de la fertilidad del suelo.

Las sabanas tropicales son ecosistemas sometidos a una fuerte sequía estacional que influye directamente en la humedad del suelo que es uno de los factores determinantes de la actividad y de la dinámica de las poblaciones de lombrices (Lavelle 1983b). Las especies encontradas en Carimagua poseen diferentes estrategias adaptativas a dicha severidad ambiental y evitar así que sus poblaciones desaparezcan. Estas adaptaciones son la respuesta a los factores limitantes del suelo, o sea, las escasas reservas de nutrientes, el movimiento en un ambiente compacto y las condiciones climáticas desfavorables.

Las termitas y las lombrices de tierra son el componente dominante de las comunidades de la macrofauna en las formaciones vegetales nativas de la Altillanura plana, en Colombia. Las actividades de estos organismos afectan la parte abiótica del suelo porque levantan construcciones mediante las cuales modifican profundamente la estructura del suelo y la dinámica de la M.O. Los efectos producidos difieren, además, según las especies y la escala de tiempo consideradas y, a veces, son antagonistas; por consiguiente, la acción global de la macrofauna favorece una regulación efectiva de las características físicas y químicas del suelo. Por tal razón, las estructuras biogénicas se han considerado como un verdadero intermediario entre la biodiversidad y los procesos que determinan la fertilidad del suelo (Lavelle 1996).

Las relaciones existentes entre la vegetación epigea y los diferentes grupos de fauna del suelo apoyan la hipótesis de las biodiversidades encajadas de Lavelle (1996). La abundancia y la diversidad de las comunidades de macroinvertebrados está determinada por dos factores

ambientales relacionados uno con la estructura y otro con la naturaleza de la vegetación. Se hizo evidente también el papel ecológico desempeñado por las estructuras biogénicas de superficie de los ingenieros del ecosistema, las cuales afectan la abundancia y la diversidad de otros grupos de organismos (Decaëns et al. 1999b). Su acción comprende una redistribución de recursos, principalmente una concentración de la M.O. y la creación de microhábitat específicos. Las interrelaciones entre diferentes grupos funcionales que pertenecen a un mismo taxón o a varios de ellos son estrechas y complejas, como lo demuestra el efecto recíproco de las lombrices anécicas en la vegetación por medio de los bancos de semilla del suelo. Falta todavía realizar investigación para comprender mejor estos fenómenos y para estimar la participación de otros grupos importantes, como las termitas y las hormigas, las cuales cumplen también, sin duda, un papel relevante.

Sería necesario investigar también la agregación de las partículas de suelo más pequeñas en las heces de *M. carimaguensis* que han sido ingeridas por individuos de Onerodrilidae n. gen. Este proceso puede constituir un modelo análogo al de las especies compactantes y decompactantes de Blanchart et al. (1997) que favorecen la estructura física del suelo.

La macrofauna es un recurso natural altamente sensible a la conversión de la sabana nativa en un sistema de producción agrícola que responde de manera directamente proporcional a la intensificación. Esta respuesta se relaciona principalmente con las modificaciones de la cobertura vegetal, que determina directamente la cantidad y la calidad del recurso orgánico.

- Tanto las pasturas nativas como las introducidas mantienen una vegetación cuya estructura vertical

es similar a la que posee la sabana y resguardan, además, una macrofauna nativa diversificada. Asimismo pueden, como en el caso de las praderas mejoradas, aumentar la calidad y la cantidad de la M.O. fresca que se incorpora al suelo y mejorar, por tanto, la actividad de la fauna.

- Los monocultivos anuales, por el contrario, traen consigo una disminución dramática de la macrofauna porque crean condiciones desfavorables —como la destrucción de la vegetación nativa y la disminución de la cantidad de material vegetal restituído— o causan directamente la muerte de los organismos mediante la labranza y el uso indiscriminado de los pesticidas.

Las sabanas bien drenadas de los Llanos Orientales poseen una macrofauna con una buena capacidad de adaptación a los ambientes perturbados. La próxima etapa de esta investigación será la determinación de opciones de manejo de las poblaciones de macroinvertebrados en los diferentes agroecosistemas. Este trabajo se está realizando en Carimagua, enfocado especialmente hacia las lombrices de tierra; el objetivo general es optimizar y aprovechar este recurso para aumentar la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios. Se presta atención especial al manejo de las prácticas agrícolas, a la forma y a la disposición de las parcelas y al uso de rotaciones a corto o a largo plazo. Se ha estudiado también la capacidad de movimiento de las lombrices para poder evaluar sus facultades de recolonización del suelo en sistemas de producción destructivos. Por último, se ha desarrollado un modelo de manejo integrado de una finca para formalizar las reglas de interacción entre las lombrices y las prácticas agrícolas empleadas (L. Mariani, sin publicar). Esperamos

que el modelo permita ahondar en nuestro conocimiento del ecosistema y comprobar, mediante simulación, la sostenibilidad de las opciones de manejo.

Agradecimientos

Queremos agradecer a todos los científicos e investigadores del CIA Carimagua, especialmente a J. Triana, D. Cárdenas y E. Prieto (Directores del Centro) y a G. Escobar, C. G. Meléndez e I. I. Corrales (investigadores del CIAT) por su gran ayuda en la ejecución de este trabajo.

Presentamos también un reconocimiento a las personas que creyeron en el futuro de esta investigación y colaboraron en su realización: R. J. Thomas (CIAT); D. K. Friesen (CIAT); E. Amézquita (CIAT); I. Rao (CIAT); M. J. Fisher (CIAT); J. I. Sanz (CIAT); P. Hoyos (CIAT); G. Rippstein (CIAT-CIRAD). Nuestro más sincero agradecimiento a P. Eggleton (Museo de Historia Natural, Londres) y M. P. Hernández (CIAT) por su ayuda en la determinación de las termitas y las hormigas, respectivamente. Las primeras versiones del texto fueron revisadas por L. Mariani (IRD), D. Bonilla (Universidad de la Salle, Colombia) y G. Rippstein (CIRAD-EMVT).

Referencias

- Athias F.; Josens G.; Lavelle P. 1975. Influence du feu de brousse annuel sur le peuplement endogé de la savane de Lamto. En: Vanek J. (ed.). Progress in soil biology. Praga, República Checa. p. 389-396.
- Barbault R. 1992. Écologie des peuplements: Structure, dynamique et évolution. Masson, París. 273 p.

- Barois I.; Verdier B.; Kaiser P.; Mariotti A.; Rangel P.; Lavelle P. 1993. Influence of the tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae) on the fixation and mineralization of nitrogen. En: Bonvicini A. M.; Omodeo P. (eds.). On earthworms. Módena, Bolonia, Italia. p. 151-158.
- Barois I.; Lavelle P.; Brossard M.; Tondoh J.; Martínez M. A.; Rossi J. P.; Senapati B. K.; Angeles A.; Frago C.; Jiménez J. J.; Decaëns T.; Lattaud C.; Kanyonyo J.; Blanchart E.; Chapuis L.; Brown G.; Moreno A. 1999. Ecology of earthworm species with large environmental tolerance and/or extended distributions. En: Lavelle P.; Brussaard L.; Hendrix P. F. (eds.). Earthworm management in tropical agroecosystems. Commonwealth Agricultural Bureau (CAB) International, Wallingford, R. U. p. 57-85.
- Barros M. E.; Blanchart E.; Neves A.; Desjardins T.; Chauvel A.; Lavelle P. 1996. Relação entre a macrofauna e agregação do solo em tres sistemas na Amazonia central. En: Solo/Suelo XII Congreso Latino America de Ciencia do Solo. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Aguas de Lindoia, Brasil.
- Blanchart E. 1992. Restoration by earthworms (Megascolecidae) of the macroaggregate structure of a destructured savanna soil under field conditions. Soil Biol. Bioch. 24:1587-1594.
- Blanchart E.; Lavelle P.; Spain A. V. 1989. Effects of two species of tropical earthworms (Oligochaeta: Eudrilidae) on the size distribution of aggregates in an African soil. Rev. Ecol. Biol. Sol 26:417-425.
- Blanchart E.; Lavelle P.; Braudeau E.; Bissonnais Y. L.; Valentin C. 1997. Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. Soil Biol. Biochem. 29:431-439.

- Bouché M. B. 1972. Lombriciens de France: Ecologie et systématique. Institut National pour la Recherche Agricole (I.N.R.A.), Paris, Francia. 671 p.
- Bouché M. B. 1977. Stratégies lombriciennes. Ecol. Bull. 25:122-132.
- Brown G. G. 1995. How do earthworms affect microfloral and faunal community diversity? Plant Soil 170:209-231.
- Brown G. G.; Pashanasi B.; Villenave C.; Patrón J. C.; Senapati B. K.; Giri S.; Barois I.; Lavelle P.; Blanchart E.; Blakemore R. J.; Spain A. V.; Boyer J. 1999. Effects of earthworms on plant production in the tropics. En: Lavelle P.; Brussaard L.; Hendrix P. (eds.). Earthworm management in tropical agroecosystems. Commonwealth Agricultural Bureau (CAB) International, Wallingford, R. U. p. 87-147.
- Cadavid J. V. 1995. Comportamiento y limitantes de la adopción de pastos y de cultivos asociados en los Llanos Orientales de Colombia. Tesis (M.S.). Universidad del Valle, Cali, Colombia. 158 p.
- Casenave A.; Valentin C. 1988. Les états de surface: Une des clefs de l'hydrologie sahélienne. En: Demissie M.; Stout G. E. (eds.). Proceedings of the Sahel Forum on the State of the Art of Hydrology and Hydrogeology in the Arid and Semi-Arid Areas of Africa. UNESCO y Norwegian National Committee for Hydrology, Ouagadougou, Burkina Faso. p. 61-72.
- Cepeda J. A.; Friesen D. K.; Oberson A.; Jiménez J. J. 1998. Efecto de la lombriz de tierra *Martiodrilus carimaguensis* en la disponibilidad de fósforo en suelos de los Llanos Orientales colombianos. Suelos Ecuat. 28:221-226.
- Cochrane T. T.; Sánchez L. G.; Azevedo L. G.; Porras, J. A.; Garver, C. L. 1985. La tierra en América tropical: Guía para agrónomos sobre el clima, el paisaje y los suelos de la Amazonia, el piedemonte andino, el área central de Brasil y la Orinoquia. 3 vols. CIAT y CPAC/EMBRAPA, Cali, Colombia.
- Decaëns T. 2000. Degradation dynamics of surface earthworm casts in grasslands of the Eastern Plains of Colombia. Biol. Fertil. Soils 32:149-156.
- Decaëns T.; Lavelle P.; Jiménez J. J.; Escobar G.; Rippstein G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern Llanos of Colombia. Eur. J. Soil Biol. 30(4):157-168.
- Decaëns T.; Jiménez J. J.; Lavelle P. 1999a. Effect of exclusion of the anecic earthworm *Martiodrilus carimaguensis* Jiménez and Moreno on soil properties and plant growth in grasslands of the Eastern Plains of Colombia. Pedobiología 43:835-841.
- Decaëns T.; Galvis J. H.; Amézquita E. 2001. Propriétés des structures produites par les ingénieurs écologiques à la surface du sol d'une savane colombienne. C. R. Acad. Sci. Paris. (En impresión.)
- Decaëns T.; Mariani L.; Lavelle P. 1999b. Soil surface macrofaunal communities associated with earthworm casts in grasslands of the Eastern Plains of Colombia. Applied Soil Ecology 13(1):87-100.
- Decaëns T.; Rangel A. F.; Asakawa N.; Thomas R. J. 1999c. Carbon and nitrogen dynamics in ageing earthworm casts in grasslands of the Eastern Plains of Colombia. Biol. Fertil. Soils 30(1+2):20-28.
- Decaëns T.; Mariani L.; Betancourt N.; Jiménez J. J. Earthworm effects on permanent soil seed banks in Colombian grasslands. J. Trop. Ecol. (En impresión.)

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1996. Reconocimiento edafológico de los Llanos Orientales. Tomo III: La vegetación natural y la ganadería en los Llanos Orientales. Roma, Italia. 233 p.
- Fisher M. J.; Jiménez J. J.; Decaëns T.; Moreno A. G.; Rossi J. P.; Lavelle P.; Thomas R. J. 1994. Dynamics and short term effects of earthworms in natural and managed savannas at the Eastern Plains of Colombia. En: Annual Report 1994; Tropical Lowlands Program. Documento de trabajo no. 148. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 208-216.
- Fragoso C. 1993. Les peuplements de vers de terre dans l'est et sud-est du Mexique. Tesis (Doctorado). Université de Paris. 228 p. (+ Anexos).
- Fragoso C.; Lavelle P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biol. Bioch.* 24:1397-1408.
- Fragoso C.; Kanyonyo J.; Lavelle P.; Moreno A. 1992. EWDATA BASE: A survey of Communities and selected species of earthworms for their potential use in low-input tropical agricultural systems. En: Lavelle P. (ed.). Conservation of soil fertility in low input agricultural systems of the humid tropics by manipulating earthworm communities. Informe final del Programa EEC/STD2. Bruselas, Bélgica. p. 7-34.
- Gijsman A. J.; Thomas R. J. 1997. Evaluation of some physical properties of an Oxisol after conversion of native savanna into legume-based or pure pasture. *Trop. Grassl.* 30:237-248.
- Grubb P. J. 1977. The maintenance of species richness in plant communities: The importance of the regeneration niche. *Bot. Rev.* 52:107-152.
- House G. J.; Parmelee R. W. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Till. Res.* 5:351-360.
- Hurlbert S. H. 1971. The non-concept of species diversity: A critique and alternative parameter. *Ecology* 52:577-586.
- Jiménez J. J. 1999. Estructura de las comunidades y dinámica de las poblaciones de lombrices de tierra en sabanas naturales y perturbadas de Carimagua, Colombia. Tesis (Ph.D.). Universidad Complutense, Madrid, España. 311 p.
- Jiménez J. J.; Moreno A. G.; Lavelle P. 1999. Reproductive strategies of three native earthworm species from the savannas of Carimagua (Colombia). *Pedobiología* 43(6):851-858.
- Jiménez J. J.; Moreno A. G.; Lavelle P.; Decaëns T. 1998a. Population dynamics and adaptative strategies of *Martiodrilus carimaguensis* nov. sp. (Oligochaeta, Glossoscolecidae), a native species from the well-drained savannas of Colombia. *App. Soil Ecol.* 9(1-3):153-160.
- Jiménez J. J.; Brown G. G.; Decaëns T.; Feijoo A.; Lavelle P. 2000. Differences in the timing of diapause and patterns of aestivation in some tropical earthworms. *Pedobiología* 44(6):677-694.
- Jiménez J. J.; Moreno A. G.; Decaëns T.; Rossi J. P.; Lavelle P. 1995. The earthworm community of Carimagua (Eastern Plains of Colombia): Taxonomy and ecology of species; Looking for a sustainable way of land management? Informe. EC Macrofauna Project II, Madrid, España. 32 p.
- Jiménez J. J.; Moreno A. G.; Decaëns T.; Lavelle P.; Fisher M. J.; Thomas R. J. 1998b. Earthworm communities in native savannas and man-made pastures of the Eastern Plains of Colombia. *Biol. Fert. Soils* 28:101-110.
- Jones C. G.; Lawton J. H.; Shachak M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69:373-386.
- Klaus J.; Delascio F. 1991. Plant-social insect associations in a hylean savanna: A non-specific interaction. *Ecotrópicos* 4:60-67.

- Kouassi P. K. 1987. Étude comparative de la macrofaune endogée d'écosystèmes guinéens naturels et transformés de Côte d'Ivoire. Tesis (Doctorado). Université d'Abidjan, Abidjan, Costa de Marfil. 129 p.
- Lavelle P. 1978. Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire): Peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème. Tesis (Doctorado). Publ. Lab. Zool. E.N.S. 12 (Paris VI). 301 p.
- Lavelle P. 1981. Stratégies de reproduction chez les vers de terre. Acta Oecol. Gen. 2:117-133.
- Lavelle P. 1983. The soil fauna of tropical savannas. I: The community structure. En: Bourlière F. (ed.). Tropical savannas. E.S.P.C., Amsterdam, Holanda. p. 477-484.
- Lavelle P. 1983b. The soil fauna of tropical savannas. II: The earthworms. En: Bourlière F. (ed.). Tropical savannas. E.S.P.C., Amsterdam, Holanda. p. 485-504.
- Lavelle P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. Biol. Intl. 33:3-16.
- Lavelle P. 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. Adv. Ecol. Res. 27:93-132.
- Lavelle P.; Pashanasi B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). Pedobiologia 33:283-291.
- Lavelle P.; Maury M. E.; Serrano V. 1981. Estudio cuantitativo de la fauna del suelo en la región de Laguna Verde, Veracruz: Epoca de lluvias. Inst. Ecol. Publ. (Mexico) 6:75-105.
- Lavelle P.; Meléndez G.; Pashanasi B.; Schaefer R. 1992. Nitrogen mineralization and reorganization in casts of the geophagous tropical earthworm *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae). Biol. Fert. Soils 14:49-53.
- Lavelle P.; Spain A. V.; Blanchart E.; Martin A.; Martin S. 1992. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. En: Lal R. (ed.). Myths and science of soils in the tropics. SSSA Special Publication, Madison, Wisconsin, E. U. p. 157-185.
- Lee K. E. 1985. Earthworms: Their ecology and relationships with soils and land use. Academic Press, Nueva York. 411 p.
- Lee K. E. 1995. Earthworms and sustainable land use. En: Hendrix P. F. (ed.). Earthworm ecology and biogeography in North America. Lewis Publishers, Boca Raton, E. U. p. 215-234.
- Pielou E. C. 1975. Ecological diversity. Wiley, Nueva York.
- Rangel A. F.; Thomas R. J.; Jiménez J. J.; Decaëns T. 1999. Nitrogen dynamics associated with earthworm casts of *Martiodrilus carimaguensis* Jiménez and Moreno in a Colombian savanna Oxisol. Pedobiologia 43:557-560.
- Rippstein G.; Lascano C. E.; Decaëns T. 1996. La producción forrajera dans les savanes d'Amérique du Sud intertropicale. Fourrage 145:33-52.
- Rippstein G.; Escobar E.; Toledo J.; Fisher M.; Mesa E. 1994. Caracterización de comunidades vegetales en relación con el suelo de sabana de la Altillanura de los Llanos Orientales en Carimagua, Meta, Colombia. XV Reunión de la Asociación Colombiana de Herbarios. Montería, Córdoba, Colombia, agosto 1994. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.
- Rose C. J.; Wood A. W. 1980. Some environmental factors affecting earthworms populations and sweet potato production in the Tari Basin, Papua, New Guinea Highlands. Papua New Guinea Agric. J. 31:1-10.

- Schneidmadl J.; Decaëns T. 1995. Soil macrofauna in managed savannas at Matazul Farm, Eastern Plains, Colombia. Documento interno. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 20 p.
- Stork N. E.; Eggleton P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *Am. J. Altern. Agric.* 7:38-55.
- Thompson K.; Green A.; Jewels A. M. 1994. Seeds in soil and worm casts from a neutral grassland. *Funct. Ecol.* 8:29-35.
- Torrijos P.; Serna R.; Rippstein G.; Rangel J. O. 1996. La quema y la sucesión secundaria de la vegetación en sectores de la estación biológica de Carimagua, Llanos Orientales. Taller Regional Agrociencia y Tecnología Siglo XXI. Orinoquia Colombiana, Meta, Colombia, noviembre 1996. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. (Multicopiado.)
- Trigo D.; Lavelle P. 1993. Changes in respiration rate and some physico-chemical properties of soil during gut transit through *Allolobophora molleri* (Lumbricidae). *Biol. Fert. Soils* 15:185-188.
- Villalobos F. J.; Lavelle P. 1990. The soil coleoptera community of a tropical grassland from Laguna Verde, Veracruz, Mexico. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol* 27:73-93.
- Willems J. H.; Huijsmans K. G. A. 1994. Vertical seed dispersal by earthworms: A quantitative approach. *Ecography* 17:124-130.

CAPÍTULO 8

Dinámica de la Vegetación Sometida a Quema, Pastoreo y Otras Formas de Manejo en la Sabana Nativa

G. Rippstein*, R. A. Serna** y G. Escobar**

Resumen

Durante 5 años se llevaron a cabo ensayos de pastoreo con bovinos en pasturas naturales utilizando dispositivos experimentales, en el CIA manejado por el ICA y el CIAT en Carimagua, Meta. Se estudiaron allí la dinámica de las especies, el valor pastoril de la sabana, la productividad animal y la de la cubierta herbácea, la biomasa de las raíces y la fertilidad del suelo bajo el efecto de fuegos periódicos, las diferentes cargas animales y los diferentes períodos de descanso después de la quema y antes del pastoreo. Se propusieron luego a los finqueros modelos mejorados de explotación de la sabana nativa.

Se presentan aquí algunos resultados de la dinámica de la vegetación sometida a diferentes tipos de manejo y se hacen propuestas para la recuperación de los pastos degradados.

La respuesta de la vegetación, como aumento o disminución de la presencia

de la cobertura o biomasa aérea, a cualquier tipo de estrés es inmediata (desde el primer año). Posteriormente, esa respuesta evoluciona más lentamente.

Las quemas anuales de la vegetación que estuvo protegida durante varios años producen una reacción muy diferente, dependiente de la época de quema. Las especies más sensibles (entre las más frecuentes) son: *Andropogon bicornis*, *Otachyrium versicolor* y, sobre todo, *Axonopus purpusii*, *Gymnopogon foliosus* y *Trachypogon vestitus*.

Quemas efectuadas cada 16 meses durante 5 años (o con menor frecuencia) no afectan tanto la sabana y permiten mantener la biodiversidad, la productividad y el valor pastoril. Combinaciones de estas formas de manejo fueron utilizadas para experimentar modelos de explotación de la sabana nativa en Carimagua.

Las distintas cargas animales afectan de manera diferente la presencia y la dinámica de las especies botánicas. La explotación de la sabana ocasiona una disminución de todas las especies importantes, sobre todo en el primer año. Sólo *A. purpusii* aumenta su presencia y su cobertura (o su biomasa).

El descanso después de la quema y antes del pastoreo (0, 2, 4, 8 semanas) ocasiona también importantes cambios en la dinámica de

* Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

** Biólogo, CIAT, Cali, Colombia.

todas las especies, especialmente en el primer año. Aumentan también en esta etapa la frecuencia y la cobertura de *A. purpusii*, mientras que disminuyen las de las demás especies.

Introducción

En los Llanos Orientales de Colombia han ocurrido siempre cambios de vegetación. A lo largo de la historia geológica, ecológica y climática de esa región hubo cambios considerables en la relación proporcional entre sabana abierta, bosque de sabana y selva.

Estado original de la vegetación de los Llanos Orientales

Los diagramas de polen realizados por Thomas van der Hammer (1992) muestran los cambios mencionados, especialmente ocurridos durante la era del Cuaternario (Holoceno y Pleistoceno), es decir, desde el Paleolítico hasta nuestra época. Se registra, por ejemplo, entre 4000 y 3800 años antes de la época actual, un período en que casi no existía la sabana abierta que se conoce actualmente. Hubo luego un periodo más húmedo y frío, cuando cambios importantes modificaron la fisonomía de los Llanos; por ejemplo, la selva y la sabana arbolada o arbustiva dominaron el paisaje.

Hace menos de 2000 años había, en los Llanos Orientales de Colombia, más de 50% de bosque y de sabana arbustiva; esta condición no sobrepasa hoy el 5%.

Estado actual de la vegetación

La fisonomía actual de la vegetación de los Llanos, o sea, una sabana abierta casi sin arbustos en los bancos y con bosques a lo largo de los ríos (bosques de galería), es muy reciente. Esta

sabana es el resultado del cambio de clima ocurrido durante los últimos miles de años, en que el clima se tornó más seco y las temperaturas se hicieron más altas.

La sabana 'estacional' actual, según Sarmiento (1990), es una consecuencia de la interrelación de varios factores:

- aparición de la estacionalidad del clima: una época seca de 3 meses que alterna con una época lluviosa el resto del año;
- régimen hídrico del suelo: el nivel freático es bajo en la época seca;
- pobreza físico-química de los suelos; y
- efecto de la quema sobre la vegetación: puede ser un factor ecológico natural o un factor antropológico (la quema se emplea para manejar los pastos, como sucede actualmente).

Aparte de la quema, otros factores antropológicos de manejo de los pastos nativos influyen en la vegetación. Los más importantes son el pastoreo (con diferente tasa de carga animal), el descanso después o antes de la quema, la siembra de leguminosas forrajeras asociadas con los pastos, y los cultivos anuales. Durante 6 años se estudiaron estos factores en el Centro de Investigación Agropecuaria (CI) Carimagua, en Meta, Llanos Orientales. Los autores se preguntaron además si estos factores influían de manera positiva, es decir, mejorando la productividad, o de manera negativa en los pastos nativos.

Objetivos

Los objetivos de este estudio de la dinámica de la vegetación de los Llanos son una respuesta a las siguientes preguntas específicas:

- ¿Qué efectos tienen la carga animal (sobrepastoreo o subpastoreo) y el descanso de la vegetación después de la quema (el tiempo de descanso, la época de la quema u otro manejo) en la vegetación?
- ¿Cuáles son los mejores índices o parámetros que pueden indicar los cambios experimentados por la vegetación? Se sugieren los siguientes: biodiversidad, frecuencia de las especies, aparición de arbustos o especies no deseables, valor pastoril, porcentaje de cobertura del suelo, reflectancia terrestre o por satélite de la vegetación?
- De estos índices, ¿cuáles son los que mejor pueden utilizar los técnicos o productores para indicar degradación o mejoramiento de la vegetación?
- ¿Es posible manipular la vegetación (con la quema, por ejemplo) para recuperarla después de su degradación?
- ¿Hay alguna posibilidad de combinar, en modelos nuevos, estos factores de manejo para mejorar la productividad de los pastos nativos y, por consiguiente, para aumentar la producción animal de manera sostenible, o sea, sin que se degrade la vegetación?

Materiales y Metodología

Para responder estas preguntas se hicieron varios ensayos en diferentes lugares y con distintos tipos de suelos del CIA Carimagua, entre 1990 y 1996.

Los materiales empleados para el ensayo (sitios, suelos, tipos de vegetación, muestreos, tratamientos) se presentan esquemáticamente en el Cuadro 8-1. La dinámica de la vegetación de los Llanos se estudió durante más de 5 años aplicando una

metodología de tipo evolutivo basada en los siguientes parámetros:

- **Frecuencia de las especies.** Número de veces que una especie se presenta en un número dado de parcelas de muestreo o de puntos de muestreo. Se evalúa aquí la contribución de cada especie a la constitución de la pastura mediante la fórmula calculada por Daget y Godron (1995):

$$CS_i = FC_i / \sum FC_i * 100 = n_i / \sum n_i * 100 \quad (1)$$

donde:

CS_i = contribución de la especie i ;

FC = frecuencia centesimal (es decir, en porcentaje respecto a 100 muestras) de la especie i ;

$\sum FC_i$ = sumatoria de la frecuencia centesimal de todas las especies;

n_i = número de unidades de muestreo donde se encuentra la especie i ;

$\sum n_i$ = sumatoria del número de unidades de muestreo en que está i .

- **Cobertura que da la especie.** Es la fracción proporcional de la superficie del suelo que está ocupada por la proyección perpendicular de la parte aérea de los individuos de la especie que se considera (Paladines 1992). Se expresa mediante una frecuencia centesimal:

$$FC_i = n_i / N * 100 \quad (2)$$

donde:

n_i = número de unidades de la muestra donde hay presencia de la especie i ;

N = número total de unidades de la muestra.

Esta cobertura es un índice relativo de la biomasa aérea de la vegetación. Puede usarse también

Cuadro 8-1. Lugares, suelos, tipos de ensayo y de muestreo empleados (signo +) en el estudio de la dinámica de la vegetación de los Llanos Orientales, en Carimagua, Colombia.

Ensayo no.	Lugar (en Carimagua) y tipo de suelo (textura)	Tipo de ensayo	Tratamientos y análisis aplicados							
			En vegetación				En suelo ^a		En animales ^b	
			Transectos	Cortes de biomasa	Cortes de rebrotes	Análisis de tejidos	Palatabilidad	Raíces	Análisis	Pesos
1	Vitrina: Arcilloso	Productividad	+	+	+	+				
2	Alegria: Arenoso	Productividad	+	+	+	+				
3	Alegria: Arenoso	Epoca de quema	+	+	+					
4	Introducciones II: Arcilloso	Manejo	+	+	+	+	+	+	+	+
5	Caribey Arcilloso	Manejo	+	+	+	+	+	+	+	+
6	Pasoganado: Arcilloso	Manejo	+	+	+	+	+	+	+	+
7	Alegria: Arenoso	Manejo	+	+	+	+	+		+	+
8	Panicum: Arenoso	Regeneración	+	+	+		+		+	

a. Indica que se tomaron muestras de raíces a diferentes profundidades y que se practicaron análisis convencionales de suelos.

b. Se refiere al ganado bovino presente en los ensayos y a los datos de ganancia de peso que pudieron tomarse.

como un índice de la degradación de la vegetación. La frecuencia de las especies se establece aplicando la metodología de los “puntos cuadrados alineados” (Daget y Poissonet 1991) a lo largo de transectos fijos de 20 m en la pastura, donde la unidad de muestreo (o superficie de la muestra) es el punto de una aguja.¹

- **Productividad del pasto nativo.**

Se mide haciendo cortes de la vegetación en pequeñas parcelas y determinando la producción y la productividad en la M.S. de los cortes (Daget y Godron 1995); se emplean dos expresiones:

$$\text{Prod.} = \text{kg/ha, de M.S.};$$

$$\text{Prod.} = \text{g/m}^2 \text{ por día, de M.S.} \quad (3)$$

- **Valor alimenticio.** Se obtiene mediante análisis bromatológicos (Salinas y García 1985).
- **Apetibilidad o preferencia por los animales.** Equivale, en el pasto, al atributo de palatabilidad o gustosidad. Se evalúa a lo largo de transectos, mediante observaciones directas y por encuestas hechas a los vaqueros. Se intentó conocer la dieta de los animales empleando ejemplares fistulados pero éstos, acostumbrados a consumir pastos mejorados, no se adaptaron a la sabana nativa.
- **Valor pastoril de la sabana.** El índice de valor pastoril (IVP) combina o promedia la frecuencia de una especie, su productividad,

su calidad y la preferencia que les dan los animales. El IVP es un valor específico, individual, y permite comparar fácilmente diferentes pastos nativos de una región (Rippstein 1989). El valor pastoril, VP, responde a la fórmula:

$$\text{VP} = \text{IVP} \cdot \text{CS}_i$$

Resultados y Discusión

La dinámica de una especie proviene, principalmente, de su contribución específica y de su valor pastoril. El Cuadro 8-2 presenta la frecuencia relativa, es decir, la contribución de cada especie en porcentaje (frecuencia centesimal), y el ‘valor pastoril’ de las especies dominantes de una pastura nativa de los Llanos Orientales de Colombia, que ha sido manejada con quema en diferentes épocas del año y pastoreada con diferentes cargas durante 10 años.

Se observa, en primer lugar, la influencia de la *época de quema* en la frecuencia relativa:

- La quema anual en abril favorece la dominancia de las gramíneas *Gymnopogon foliosus* (34.8%) y *Trachypogon vestitus* (38.0%).
- La quema anual en agosto causa una ‘explosión’ de *Axonopus purpusii* (45.1%), la desaparición de *G. foliosus*, una disminución de *T. vestitus* (cae hasta un 19.5%), y la aparición de *Andropogon selloanus* (11.7%), cuya presencia era mínima en el tratamiento de quema en abril.
- La quema anual en diciembre modifica la frecuencia relativa de las especies, así: la gramínea dominante es *T. vestitus* (51.5%); la siguen *Andropogon leucostachyus* y *Otachyrium versicolor*, ambas con casi un 11%. Estas dos últimas especies están poco representadas en los dos tratamientos anteriores.

1. Un transecto lineal de 20 m se hace con una cinta métrica y dos varillas que la sostienen a una altura de 1 m sobre la superficie del suelo. Cada 20 cm en la cinta se deja caer hacia el suelo una aguja fina de cobre de 120 cm de largo y las especies vegetales que toquen la aguja son registradas (censadas). Ninguna especie tocará la aguja (y no habrá ‘lectura’ en ese punto) si el suelo está descubierto.

Cuadro 8-2. Frecuencia relativa (%) y valor pastoril (VP) de las especies dominantes de una sabana nativa manejada con quema (en diferentes épocas del año) y con diferente carga durante 10 años.

Especie de la sabana	Indice de VP (4 semanas)	Frecuencia relativa (%)					
		Con carga baja (0.25 UA/ha) y quema en:			Con carga alta (0.50 UA/ha) y quema en:		
		Abril	Agosto	Diciembre	Abril	Agosto	Diciembre
Gramíneas principales							
<i>Axonopus purpusii</i>	2.7	0	45.1	6.2	0.6	62.0	10.4
<i>Andropogon leucostachyus</i>	2.3	2.6	5.3	11.9	1.3	3.5	7.1
<i>Gymnopogon foliosus</i>	1.7	34.8	0.3	0	48.7	0	0
<i>Otachyrium versicolor</i>	1.3	3.0	3.4	11.8	11.7	6.1	5.8
<i>Trachypogon vestitus</i>	2.7	38.0	19.5	51.5	12.1	3.3	3.7
<i>Andropogon selloanus</i>	1.7	1.1	11.7	5.7	12.1	8.2	55.6
<i>Andropogon bicornis</i>	0.7	0.3	0.7	7.2	3.5	10.4	13.2
Otras especies							
Gramíneas	1.7	13.4	6.3	2.7	6.3	4.2	0.9
Leguminosas	2.0	0.6	0.6	1.0	0.3	0.8	0.4
Ciperáceas	0.8	1.6	0.3	1.0	2.3	0.4	0.4
Otras Dicotiledóneas	0.8	1.1	0.8	1.0	1.1	1.1	2.3
VP		50.0	57.2	55.3	43.1	55.8	42.5

Se observa también en esta quema la aparición de *Andropogon bicornis*, una gramínea poco deseable por su bajo valor pastoril.

La carga alta trae consigo, en la quema de abril, un aumento adicional de la presencia de *G. foliosus*; en la quema de agosto, un gran aumento en la frecuencia de *A. purpusii* (62%); y en la quema de diciembre, la dominancia de *Andropogon selloanus*, una especie cuyo índice de valor pastoril (1.7) es regular.

Valor pastoril

La frecuencia de una especie, combinada con su IVP —que se toma aquí cuando las plantas tienen 4 semanas de edad— permite calcular el VP de la pastura y comparar pasturas de la misma área conformadas por las mismas especies. En el caso estudiado (Carimagua), se observó una diferencia en el valor pastoril del pasto según la época de quema y una disminución de este valor al establecer la carga alta, especialmente en las quemas de abril y diciembre. Este resultado implica una diferencia de productividad en estos pastos y, probablemente, diferencias de producción animal.

En las Figuras 8-1A, 8-1B y 8-1C se observa tanto la dinámica de la vegetación pastoreada como la influencia de la carga; en las Figuras 8-2A, 8-2B, 8-2C y 8-2D se muestra el descanso de 0, 2, 4 u 8 semanas después de hacer una quema cada 16 meses.

- La Figura 8-1A presenta la dinámica de la sabana nativa; la Figura 8-1B ilustra la influencia de la carga (baja, media o alta) en la vegetación de la sabana; la Figura 8-1C describe la contribución específica de las especies, en porcentaje.

En estas figuras se observa el cambio que experimentó la frecuencia de las especies durante 5 años por efecto del cambio de carga animal:

- En el primer año, generalmente, hay muchos cambios; en los años siguientes la vegetación es estable. Como en el ejemplo anterior, la carga afecta la contribución específica de cada especie. Este año se nota también un aumento de las especies secundarias, de diverso orden, en todos los tratamientos.
- Pasados 5 años, los cambios más importantes ocurren en *A. purpusii* y en *A. bicornis*, en todos los tratamientos.
- La Figura 8-2A presenta la dinámica de la sabana nativa; la Figura 8-2B ilustra la influencia del descanso (0, 2, 4 u 8 semanas después de la quema) en la vegetación de la sabana; la Figura 8-2C describe la contribución específica de las especies, en porcentaje.

Este descanso (después de la quema y antes del pastoreo) ocasiona también cambios importantes durante el primer año y un aumento espectacular de la contribución de *A. purpusii*.

- La Figura 8-3A presenta la dinámica de la sabana nativa; la Figura 8-3B ilustra la evolución del valor pastoril y la influencia de la carga y el descanso después de la quema. En ambas se observa un aumento de este índice en todos los tratamientos.

No se observó una disminución del valor pastoril a causa de la carga alta porque los animales no pastorearon las parcelas de este tratamiento (ya degradadas) en la época seca, por falta de pasto. En los tratamientos de 'descanso', el valor pastoril mejoró en el

tratamiento de descanso de 4 semanas, entre 1991 y 1996; asimismo, no se degradó el pasto en el tratamiento en que no hubo descanso (cero semanas), aunque podría esperarse una degradación.

Dinámica de la cobertura que dan las especies

La cobertura del suelo, en porcentaje, puede considerarse una muestra relativa de la biomasa de la vegetación o del suelo descubierto; es decir, es una muestra o índice de la degradación sufrida por la vegetación, o sea, del peligro de erosión del suelo.

- Las Figuras 8-4A, 8-4B y 8-4C presentan la dinámica de la sabana nativa, indicando la influencia de la carga animal (A = carga baja, B = carga media, C = carga alta) y la relación cobertura/biomasa aérea (de las plantas de las especies).

En estas figuras se muestra, para las tres cargas, la dominancia de dos especies o de un grupo de especies: *Paspalum pectinatum*, *A. purpusii* o las gramíneas diversas o secundarias. Podemos observar también la disminución de la cobertura de casi todas las especies. Solamente para *A. purpusii* y *G. foliosus* la cobertura aumentó entre 1991 y 1995.

Al llegar el descanso (Figuras 8-5A, 8-5B, 8-5C y 8-5D) se observa la misma tendencia en la dominancia de las mismas especies. La razón es que todas las especies que dominan aquí la pastura tienen un porte más o menos igual.

- Las Figuras 8-5A, 8-5B, 8-5C y 8-5D presentan la dinámica de la sabana nativa, indicando la influencia del descanso después de la quema y la relación cobertura/biomasa aérea (de las plantas de varias especies, en %).

- Las Figuras 8-6A y 8-6B presentan la dinámica de la sabana nativa, indicando la influencia de la carga animal (A) y del descanso (B) después de la quema, así como la relación cobertura/biomasa aérea.

La cobertura o biomasa aérea total de la vegetación (Figuras 8-6A y 8-6B) disminuye drásticamente en todos los casos, es decir, la biomasa (o la productividad de los pastos) disminuye en todos estos modelos de manejo de los pastos nativos, especialmente en las cargas alta y media.

La degradación de la productividad se observa también en los rebrotes después de la quema (Cuadro 8-3). La productividad disminuyó drásticamente entre 1991 y 1994. Se observó que disminuye cuando aumenta la carga y también cuando llega la juventud de los rebrotes.

Recuperación de pastos nativos degradados

Se estudiaron también algunos medios para recuperar los pastos nativos degradados. En las figuras siguientes se presentan los resultados de algunos ensayos en que hubo descanso de la vegetación y también quema de la vegetación.

Cuadro 8-3. Productividad de los rebrotes de los pastos de la sabana nativa después de la quema mostrando la influencia de la carga animal en este fenómeno.

Años	Carga animal	Productividad (g M.S./m ² por día)		
		Para edad de los rebrotes de:		
		14 días	28 días	56 días
1991	Alta	21	29	37
1994	Alta	4	8	17
1991	Media	22	48	34
1994	Media	5	15	32
1991	Baja	20	28	36
1994	Baja	9	13	35

- La Figura 8-7 ilustra la recuperación de la sabana nativa degradada en 1991 y la influencia del descanso (sin quema) después 1991.

La pastura presentada en la Figura 8-7 se degradó porque se hicieron cortes de los rebrotes cada 4 semanas durante 1 año. Después del primer año se observó la degradación de la pastura, que se manifestó en los siguientes fenómenos:

- aparición del suelo, que quedó descubierto en un 15% (0% antes de los cortes);
- disminución del número de especies forrajeras;
- aumento considerable de la contribución de poáceas poco productivas, como *Mesosetum pittieri*, y de ciperáceas (*Rhynchospora podosperma*);
- disminución de la contribución de especies de VP bueno, como *Paspalum pectinatum* y *T. vestitus*.

En 1995, o sea, 4 años después del descanso, la vegetación se recuperó: no

se observó entonces el suelo descubierto y las especies hacían casi la misma contribución que en 1990.

El Cuadro 8-4 presenta la dinámica de la vegetación nativa protegida de la quema durante 2 años, en los Llanos Orientales de Colombia. Este cuadro muestra el efecto de 2 años de descanso en la vegetación, o sea, la recuperación del VP del pasto nativo al cabo de ese tiempo.

Otro ejemplo de recuperación es una pastura nativa invadida por la especie *Panicum rudgei*; ésta tiene poca aceptación entre los animales, aun siendo muy joven, porque sus hojas están cubiertas de pelos que no gustan al ganado. Además, se ha reportado que causa fotosensibilidad en el ganado (Escobar 1995).

En este ensayo se recurrió a la quema para recuperar la pastura.

- La Figura 8-8 ilustra la recuperación de la sabana nativa degradada por *Panicum rudgei* y el efecto del descanso en las especies nativas.

Se presenta aquí el efecto de la quema anual en la vegetación

Cuadro 8-4. Dinámica de la vegetación nativa protegida de la quema durante 2 años en los Llanos Orientales de Colombia [contribución específica (CS, %) y 'valor pastoril' (VP) a las 4 semanas].

Componentes de la vegetación	IVP	En marzo de 1992		En marzo de 1994	
		CS (%)	VP	CS (%)	VP
<i>Andropogon bicornis</i>	0.7	16.0	11.2	2.9	2.1
<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	1.3	23.3	30.3	4.6	6.0
<i>Andropogon leucostachyus</i>	2.3	1.0	2.3	7.1	6.3
<i>Paspalum pectinatum</i>	2.3	23.0	52.9	11.4	26.2
<i>Axonopus purpusii</i>	2.7	0.3	0.8	19.6	52.9
<i>Trachypogon vestitus</i>	2.7	21.1	57.0	41.3	111.5
<i>Trasya petrosa</i>	1.7	0.1	0.2	4.6	7.8
Otras gramíneas	1.7	13.0	22.1	4.2	7.1
Leguminosas	2.0	0.2	0.4	0.3	0.6
Otras dicotiledóneas	0.8	2.0	1.6	1.6	1.3
Ciperáceas	0.8	0	0.8	2.4	1.9
Total (%)		100.0		100.0	
VP del pasto		42.1		58.4	

degradada, es decir, dominada por *P. rudgei*. En 1992, al principio del ensayo, la contribución de *P. rudgei* era alrededor de 80%. Después de practicar la quema anual durante 4 años, esa contribución disminuyó hasta menos del 10% en septiembre de 1995.

La mejor época para la quema fue la época lluviosa, antes de la madurez y de la dispersión de las semillas.

Conclusiones

El pastoreo de la sabana nativa de los Llanos Orientales y el uso de la quema como práctica de manejo de esa sabana producen, a mediano y largo plazo, dos efectos en una vegetación que no haya sido pastoreada con intensidad anteriormente:

- una disminución de la productividad;
- la degradación de la vegetación, a veces, cuando ésta es mal manejada.

Ejemplos de mal manejo son una carga animal muy alta o un descanso demasiado corto después de la quema y antes del pastoreo. La degradación puede conducir a la pérdida de la biodiversidad o a la aparición del suelo (despajado de vegetación) en la superficie del terreno.

La vegetación puede ser recuperada si se le da descanso y, a veces, se le hace una quema combinada con descanso.

Se ensayaron modelos de explotación de la sabana con ganado bovino en Carimagua. Se concluyó que existe la posibilidad de obtener una producción animal igual o mejor que en el sistema tradicional manteniendo la biodiversidad, la productividad y el valor pastoril de la sabana a largo plazo (Figura 8-9). Estos modelos se describen en el Capítulo 9 de esta obra (ensayos de Caribey, Corin, Pasogonado I y Pasogonado II).

Referencias

- Daget P.; Godron M. (eds.). 1995. Pastoralisme, troupeaux, espaces et société. Agence francophone pour l'enseignement supérieur et la recherche, AUPELF-UREF, Hatier-aupelf, Francia. 510 p.
- Daget P.; Poissonet J. 1991. Prairies permanentes et pâturages: Méthodes d'étude. Institut de Botanique, Montpellier, Francia. 353 p.
- Escobar M. 1995. Degradación de pasturas mejoradas por la presencia de especies no deseadas, en Carimagua, Llanos Orientales, Meta (Colombia). Trabajo especial (Ing. Agrón.). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional-Sede Palmira, Palmira, Colombia. 90 p+.
- Paladines O. 1992. Metodología de pastizales. Manual No. 1: Pastos y forrajes. En: PROFOGAN (Proyecto de Fomento Ganadero). Serie metodológica. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y Agencia Alemana para la Cooperación Técnica (GTZ), Quito, Ecuador. 219 p.
- Rippstein G. 1989. Une méthode d'étude et de classification des pâturages tropicaux. En: XVI Congrès International des Herbages, Niza, octubre 1989. Niza, Francia. p. 1435-1436.
- Salinas J. G.; García R. 1985. Métodos químicos para el análisis de suelos ácidos y plantas forrajeras. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 83 p.
- Sarmiento G. 1990. Ecología comparada de los ecosistemas de sabanas en América del Sur. En: Sarmiento G. (ed.). Las sabanas americanas. Actas del Simposio IUBS y MAB (Man and Biosphere), Programa Hombre y Biosfera de la UNESCO, celebrado en Guanare, Venezuela. CIELAT, Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. p 15-56.
- Van der Hammen T. 1992. Historia, ecología y vegetación. Corporación Colombiana para la Amazonia (COA), Araracuara. COA, Santafé de Bogotá, D.C., Colombia. 411 p.

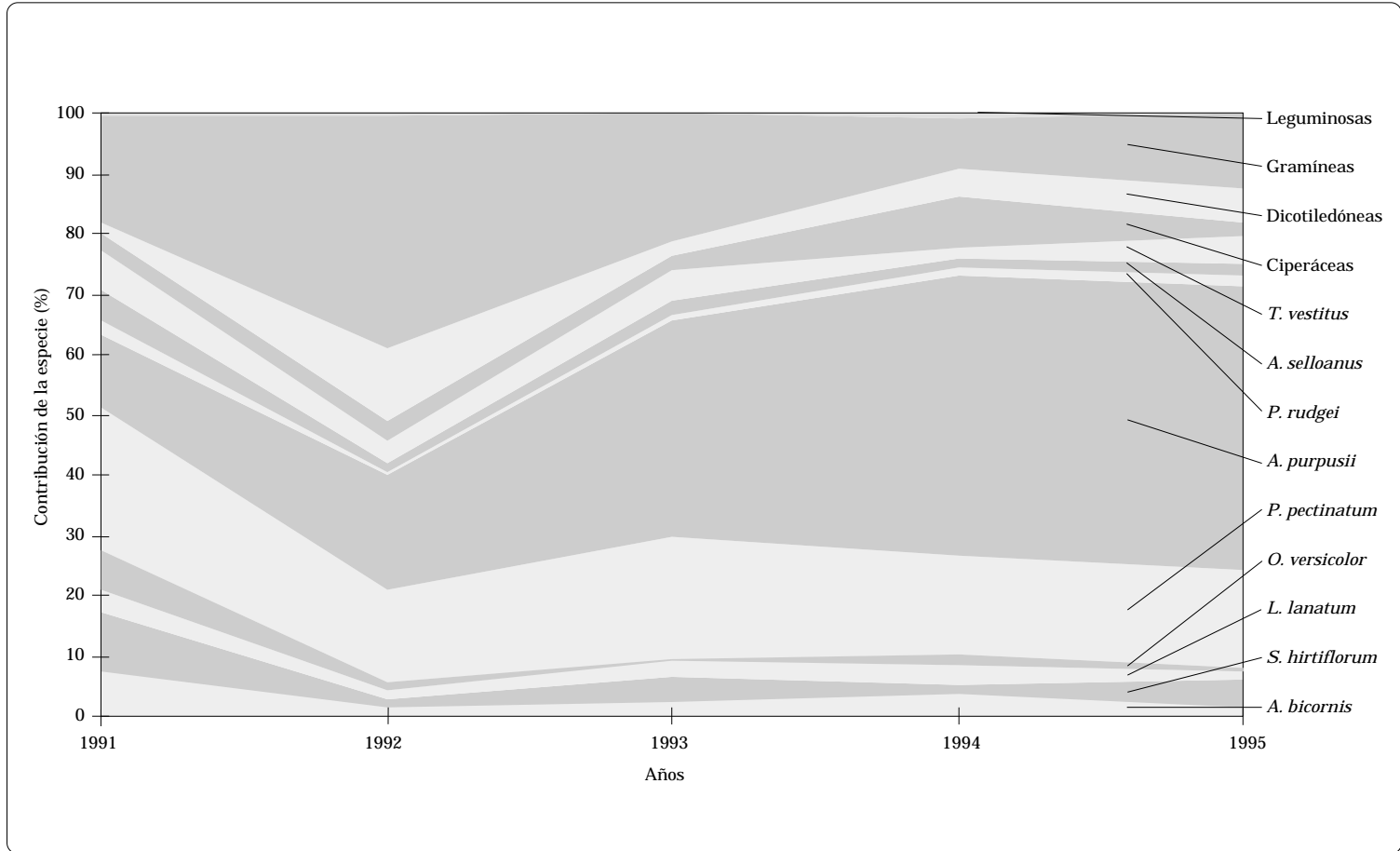


Figura 8-1A. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia sometida a carga animal alta (2 ha/An.).

Tabla 8-1A.

Año	Contribución (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	7.9	9.2	4.3	7.7	26.6	11.9	1.8	3.8	8.6	1.4	1.2	15	0.5	99.9
	8	7.6	3.5	4.2	16.2	14.6	1.7	5	7.4	5.2	2.8	23.2	0.7	100.1
	6.2	9.7	4.3	7.9	28.1	8.2	3.6	5.1	6.6	1.7	3.1	14.4	1.1	100
	7.1	14	2.9	4.4	24.9	13.7	2.1	5.9	4	2.3	0.2	18.3	0.1	99.9
	Promedio	7.3	10.1	3.8	6.1	24.0	12.1	2.3	5.0	6.7	2.7	1.8	17.7	0.6
1992	1.6	0.7	0.4	2	12.7	21.9	0.9	1.6	1.4	3.6	14	38.6	0.5	99.9
	1.2	0.5	0.5	1.8	10	20	0.2	2.5	5.2	2.9	14.4	40.6	0.2	100
	1.5	1.7	0.7	1.2	16.6	20.9	0.3	1.2	4.2	2.3	13	35	1.5	100.1
	1.9	1.7	3	1.9	21.3	13.5	0.6	0.7	3.4	3.9	8.6	39.3	0.4	100.2
	Promedio	1.6	1.2	1.2	1.7	15.2	19.1	0.5	1.5	3.6	3.2	12.5	38.4	0.7
1993	1.3	2.9	2.6	0	15.1	35.7	1.5	3.1	5.6	3.1	2.7	27.3	0.2	101.1
	2.5	3.2	4.6	0	16.2	36.9	0.2	2.4	4.4	2.9	5.4	21.3	0	100
	2.5	6.4	1.8	0.2	25	32.4	1.7	2.9	4.4	1.3	0.7	20.7	0	100
	3.4	4.5	1.8	0	25.2	38.4	0.8	0.6	5.5	2.6	0	17	0.2	100
	Promedio	2.4	4.3	2.7	0.1	20.4	35.9	1.1	2.3	5.0	2.5	2.2	21.6	0.1
1994	2.2	0.9	1.9	2.8	11.1	51	2.8	1.6	1.9	8.3	6.9	7.6	1	100
	3.5	0.7	3	3	15.2	44.6	0.5	1.5	1.8	6.3	8.1	10.3	1.5	100
	4.2	3.8	4.1	1	20.7	42.3	1.5	1.1	1.1	10.1	2	8	0.2	100.1
	3.9	1.6	3	0.5	19.5	48.8	0.7	1	1.6	9.7	1	8	0.7	100
	Promedio	3.5	1.8	3.0	1.8	16.6	46.7	1.4	1.3	1.6	8.6	4.5	8.5	0.9
1995	1.5	3.9	1	0	8.3	64.9	2.2	3.4	5.9	2.4	5.1	1.5	0	100.1
	2	8.4	0.9	0.5	13.3	36	2	1.8	3.2	2.9	11.5	17.4	0	99.9
	1.5	3.3	3.3	0	18	42.1	1.5	2.9	5.9	1.7	3.1	16.7	0	100
	0.7	2.6	1.3	0.2	25.3	45.6	0.9	0.4	3.1	2.2	3.9	13.8	0	100
	Promedio	1.4	4.6	1.6	0.2	16.2	47.2	1.7	2.1	4.5	2.3	5.9	12.4	0

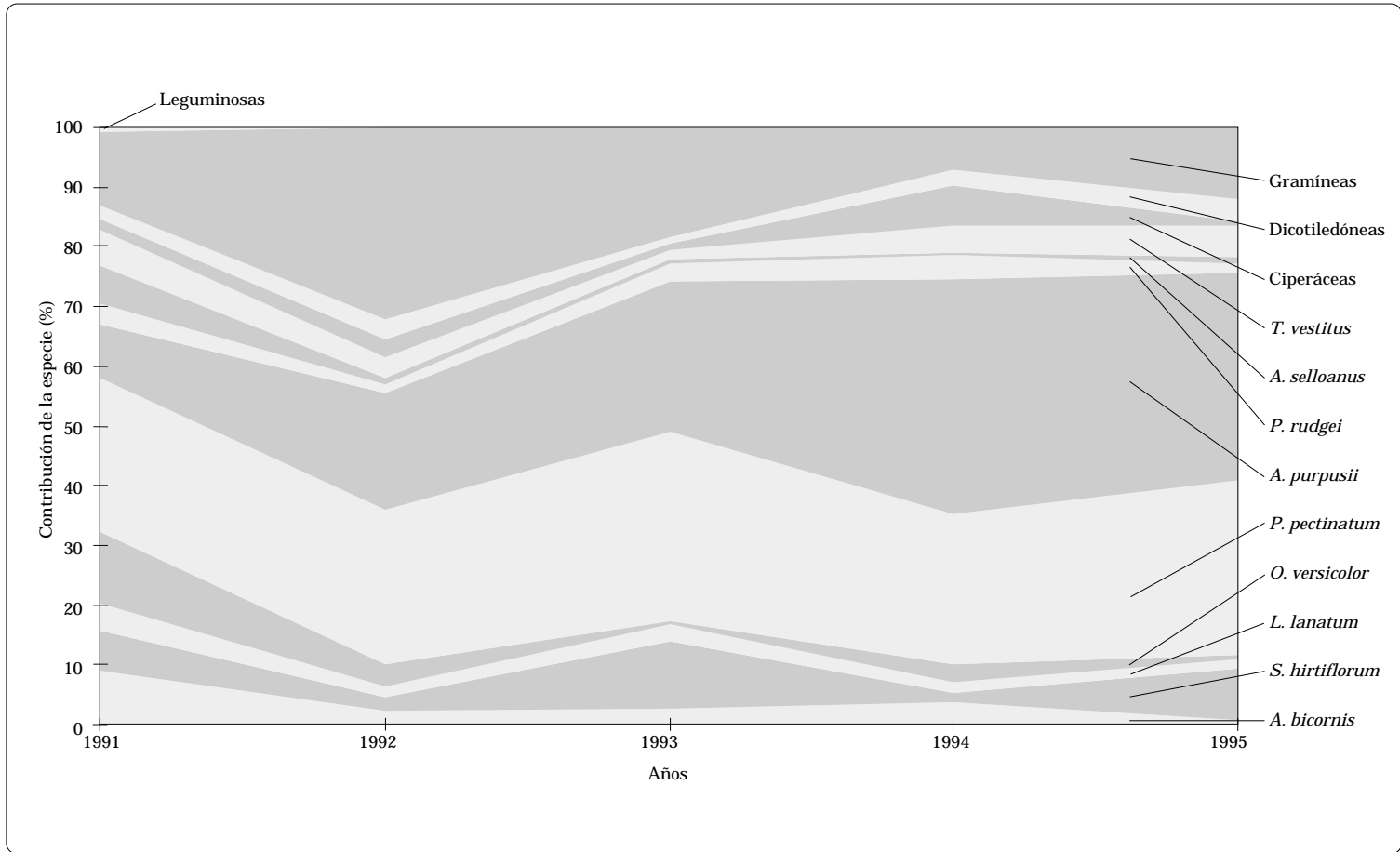


Figura 8-1B. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia sometida a carga animal media (4 ha/An.).

Tabla 8-1B.

Año	Contribución (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	10.4	5	3.1	10.1	36	5.7	3.6	5.1	2.5	1.3	2.5	14.3	0.4	100
	10.6	5.4	5.3	13.1	19.1	12.9	1.3	8.6	8.8	2.4	0.6	10.6	1.1	99.8
	5.1	7	6.6	13.1	24.1	7	5.3	5.9	6.1	1.2	3.3	14.5	0.8	100
	9.7	9.9	3.1	11	23.9	11.3	2.5	6.6	6.2	3.2	1.7	10.6	0.4	100.1
Promedio	9.0	6.8	4.5	11.8	25.8	9.2	3.2	6.6	5.9	2.0	2.0	12.5	0.7	99.975
1992	2.3	1.2	1.4	3.5	24.8	21.1	0.3	0.9	1.7	2.4	1.4	39.1	0	100.1
	3.1	2.3	1.1	4.3	25.2	18	2.7	1.5	4.3	2.4	1.2	33.9	0	100
	0.6	3	2.9	4.5	26.7	18.2	2.9	1.4	2.2	6.6	4.3	26.7	0	100
	2.5	3.1	1.9	2.5	26.7	20.6	0.6	1.4	4.7	1.2	5.7	29	0.2	100.1
Promedio	2.1	2.4	1.8	3.7	25.9	19.5	1.6	1.3	3.2	3.2	3.2	32.2	0.1	100.05
1993	11.3	16.1	1.4	0.5	42.3	16.5	3.8	0.2	0	1	0.6	16.3	0	100
	3.4	4.7	4.9	0.5	23.7	35.3	2.7	0.8	1.9	0.7	0.7	20.7	0	100
	2.1	16.3	3.2	0	32.4	17.6	3.6	1.5	1.2	1.5	1.5	18.7	0.3	99.9
	3.2	9	2.3	0.3	28.6	31.2	1.2	1.3	2.8	1.2	2	16.8	0	99.9
Promedio	2.5	11.5	3.0	0.3	31.8	25.2	2.8	1.0	1.5	1.1	1.2	18.1	0.1	99.95
1994	3.5	1.8	0.5	4.2	28.5	30.7	8.6	0.4	4.2	9.3	2.9	5.5	0	100.1
	2.7	2.5	2.3	2.1	17.7	47.2	3.8	0.4	6.3	5.4	0.7	8.4	0.5	100
	2.1	1.7	4.2	2.1	26.5	40.9	4	0	4.7	5.1	3.2	5.5	0	100
	6	0.6	0.9	2.8	28.3	37.8	0.9	0.7	2.4	6.7	3.5	9.3	0	99.9
Promedio	3.6	1.7	2.0	2.8	25.3	39.2	4.3	0.4	4.4	6.6	2.6	7.2	0.1	100
1995	0	7.9	0.8	1.2	33.2	34	1.6	1.2	6.9	0.2	1.2	11.9	0	100.1
	2.5	3.7	2.5	0.8	25.5	38.7	0.4	1.9	5.8	0.4	3.3	14.6	0	100.1
	0.2	12.2	1	0.4	35.3	29.7	2	0.6	3.8	0.8	5.8	8.2	0	100
	0.2	10.4	2	0.4	23.6	37.3	2	1	4.2	1.8	3.6	13.6	0	100.1
Promedio	0.7	8.6	1.6	0.7	29.4	34.9	1.5	1.2	5.2	0.8	3.5	12.1	0	100.075

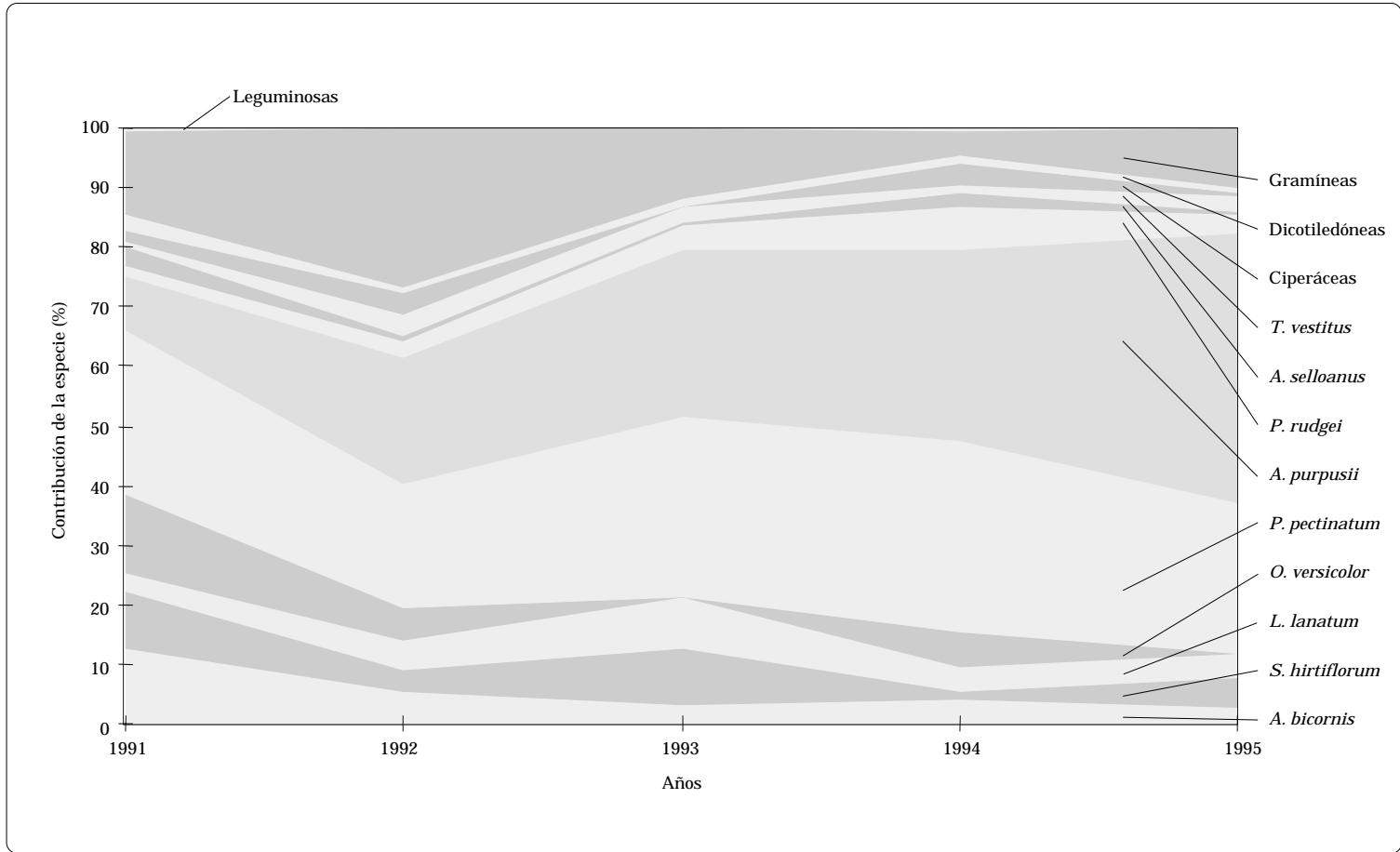


Figura 8-1C. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia sometida a una carga animal baja (6 ha/An.).

Tabla 8-1C.

Año	Contribución (%) de:														
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)	
1991	12.7	9.7	2.8	13.4	27.4	9	2	3.3	0.8	1.8	2.9	13.9	0.4	100.1	
1992	5.6	3.3	5	5.4	21.1	21.4	2.5	0.8	3.9	3.5	0.8	26.9	0	100.2	
1993	3	9.8	8.4	0	30.2	28.4	4.1	0.4	2.4	0.1	1.3	11.9	0	100	
1994	4	1.4	4.2	5.9	31.8	32.4	7.2	2.1	1.5	3.6	1.3	4.2	0.3	99.9	
1995	2.8	4.9	3.9	0	25.3	45.5	3.2	0.2	3	0.3	0.8	10.1	0	100	

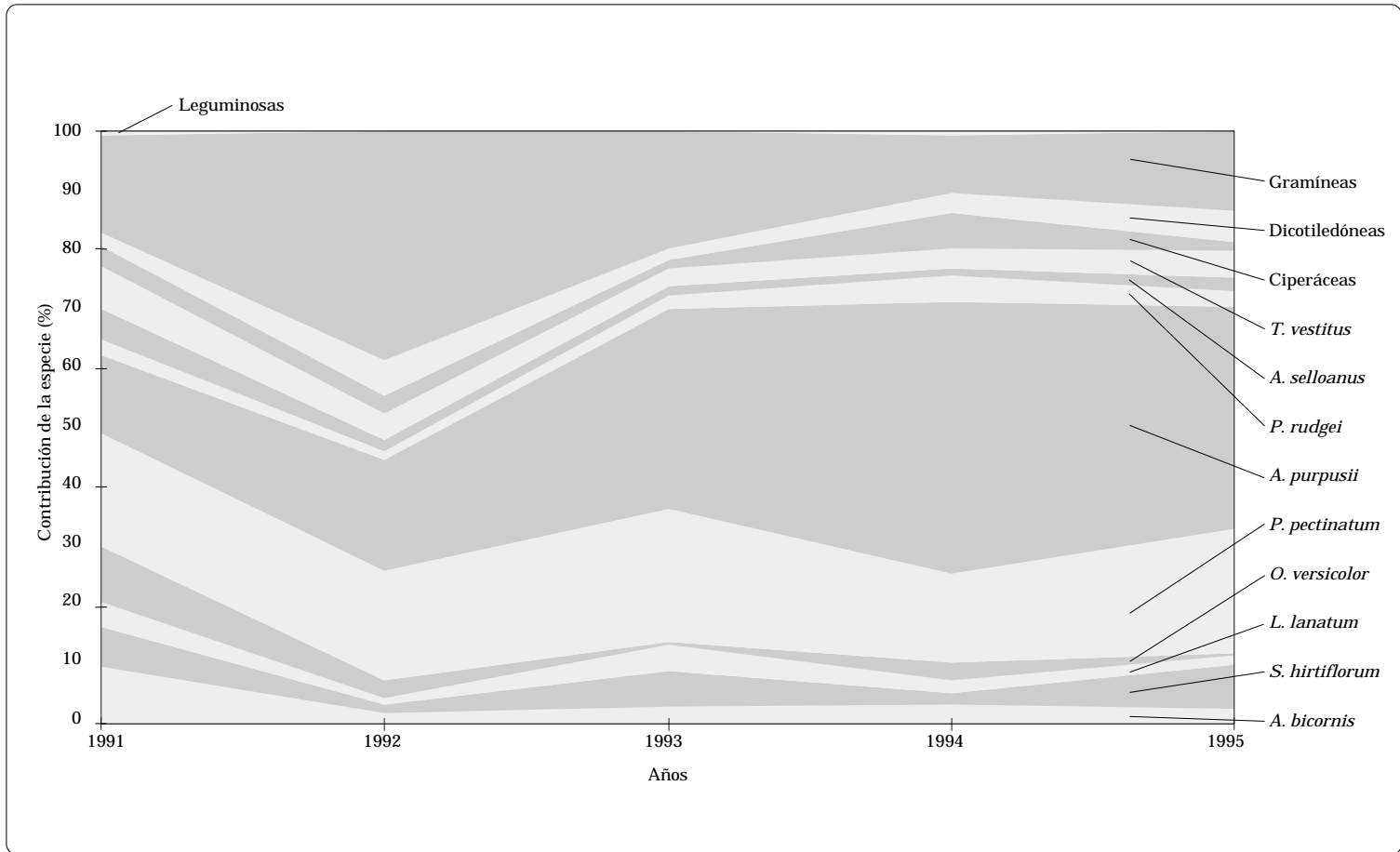


Figura 8-2A. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia influida por el período de descanso (semana 0 después de la quema).

Tabla 8-2A.

Año	Contribución (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	12.4	7.9	4.5	3.8	11	18.5	8.9	6.5	5.4	3	0.6	16	1.4	99.9
	10.4	5	3.1	10.1	36	5.7	3.6	5.1	2.5	1.3	2.5	14.3	0.4	100
	7.9	9.2	4.3	7.7	26.6	11.9	1.8	3.8	8.6	1.4	1.2	15	0.5	99.9
Promedio	10.2	7.4	4.0	7.2	24.5	12.0	4.8	5.1	5.5	1.9	1.4	15.1	0.8	99.9
1992	3.6	1.6	2.1	3.4	22	23.2	3	1.6	3.9	3.6	0.7	30.8	0.6	100.1
	2.3	1.2	1.4	3.5	24.8	21.1	0.3	0.9	1.7	2.4	1.4	39.1	0	100.1
	1.6	0.7	0.4	2	12.7	21.9	0.9	1.6	1.4	3.6	14	38.6	0.5	99.9
Promedio	2.5	1.2	1.3	3.0	19.8	22.1	1.4	1.4	2.3	3.2	5.4	36.2	0.4	100
1993	5.5	7	3.3	0.3	25.6	27.6	5.5	0.8	6	0	0.8	17.6	0	100
	1.3	16.1	1.4	0.5	42.3	16.5	3.8	0.2	0	1	0.6	16.3	0	100
	1.3	2.9	2.6	0	15.1	35.7	1.5	3.1	5.6	3.1	2.7	27.3	0.2	101.1
Promedio	2.7	8.7	2.4	0.3	27.7	26.6	3.6	1.4	3.9	1.4	1.4	20.4	0.1	100.4
1994	9	1.5	1.5	0.6	15.9	40	7	2.6	3.5	6.6	3.5	8.1	0.2	100
	3.5	1.8	0.5	4.2	28.5	30.7	8.6	0.4	4.2	9.3	2.9	5.5	0	100.1
	2.2	0.9	1.9	2.8	11.1	51	2.8	1.6	1.9	8.3	6.9	7.6	1	100
Promedio	4.9	1.4	1.3	2.5	18.5	40.6	6.1	1.5	3.2	8.1	4.4	7.1	0.4	100
1995	4.1	4.3	1.7	0.4	22.7	33.1	2.5	2.3	13.4	1.2	3.1	9.3	1.9	100
	0	7.9	0.8	1.2	33.2	34	1.6	1.2	6.9	0.2	1.2	11.9	0	100.1
	1.5	3.9	1	0	8.3	64.9	2.2	3.4	5.9	2.4	5.1	1.5	0	100.1
Promedio	1.9	5.4	1.2	0.5	21.4	44.0	2.1	2.3	8.7	1.3	3.1	7.6	0.6	100.1

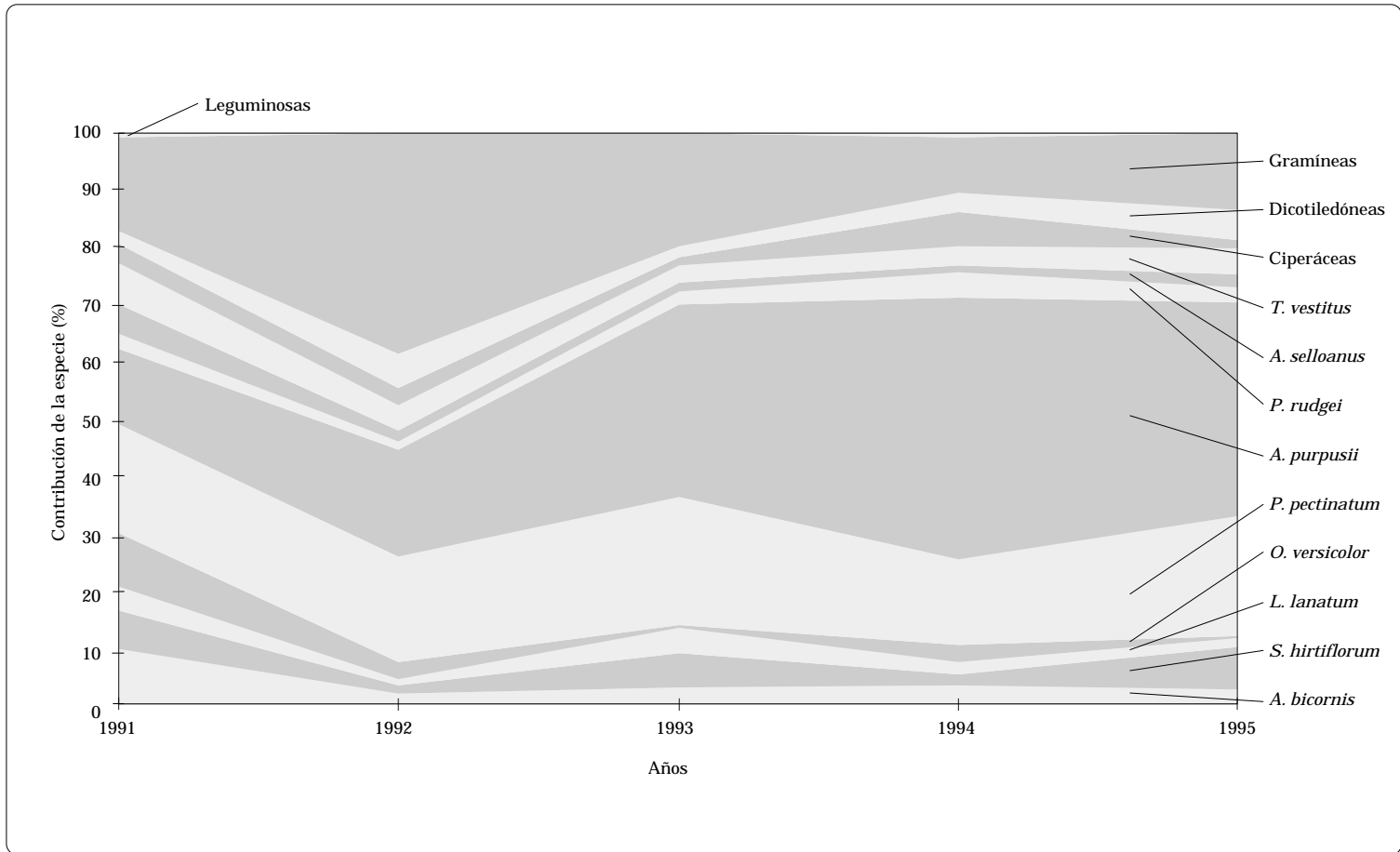


Figura 8-2B. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia influida por el período de descanso (2 semanas después de la quema).

Tabla 8-2B.

Año	Contribución (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	10.6	7	4.3	10.9	21.7	12.2	5.2	1.7	5.5	2.8	3.5	15.6	0.7	101.7
	10.6	5.4	5.3	13.1	19.1	12.9	1.3	8.6	8.8	2.4	0.6	10.6	1.1	99.8
	8	7.6	3.5	4.2	16.2	14.6	1.7	5	7.4	5.2	2.8	23.2	0.7	100.1
Promedio	9.7	6.7	4.4	9.4	19.0	13.2	2.7	5.1	7.2	3.5	2.3	16.5	0.8	100.5
1992	1.8	0.9	1.9	3.2	19.9	18.8	0.6	2.1	3.7	4.3	1.5	41.5	0	100.2
	3.1	2.3	1.1	4.3	25.2	18	2.7	1.5	4.3	2.4	1.2	33.9	0	100
	1.2	0.5	0.5	1.8	10	20	0.2	2.5	5.2	2.9	14.4	40.6	0.2	100
Promedio	2.0	1.2	1.2	3.1	18.4	18.9	1.2	2.0	4.4	3.2	5.7	38.7	0.1	100.1
1993	3.4	9.9	3.4	0.6	28.1	28.4	3.7	1.2	3.4	0.2	0.6	17.1	0	100
	3.4	4.7	4.9	0.5	23.7	35.3	2.7	0.8	1.9	0.7	0.7	20.7	0	100
	2.5	3.2	4.6	0	16.2	36.9	0.2	2.4	4.4	2.9	5.4	21.3	0	100
Promedio	3.1	5.9	4.3	0.4	22.7	33.5	2.2	1.5	3.2	1.3	2.2	19.7	0	100
1994	4.2	2.5	0.8	4.2	11.5	45.6	9.6	1.7	1.7	6.5	1.2	9.8	0.6	99.9
	2.7	2.5	2.3	2.1	17.7	47.2	3.8	0.4	6.3	5.4	0.7	8.4	0.5	100
	3.5	0.7	3	3	15.3	44.6	0.5	1.5	1.8	6.3	8.1	10.3	1.5	100.1
Promedio	3.5	1.9	2.0	3.1	14.8	45.8	4.6	1.2	3.3	6.1	3.3	9.5	0.9	100
1995	3.2	10.8	1.2	0	23.8	37.3	5.6	2.8	5.2	0.8	1.4	7.8	0	99.9
	2.5	3.7	2.5	0.8	25.5	38.7	0.4	1.9	5.8	0.4	3.3	14.6	0	100.1
	2	8.4	0.9	0.5	13.3	36	2	1.8	3.2	2.9	11.5	17.4	0	99.9
Promedio	2.6	7.6	1.5	0.4	20.9	37.3	2.7	2.2	4.7	1.4	5.4	13.3	0	100

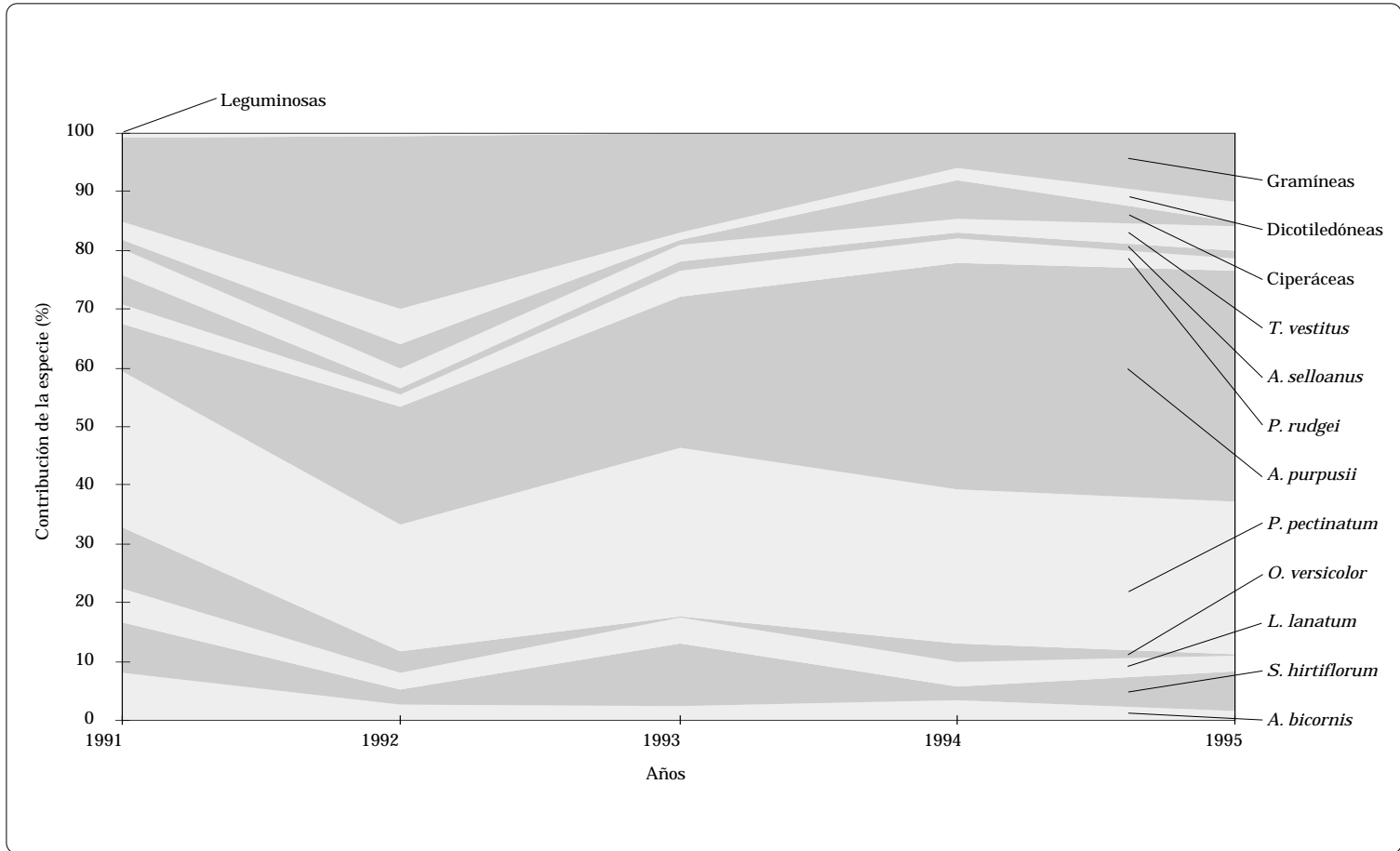


Figura 8-2C. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia influida por el período de descanso (4 semanas después de la quema).

Tabla 8-2C.

Año	Contribución (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	12.7	9.7	5.8	10.5	27.4	8.9	1.9	3.4	0.8	1.8	2.8	14	0.4	100.1
	5.1	7	6.6	13.1	24.1	7	5.3	5.9	6.1	1.2	3.3	14.5	0.8	100
	6.2	9.7	4.3	7.9	28.1	8.2	3.6	5.1	6.6	1.7	3.1	14.4	1.1	100
Promedio	8	8.8	5.6	10.5	26.5	8.0	3.6	4.8	4.5	1.6	3.1	14.3	0.8	100
1992	5.4	3.3	5	5.4	21.1	21.4	2.5	0.8	3.9	3.5	0.8	26.9	0	100
	0.6	3	2.9	4.5	26.7	18.2	2.9	1.4	2.2	6.6	4.3	26.7	0	100
	1.5	1.7	0.7	1.2	16.6	20.9	0.3	1.2	4.2	2.3	13	35	1.5	100.1
Promedio	2.5	2.7	2.9	3.7	21.5	20.2	1.9	1.1	3.4	4.1	6.0	29.5	0.5	100
1993	3	9.8	8.3	0	30.2	28.4	6.5	0.3	2.4	0.2	1.3	11.9	0	102.3
	2.1	16.3	3.2	0	32.4	17.6	6	1.5	1.2	1.5	1.5	18.7	0.3	102.3
	2.5	6.4	1.8	0.2	25	32.4	1.7	2.9	4.4	1.3	0.7	20.7	0	100
Promedio	2.5	10.8	4.4	0.1	29.2	26.1	4.7	1.6	2.7	1.0	1.2	17.1	0.1	101.5
1994	4	1.4	4.2	5.8	31.7	32.3	7.2	2	1.4	4.4	1	4.2	0.2	99.8
	2.1	1.7	4.2	2.1	26.5	40.9	4	0	4.7	5.1	3.2	5.5	0	100
	4.2	3.8	4.1	1	20.7	42.3	1.5	1.1	1.1	10.1	2	8	0.2	100.1
Promedio	3.4	2.3	4.2	3.0	26.3	38.5	4.2	1.0	2.4	6.5	2.1	5.9	0.1	100
1995	2.8	4.9	3.9	0	25.3	45.5	3.2	0.2	3	0.2	0.9	10.1	0	100
	0.2	12.2	1	0.4	35.3	29.7	2	0.6	3.8	0.8	5.8	8.2	0	100
	1.5	3.3	3.3	0	18	42.1	1.5	2.9	5.9	1.7	3.1	16.7	0	100
Promedio	1.5	6.8	2.7	0.1	26.2	39.1	2.2	1.2	4.2	0.9	3.3	11.7	0	100

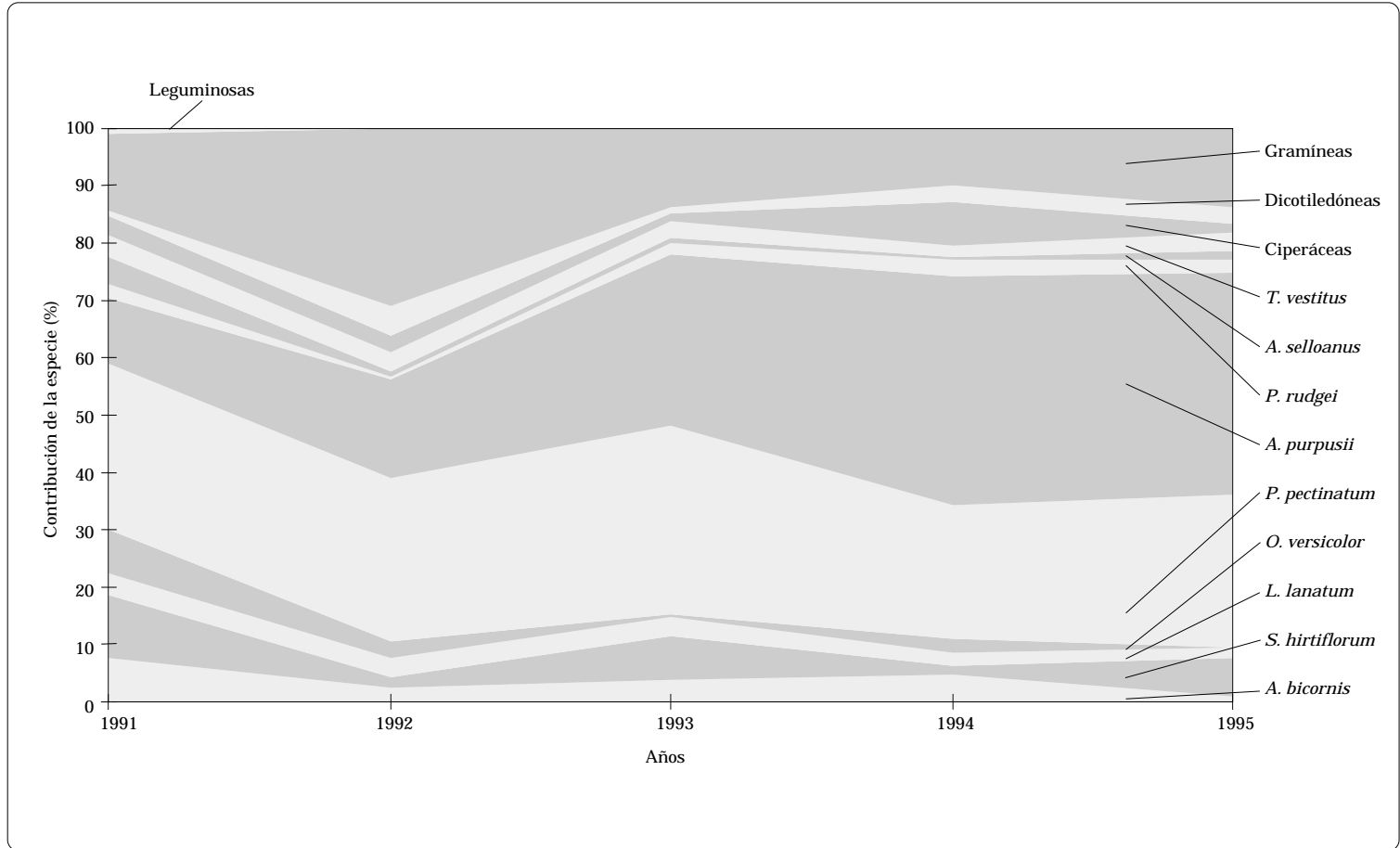


Figura 8-2D. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales influida por el periodo de descanso (8 semanas después de la quema).

Tabla 8-2D.

Año	Contribución (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	6.2	8.8	5.5	7.7	37.7	10.1	1.9	2.2	1.3	4.2	0.5	12.1	1.8	100
	9.7	9.9	3.1	11	23.9	11.3	2.5	6.6	6.2	3.2	1.7	10.6	0.4	100.1
	7.1	14	2.9	4.4	24.9	13.7	2.1	5.9	4	2.3	0.2	18.3	0.1	99.9
Promedio	7.7	10.9	3.8	7.7	28.8	11.7	2.2	4.9	3.8	3.2	0.8	13.7	0.8	100
1992	2.3	1.4	5.1	4.5	37	17.7	0.1	0.6	2.1	4.1	1	24	0	100
	2.5	3.1	1.9	2.5	26.7	20.6	0.6	1.4	4.7	1.2	5.7	29	0.2	99.9
	1.9	1.7	3	1.9	21.3	13.5	0.6	0.7	3.4	3.9	8.6	39.3	0.4	100.2
Promedio	2.2	2.1	3.3	3.0	28.3	17.3	0.4	0.9	3.4	3.1	5.1	30.8	0.2	100.1
1993	4.3	9.2	6.9	0.5	44.3	21.7	3.3	0.5	0.2	0.8	0.8	7.6	0	100.1
	3.2	9	2.3	0.3	28.6	31.2	1.2	1.3	2.8	1.2	2	16.8	0	99.9
	3.4	4.5	1.8	0	25.2	38.4	0.8	0.6	5.5	2.6	0	17	0.2	100
Promedio	3.6	7.6	3.7	0.3	32.7	30.4	1.8	0.8	2.8	1.5	0.9	13.8	0.1	100
1994	4.4	1.3	4	4.4	21.6	33.3	6.7	0.6	1	6.9	3.3	12.5	0	100
	6	0.6	0.9	2.8	28.3	37.8	0.9	0.7	2.4	6.7	3.5	9.3	0	100
	3.9	1.6	3	0.5	19.5	48.8	0.7	1	1.6	9.7	1	8	0.7	100
Promedio	4.8	1.2	2.6	2.6	23.1	40.0	2.8	0.8	1.7	7.8	2.6	9.9	0.2	100
1995	2.4	6.9	2	0	31	33.3	4	2.2	3.4	0.4	0.6	13.9	0	100.1
	0.2	10.4	2	0.4	23.6	37.3	2	1	4.2	1.8	3.6	13.6	0	100.1
	0.7	2.6	1.3	0.2	25.3	45.6	0.9	0.4	3.1	2.2	3.9	13.8	0	100.1
Promedio	1.1	6.6	1.8	0.2	26.6	38.7	2.3	1.2	3.6	1.5	2.7	13.8	0	100

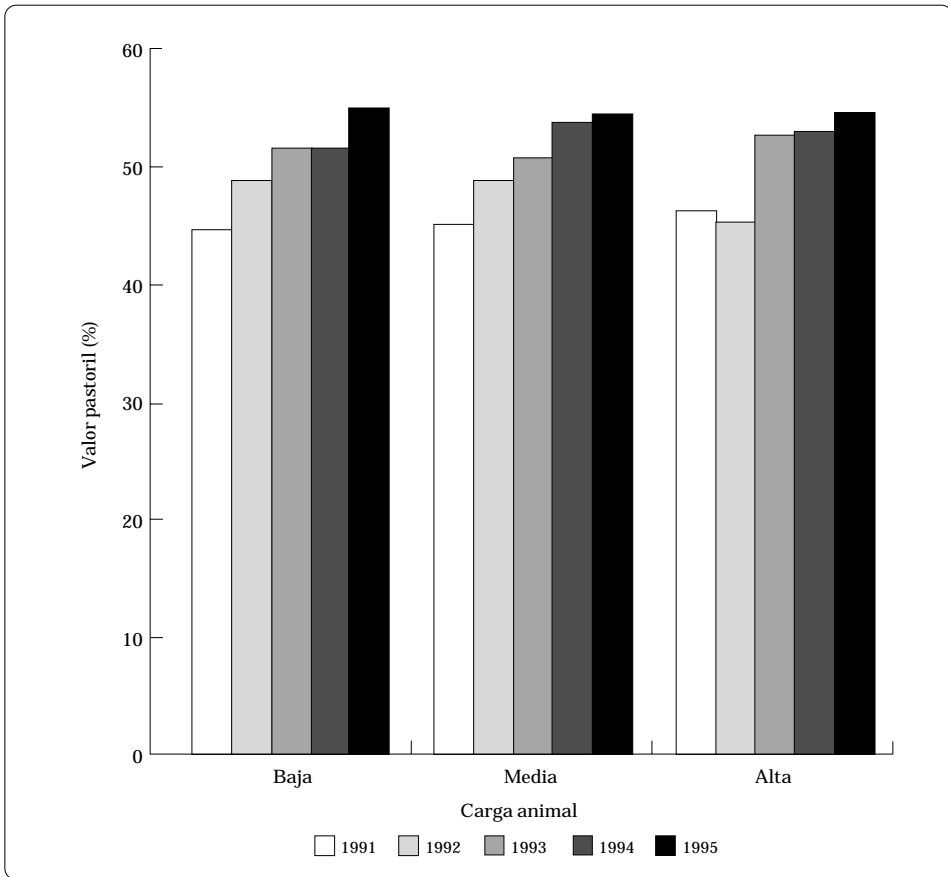


Figura 8-3A. Dinámica de la sabana nativa de los Llanos Orientales manifestada en la evolución del valor pastoril (VP) influido por la carga animal.

Tabla 8-3A.

Año	VP (%) con carga:		
	Baja	Media	Alta
1991	44.3	44.8	46.0
1992	48.5	48.7	45.2
1993	51.3	50.4	52.4
1994	51.3	53.5	52.7
1995	54.7	54.1	54.1

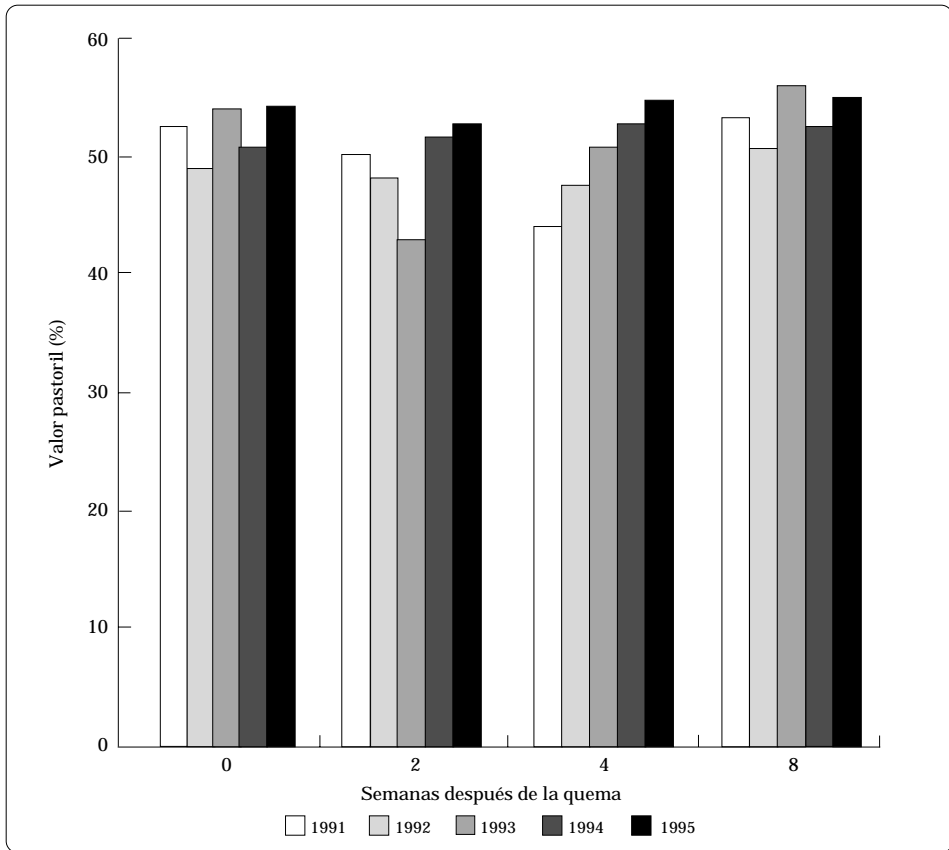


Figura 8-3B. Dinámica de la sabana nativa de los Llanos Orientales manifestada en la evolución del valor pastoril (VP) influido por el descanso después de la quema (sdq = semanas después de la quema).

Tabla 8-3B.

Año	VP (%) a las:			
	0 sdq	2 sdq	4 sdq	8 sdq
1991	52.6	50.1	44.2	53.6
1992	49.0	48.3	47.5	50.7
1993	53.9	42.9	50.8	55.9
1994	50.9	51.6	52.9	52.6
1995	54.2	52.8	54.6	54.9

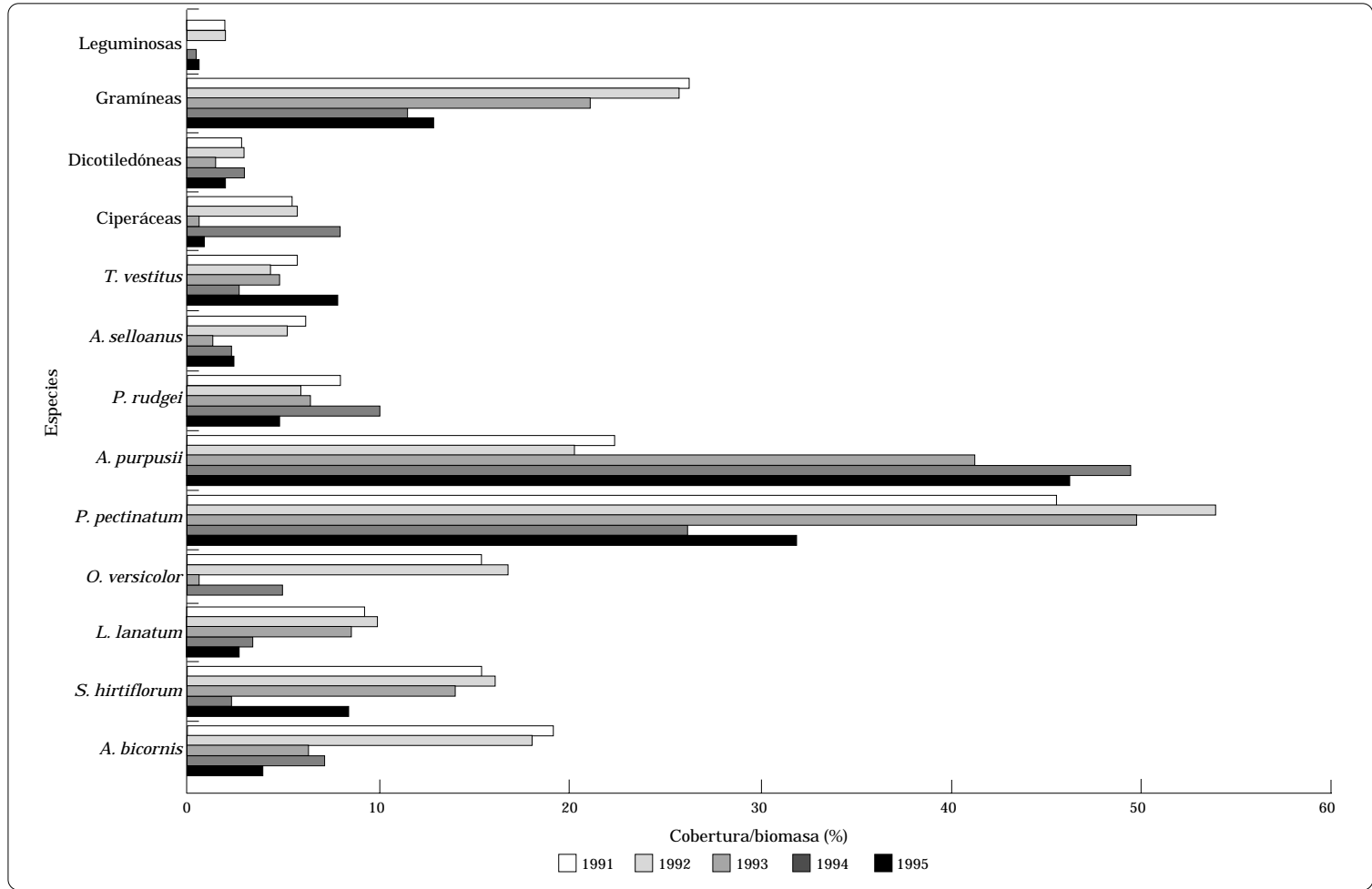


Figura 8-4A. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales sometida a carga animal baja (8 ha/An.).

Tabla 8-4A.

Año	Relación cobertura/biomasa aérea (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	20.5	13	7.5	6.3	18.3	30.5	14.8	10.8	9	5	1	26.5	2.3	165.5
	20	13.3	8	20.5	40.8	23	9.8	3.3	10.3	5.3	3.5	29.3	1.3	188.4
	24.5	18.8	11.3	20.3	53	17.3	3.8	6.5	1.5	3.5	5.5	27	0.8	193.8
	11.5	16.3	10.3	14.3	70	18.8	3.5	4	2.5	7.8	1	22.5	3	185.5
	Promedio	19.1	15.4	9.3	15.4	45.5	22.4	8.0	6.2	5.8	5.4	2.8	26.3	1.9
1992	18.8	15.9	9.7	17.6	52.3	20.4	6.3	5.0	5.0	5.5	3.2	26.3	1.7	187.8
	18.5	16.6	10.1	16.9	55.2	19.7	5.4	5.4	3.7	5.6	3.1	25.5	1.8	187.6
	17.0	16.0	9.9	16.0	55.8	20.3	5.8	5.1	4.3	6.1	2.5	25.2	2.1	186.0
	18.3	16.0	9.8	16.5	52.2	20.7	6.4	5.4	4.7	5.6	2.9	25.8	1.9	186.2
	Promedio	18.1	16.1	9.9	16.8	53.9	20.3	5.9	5.2	4.4	5.7	2.9	25.7	1.9
1993	8.3	10.5	5	0.5	38.5	41.5	8.3	1.3	9	0	1.3	26.5	0	150.7
	5.5	16	5.5	1	45.5	46	6	2	5.5	0.3	1	27.8	0	162.1
	4.8	15.3	13	0	47	44.3	6.5	0.5	3.8	0.3	2	18.5	0	156
	6.5	14	10.5	0.8	67.5	33	5	0.8	0.3	1.3	1.3	11.5	0	152.5
	Promedio	6.3	14.0	8.5	0.6	49.6	41.2	6.5	1.2	4.7	0.5	1.4	21.1	0
1994	12.3	2	2	0.8	21.5	54.3	9.5	3.5	4.8	9	4.8	11	0.3	135.8
	5.5	3.3	1	5.5	15	59.3	12.5	2.3	2.3	8.5	1.5	12.8	0.8	130.3
	5	1.8	5.3	7.3	39.5	40.3	9	2.5	1.8	5.5	1.3	5.3	0.3	124.9
	5.8	1.8	5.3	5.8	28.3	43.5	8.8	0.8	1.3	9	4.3	16.3	0	131
	Promedio	7.2	2.2	3.4	4.9	26.1	49.4	10.0	2.3	2.6	8.0	3.0	11.4	0.4
1995	5.3	5.5	2.3	0.5	29.3	42.8	3.3	3	17.3	1.5	4	12	2.5	129.3
	4	13.5	1.5	0	29.8	46.5	7	3.5	6.5	1	1.8	9.8	0	124.9
	3.3	5.8	4.5	0	29.5	53	3.8	0.3	3.5	0.3	1	11.8	0	116.8
	3	8.8	2.5	0	39	42	5	2.8	4.3	0.5	0.8	17.5	0	126.2
	Promedio	3.9	8.4	2.7	0.1	31.9	46.1	4.8	2.4	7.9	0.8	1.9	12.8	0.6

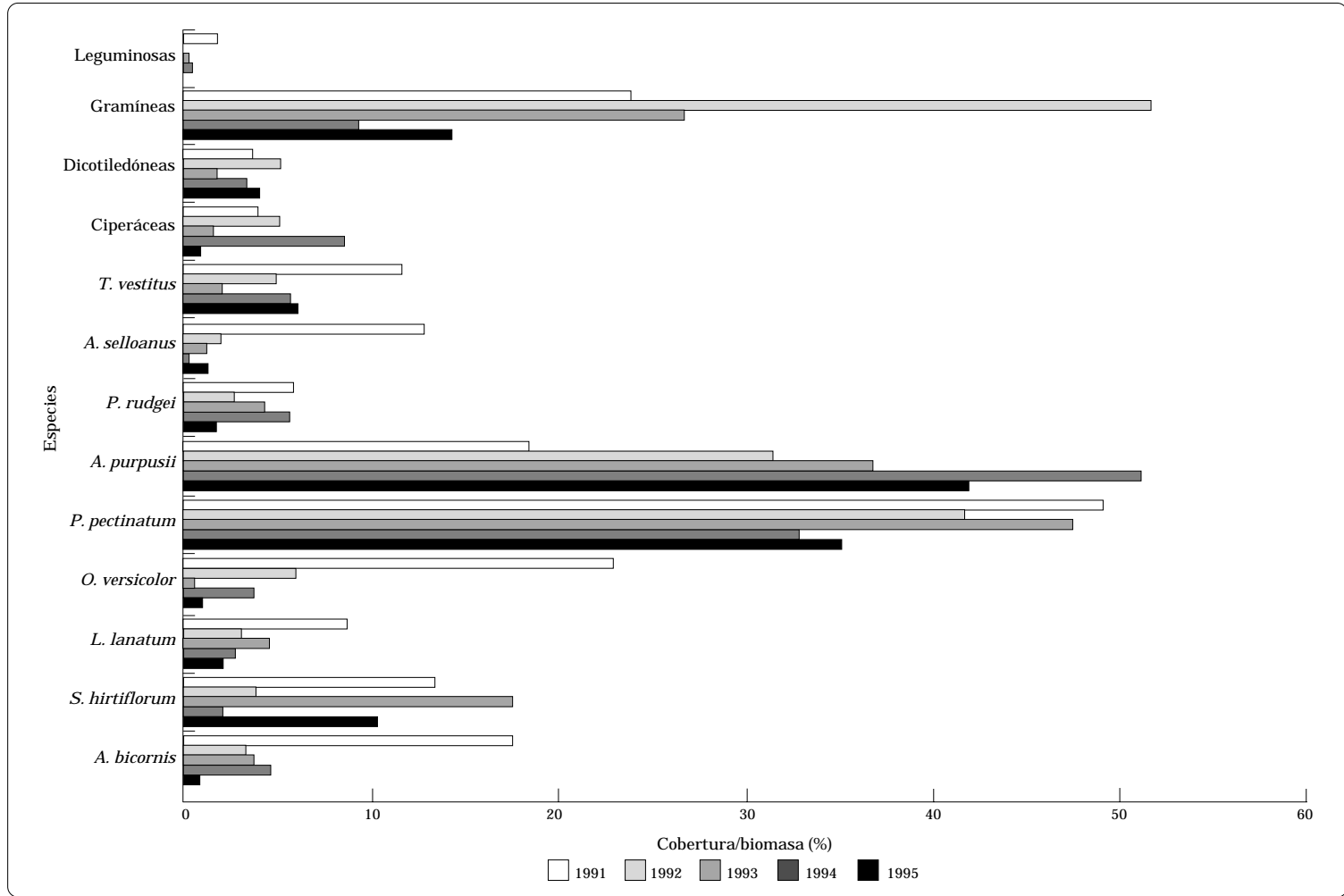


Figura 8-4B. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales sometida a carga animal media (4 ha/An.).

Tabla 8-4B.

Año	Relación cobertura/biomasa aérea (%) de:														
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)	
1991	18.8	9	5.5	18.3	64.8	10.3	6.5	9.3	4.5	2.3	4.5	25.8	0.8	180.4	
	24	12.3	12	29.5	43.3	29.3	3	19.5	20	5.5	1.3	24	2.5	226.2	
	9.8	13.3	12.5	24.8	45.8	13.3	10	11.3	11.5	2.3	6.3	27.5	1.5	189.9	
	20.3	20.8	6.5	23	50	23.8	5.3	13.8	13	6.8	3.5	22.3	3.3	212.4	
	Promedio	18.2	13.9	9.1	23.9	51.0	19.2	6.2	13.5	12.3	4.2	3.9	24.9	2.0	202.2
1992	3.8	2	2.3	5.8	40.8	34.8	0.5	1.5	2.8	4	2.3	64.3	0	164.9	
	5	3.8	1.8	7	41.3	29.5	4.5	2.5	7	4	2	55.5	0	163.9	
	17.0	16.0	9.9	16.0	55.8	20.3	5.8	5.1	4.3	6.1	2.5	25.2	2.1	186.0	
	18.3	16.0	9.8	16.5	52.2	20.7	6.4	5.4	4.7	5.6	2.9	25.8	1.9	186.2	
	Promedio	18.1	16.1	9.9	16.8	53.9	20.3	5.9	5.2	4.4	5.7	2.9	25.7	1.9	186.9
1993	2	25.3	2.3	0.8	66.3	25.8	6	0.3	0	1.5	1	25.5	0	156.8	
	5	7	7.3	0.8	35	52	4	1.3	2.8	1	1	30.5	0	147.7	
	3.5	26.8	5.3	0	53.3	29	6	2.5	2	2.5	2.5	30.8	0.5	164.7	
	4.8	13.5	3.5	0.5	42.8	46.5	1.8	2	4.3	1.8	3	25	0	149.5	
	Promedio	3.8	18.2	4.6	0.5	49.4	38.3	4.5	1.5	2.3	1.7	1.9	28.0	0.1	154.7
1994	4.8	2.5	0.8	5.8	39	42	11.8	0.5	5.8	12.8	4	7.5	0	137.3	
	3.8	3.5	3.3	3	24.8	66	5.3	0.5	8.8	7.5	1	11.8	0.8	140.1	
	2.8	2.3	5.5	2.8	35	54	5.3	0	6.3	6.8	4.3	7.3	0	132.4	
	8	0.8	1.3	3.8	38	50.8	1.3	1	3.3	9	4.8	12.5	0	134.6	
	Promedio	4.9	2.3	2.7	3.9	34.2	53.2	5.9	0.5	6.1	9.0	3.5	9.8	0.2	136.1
1995	0	10	1	1.5	42	43	2	1.5	8.8	0.3	1.5	15	0	126.6	
	3	4.5	3	1	31	47	0.5	2.3	7	0.5	4	17.8	0	121.6	
	0.3	15.3	1.3	0.5	44	37	2.5	0.8	4.8	1	7.3	10.3	0	125.1	
	0.3	13	2.5	0.5	29.5	46.8	2.5	1.3	5.3	2.3	4.5	17	0	125.5	
	Promedio	0.9	10.7	2.0	0.9	36.6	43.5	1.9	1.5	6.5	1.0	4.3	15.0	0	124.7

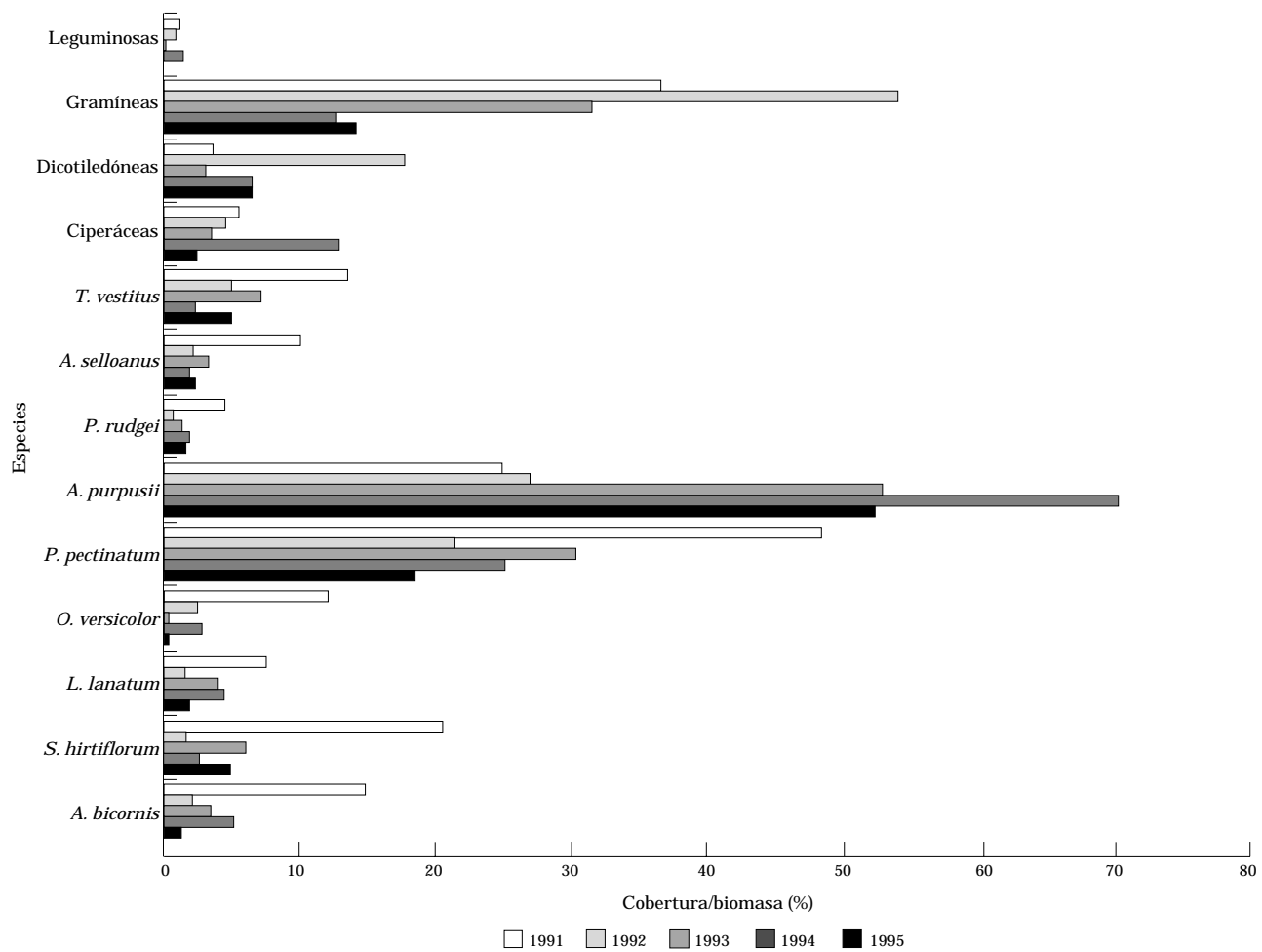


Figura 8-4C. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales sometida a carga animal alta (2 ha/An.).

Tabla 8-4C.

Año	Relación cobertura/biomasa aérea (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	16	18.8	8.8	15.8	54	24.3	3.8	7.8	17.5	2.8	2.5	30.5	1	203.6
	17.3	16.5	7.5	9	35	31.5	3.8	10.8	16	11.3	6	50.3	1.5	216.5
	11.5	18	8	14.8	52.3	15.3	6.8	9.5	12.3	3.3	5.8	26.8	2	186.4
	14.8	29	6	9	51.5	28.3	4.3	12.3	8.3	4.8	0.5	37.8	0.3	206.9
Promedio	14.9	20.6	7.6	12.2	48.2	24.9	4.7	10.1	13.5	5.6	3.7	36.4	1.2	203.4
1992	2.3	1	0.5	2.8	17.8	30.5	1.3	2.3	2	5	19.5	53.8	0.8	139.6
	1.8	0.8	0.8	2.5	14	28	0.3	3.5	7.3	4	20.3	57	0.3	140.6
	2.3	2.5	1	1.8	25	31.5	0.5	1.8	6.3	3.5	19.5	52.8	2.3	150.8
	2.5	2.3	4	2.5	28.5	18	0.8	1	4.5	5.3	11.5	52.5	0.5	133.9
Promedio	2.2	1.7	1.6	2.4	21.3	27.0	0.7	2.2	5.0	4.5	17.7	54.0	1.0	141.2
1993	1.8	4	3.5	0	20.8	49	2	4.3	7.8	4.3	3.8	37.5	0.3	139.1
	3.8	4.8	6.8	0	24	54.5	0.3	3.5	6.5	4.3	8	31.5	0	148.0
	3.8	9.5	2.8	0.3	37.3	48.3	2.5	4.3	6.5	2	1	30.8	0	149.1
	5.3	7	2.8	0	39	59.5	1.3	1	8.5	4	0	26.3	0.3	155.0
Promedio	3.7	6.3	4.0	0.1	30.3	52.8	1.5	3.3	7.3	3.7	3.2	31.5	0.2	147.8
1994	3.3	1.3	2.8	4	16	73.8	4	2.3	2.8	12	10	11	1.5	144.8
	5.3	1	4.5	4.5	23	67.3	0.8	2.3	2.8	9.5	12.3	15.5	2.3	151.1
	6.5	5.8	6.3	1.5	31.8	64.8	2.3	1.8	1.8	15.5	3	12.3	1	154.4
	6	2.5	4.5	0.8	29.8	74.3	1	1.5	2.5	14.8	1.5	12.3	1	152.5
Promedio	5.3	2.7	4.5	2.7	25.2	70.1	2.0	2.0	2.5	13.0	6.7	12.8	1.5	150.7
1995	1.5	4	1	0	8.5	66.5	2.3	3.5	6	2.5	5.3	1.5	0	102.6
	2.3	9.3	1	0.5	14.8	39.8	2.3	2	3.5	3.3	12.8	19.3	0	110.9
	1.8	4	4	0	21.5	50.3	1.8	3.5	7	2	3.8	20	0	119.7
	0.8	3	1.5	0.3	29	52.3	1	0.5	3.5	2.5	4.5	15.8	0	114.7
Promedio	1.6	5.1	1.9	0.2	18.5	52.2	1.9	2.4	5.0	2.6	6.6	14.2	0	112.0

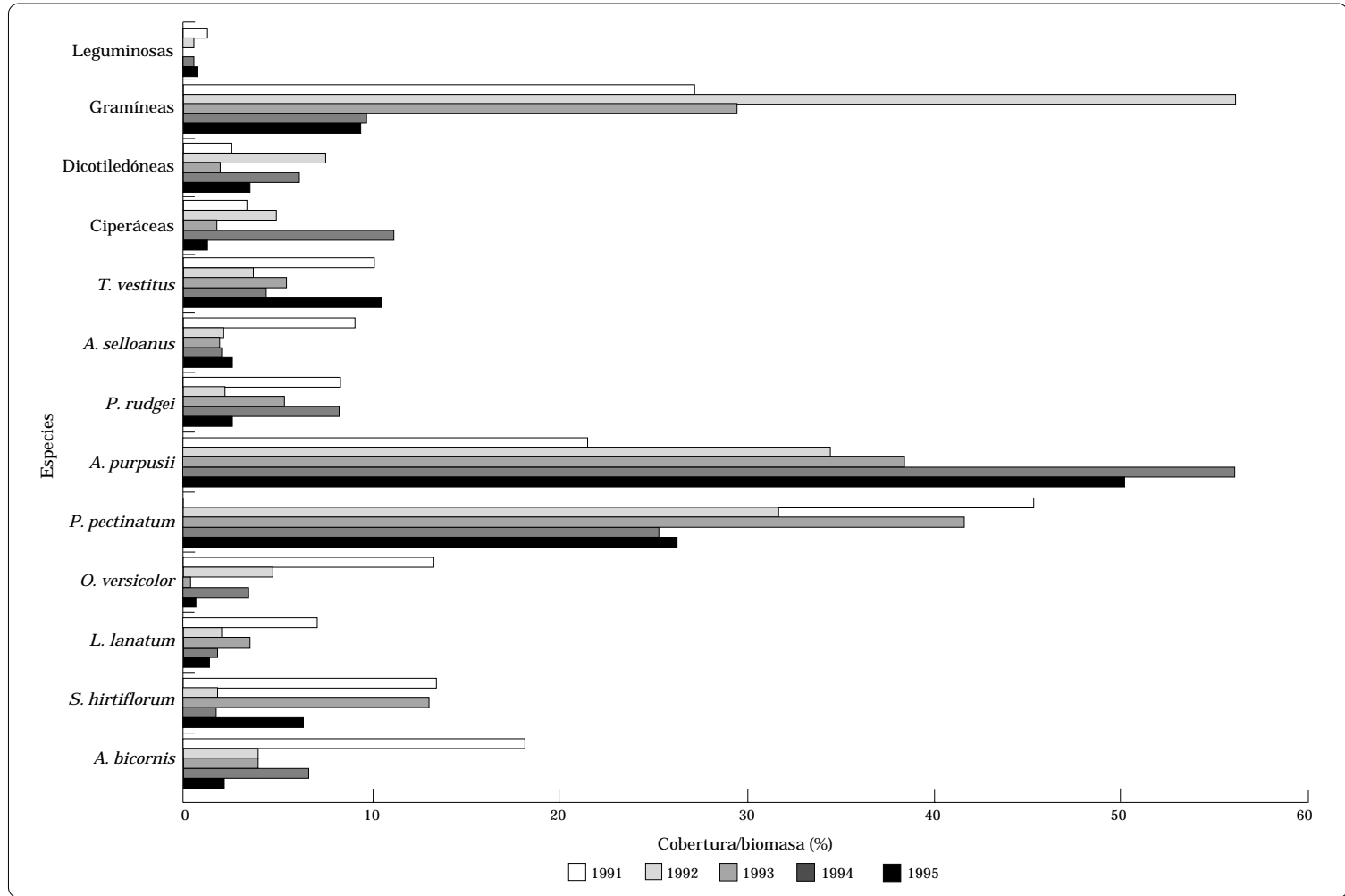


Figura 8-5A. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales influida por el período de descanso (0 semanas después de la quema).

Tabla 8-5A.

Año	Relación cobertura/biomasa aérea (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	20.5	13	7.5	6.3	18.3	30.5	14.8	10.8	9	5	1	26.5	2.3	165.5
	18.8	9	5.5	18.3	64.8	10.3	6.5	9.3	4.5	2.3	4.5	25.8	0.8	180.4
	16	18.8	8.8	15.8	54	24.3	3.8	7.8	17.5	2.8	2.5	30.5	1	203.6
	Promedio	18.4	13.6	7.3	13.5	45.7	21.7	8.4	9.3	10.3	3.4	2.7	27.6	1.4
1992	6	2.8	3.5	5.8	37	39	5	2.8	6.5	6	1.3	51.8	1	168.5
	3.8	2	2.3	5.8	40.8	34.8	0.5	1.5	2.8	4	2.3	64.3	0	164.9
	2.3	1	0.5	2.8	17.8	30.5	1.3	2.3	2	5	19.5	53.8	0.8	139.6
	Promedio	4.0	1.9	2.1	4.8	31.9	34.8	2.3	2.2	3.8	5.0	7.7	56.6	0.6
1993	8.3	10.5	5	0.5	38.5	41.5	8.3	1.3	9	0	1.3	26.5	0	150.7
	2	25.3	2.3	0.8	66.3	25.8	6	0.3	0	1.5	1	25.5	0	156.8
	1.8	4	3.5	0	20.8	49	2	4.3	7.8	4.3	3.8	37.5	0.3	139.1
	Promedio	4.0	13.3	3.6	0.4	41.9	38.8	5.4	2.0	5.6	1.9	2.0	29.8	0.1
1994	12.3	2	2	0.8	21.5	54.3	9.5	3.5	4.8	9	4.8	11	0.3	135.8
	4.8	2.5	0.8	5.8	39	42	11.8	0.5	5.8	12.8	4	7.5	0	137.3
	3.3	1.3	2.8	4	16	73.8	4	2.3	2.8	12	10	11	1.5	144.8
	Promedio	6.8	1.9	1.9	3.5	25.5	56.7	8.4	2.1	4.5	11.3	6.3	9.8	0.6
1995	5.3	5.5	2.3	0.5	29.3	42.8	3.3	3	17.3	1.5	4	12	2.5	129.3
	0	10	1	1.5	42	43	2	1.5	8.8	0.3	1.5	15	0	126.6
	1.5	4	1	0	8.5	66.5	2.3	3.5	6	2.5	5.3	1.5	0	102.6
	Promedio	2.3	6.5	1.4	0.7	26.6	50.8	2.5	2.7	10.7	1.4	3.6	9.5	0.8

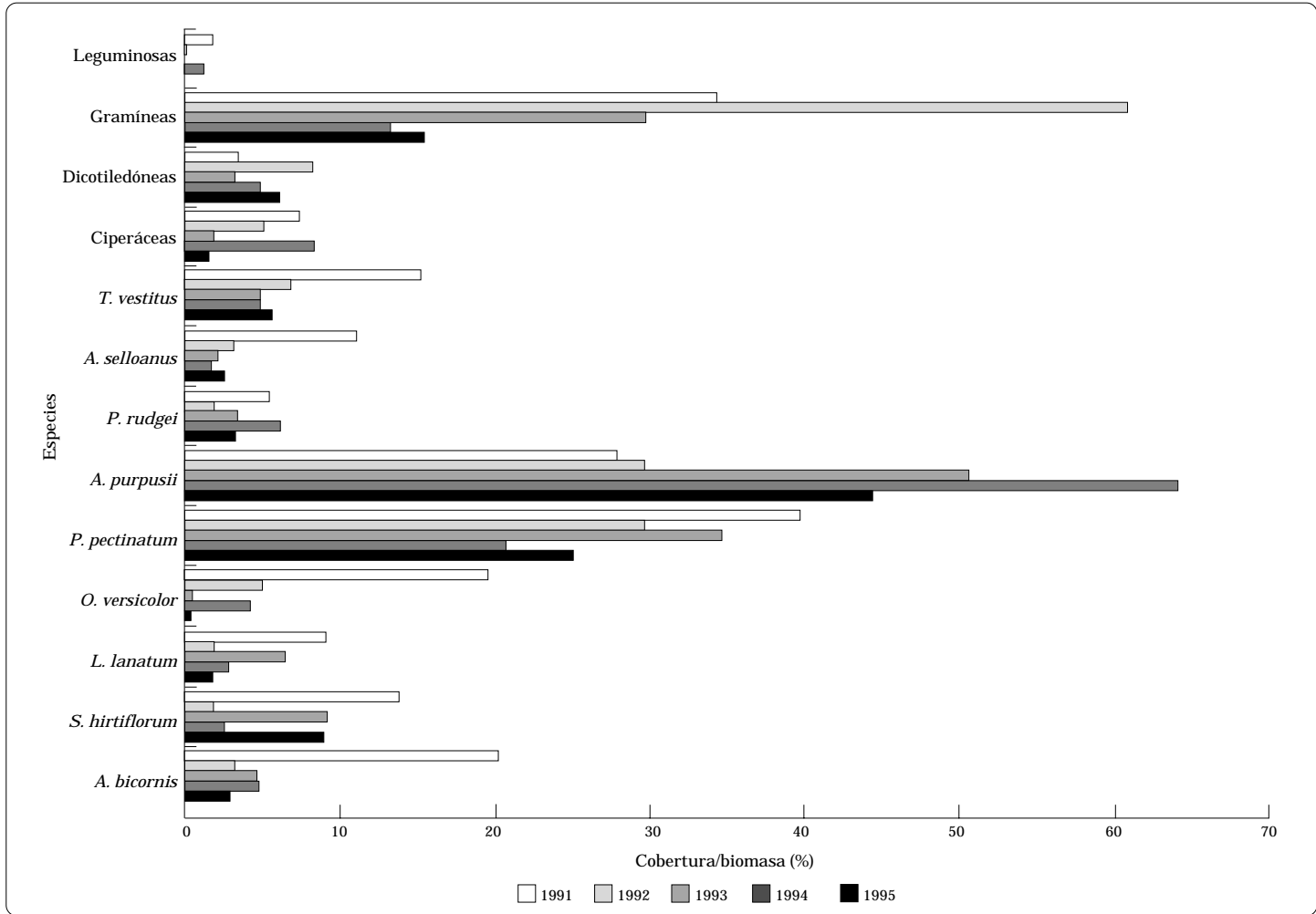


Figura 8-5B. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales influenciada por el período de descanso (2 semanas después de la quema).

Tabla 8-5B.

Año	Relación cobertura/biomasa aérea (%) de:														
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)	
1991	20	13.3	8	20.5	40.8	23	9.8	3.3	10.3	5.3	3.5	29.3	1.3	188.4	
	24	12.3	12	29.5	43.3	29.3	3	19.5	20	5.5	1.3	24	2.5	226.2	
	17.3	16.5	7.5	9	35	31.5	3.8	10.8	16	11.3	6	50.3	1.5	216.5	
Promedio	20.4	14.0	9.2	19.7	39.7	27.9	5.5	11.2	15.4	7.4	3.6	34.5	1.8	210.4	
1992	3	1.5	3.3	5.5	33.8	32	1	3.5	6.3	7.3	2.5	70.5	0	170.2	
	5	3.8	1.8	7	41.3	29.5	4.5	2.5	7	4	2	55.5	0	163.9	
	1.8	0.8	0.8	2.5	14	28	0.3	3.5	7.3	4	20.3	57	0.3	140.6	
Promedio	3.3	2.0	2.0	5.0	29.7	29.8	1.9	3.2	6.9	5.1	8.3	61.0	0.1	158.2	
1993	5.5	16	5.5	1	45.5	46	6	2	5.5	0.3	1	27.8	0	162.1	
	5	7	7.3	0.8	35	52	4	1.3	2.8	1	1	30.5	0	147.7	
	3.8	4.8	6.8	0	24	54.5	0.3	3.5	6.5	4.3	8	31.5	0	148.0	
Promedio	4.8	9.3	6.5	0.6	34.8	50.8	3.4	2.3	4.9	1.9	3.3	29.9	0	152.6	
1994	5.5	3.3	1	5.5	15	59.3	12.5	2.3	2.3	8.5	1.5	12.8	0.8	130.3	
	3.8	3.5	3.3	3	24.8	66	5.3	0.5	8.8	7.5	1	11.8	0.8	140.1	
	5.3	1	4.5	4.5	23	67.3	0.8	2.3	2.8	9.5	12.3	15.5	2.3	151.1	
Promedio	4.9	2.6	2.9	4.3	20.9	64.2	6.2	1.7	4.6	8.5	4.9	13.4	1.3	140.5	
1995	4	13.5	1.5	0	29.8	46.5	7	3.5	6.5	1	1.8	9.8	0	124.9	
	3	4.5	3	1	31	47	0.5	2.3	7	0.5	4	17.8	0	121.6	
	2.3	9.3	1	0.5	14.8	39.8	2.3	2	3.5	3.3	12.8	19.3	0	110.9	
Promedio	3.1	9.1	1.8	0.5	25.2	44.4	3.3	2.6	5.7	1.6	6.2	15.6	0	119.1	

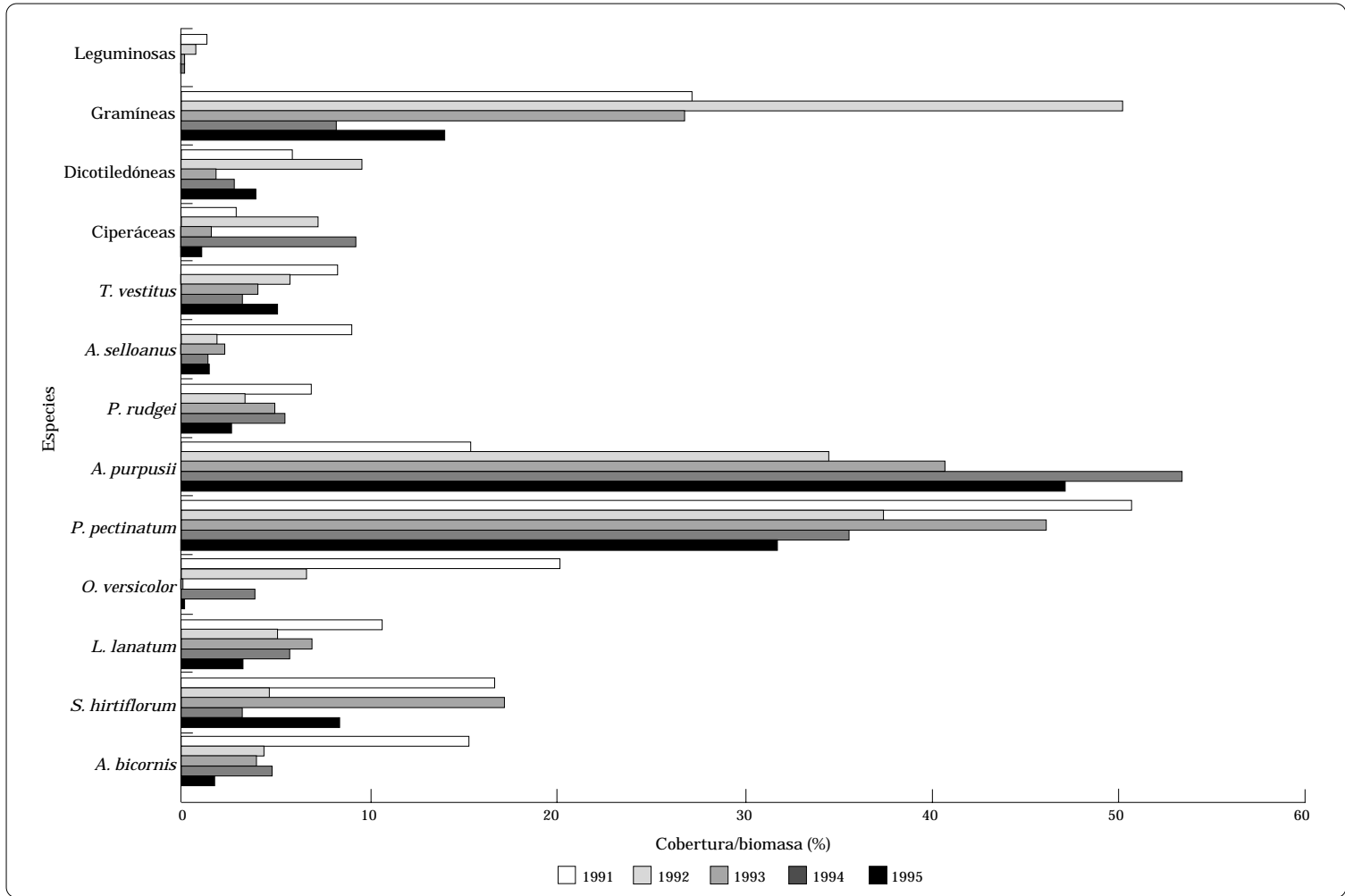


Figura 8-5C. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales influida por el descanso (4 semanas después de la quema).

Tabla 8-5C.

Año	Relación cobertura/biomasa aérea (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	24.5	18.8	11.3	20.3	53	17.3	3.8	6.5	1.5	3.5	5.5	27	0.8	193.8
	9.8	13.3	12.5	24.8	45.8	13.3	10	11.3	11.5	2.3	6.3	27.5	1.5	189.9
	11.5	18	8	14.8	52.3	15.3	6.8	9.5	12.3	3.3	5.8	26.8	2	186.4
Promedio	15.3	16.7	10.6	20.0	50.4	15.3	6.9	9.1	8.4	3.0	5.9	27.1	1.4	190.0
1992	9.8	6	9	9.8	38	38.5	4.5	1.5	7	6.3	1.5	48.5	0	180.4
	1	5.5	5.3	8.3	48.5	33	5.3	2.5	4	12	7.8	48.5	0	181.7
	2.3	2.5	1	1.8	25	31.5	0.5	1.8	6.3	3.5	19.5	52.8	2.3	150.8
Promedio	4.4	4.7	5.1	6.6	37.2	34.3	3.4	1.9	5.8	7.3	9.6	49.9	0.8	171.0
1993	4.8	15.3	13	0	47	44.3	6.5	0.5	3.8	0.3	2	18.5	0	156.0
	3.5	26.8	5.3	0	53.3	29	6	2.5	2	2.5	2.5	30.8	0.5	164.7
	3.8	9.5	2.8	0.3	37.3	48.3	2.5	4.3	6.5	2	1	30.8	0	149.1
Promedio	4.0	17.2	7.0	0.1	45.9	40.5	5.0	2.4	4.1	1.6	1.8	26.7	0.2	156.6
1994	5	1.8	5.3	7.3	39.5	40.3	9	2.5	1.8	5.5	1.3	5.3	0.3	124.9
	2.8	2.3	5.5	2.8	35	54	5.3	0	6.3	6.8	4.3	7.3	0	132.4
	6.5	5.8	6.3	1.5	31.8	64.8	2.3	1.8	1.8	15.5	3	12.3	0.3	153.7
Promedio	4.8	3.3	5.7	3.9	35.4	53.0	5.5	1.4	3.3	9.3	2.9	8.3	0.2	137.0
1995	3.3	5.8	4.5	0	29.5	53	3.8	0.3	3.5	0.3	1	11.8	0	116.8
	0.3	15.3	1.3	0.5	44	37	2.5	0.8	4.8	1	7.3	10.3	0	125.1
	1.8	4	4	0	21.5	50.3	1.8	3.5	7	2	3.8	20	0	119.7
Promedio	1.8	8.4	3.3	0.2	31.7	46.8	2.7	1.5	5.1	1.1	4.0	14.0	0	120.5

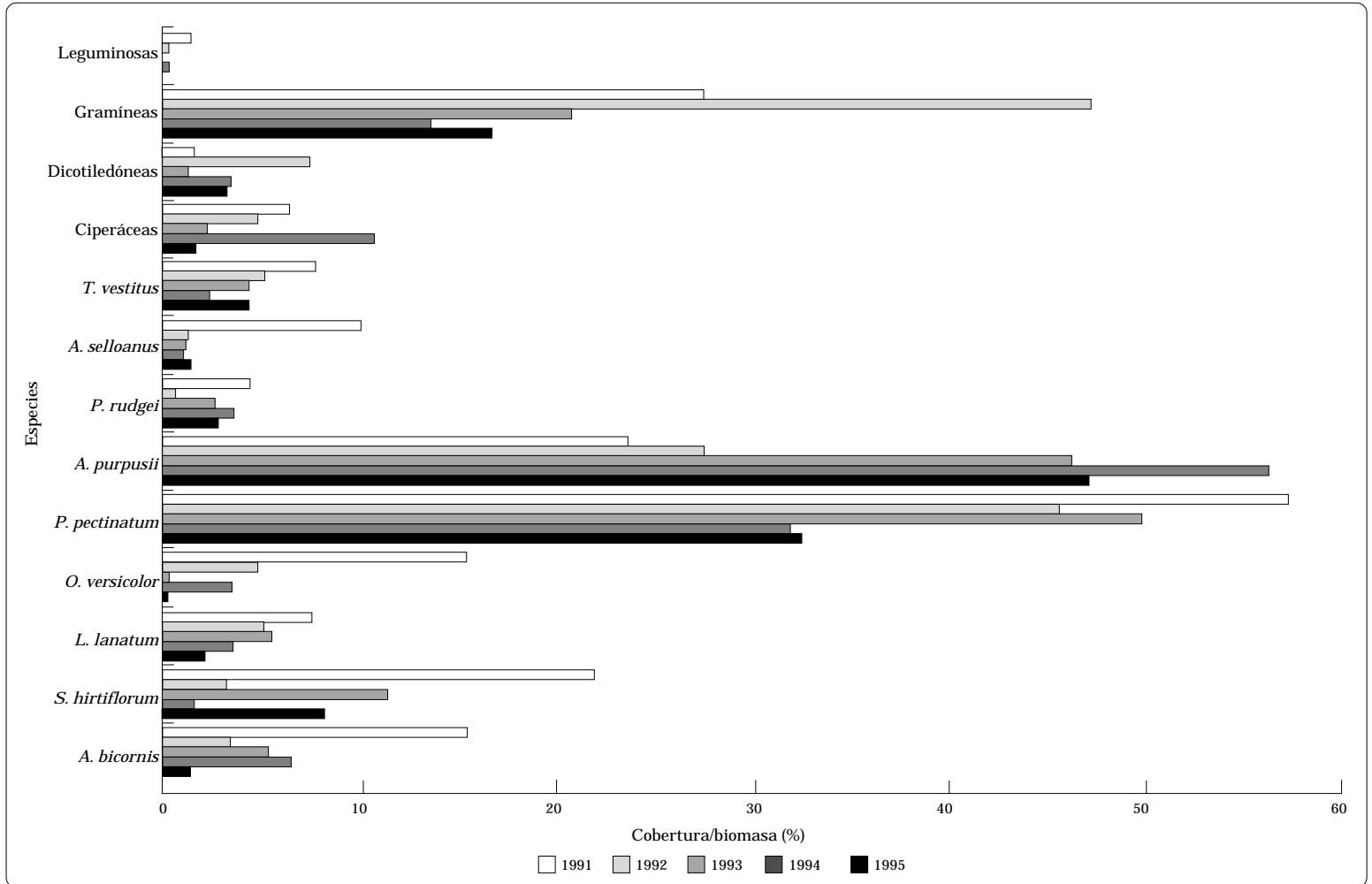


Figura 8-5D. Dinámica de la vegetación de la sabana nativa de los Llanos Orientales influida por el período de descanso (8 semanas después de la quema).

Tabla 8-5D.

Año	Relación cobertura/biomasa aérea (%) de:													
	<i>A. bicornis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>P. rudgei</i>	<i>A. selloanus</i>	<i>T. vestitus</i>	Ciperáceas	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Total (%)
1991	11.5	16.3	10.3	14.3	70	18.8	3.5	4	2.5	7.8	1	22.5	3.3	185.8
	20.3	20.8	6.5	23	50	23.8	5.3	13.8	13	6.8	3.5	22.3	0.8	209.9
	14.8	29	6	9	51.5	28.3	4.3	12.3	8.3	4.8	0.5	37.8	0.3	206.9
	Promedio	15.5	22.0	7.6	15.4	57.2	23.6	4.4	10.0	7.9	6.5	1.7	27.5	1.5
1992	4	2.5	9	8	65.3	31.3	0.3	1	3.8	7.3	1.8	42.3	0	176.6
	4	5	3	4	43	33.3	1	2.3	7.5	2	9.3	46.8	0.3	161.5
	2.5	2.3	4	2.5	28.5	18	0.8	1	4.5	5.3	11.5	52.5	0.5	133.9
	Promedio	3.5	3.3	5.3	4.8	45.6	27.5	0.7	1.4	5.3	4.9	7.5	47.2	0.3
1993	6.5	14	10.5	0.8	67.5	33	5	0.8	0.3	1.3	1.3	11.5	0	152.5
	4.8	13.5	3.5	0.5	42.8	46.5	1.8	2	4.3	1.8	3	25	0	149.5
	5.3	7	2.8	0	39	59.5	1.3	1	8.5	4	0	26.3	0.3	155.0
	Promedio	5.5	11.5	5.6	0.4	49.8	46.3	2.7	1.3	4.4	2.4	1.4	20.9	0.1
1994	5.8	1.8	5.3	5.8	28.3	43.5	8.8	0.8	1.3	9	4.3	16.3	0	131.0
	8	0.8	1.3	3.8	38	50.8	1.3	1	3.3	9	4.8	12.5	0	134.6
	6	2.5	4.5	0.8	29.8	74.3	1	1.5	2.5	14.8	1.5	12.3	1	152.5
	Promedio	6.6	1.7	3.7	3.5	32.0	56.2	3.7	1.1	2.4	10.9	3.5	13.7	0.3
1995	3	8.8	2.5	0	39	42	5	2.8	4.3	0.5	0.8	17.5	0	126.2
	0.3	13	2.5	0.5	29.5	46.8	2.5	1.3	5.3	2.3	4.5	17	0	125.5
	0.8	3	1.5	0.3	29	52.3	1	0.5	3.5	2.5	4.5	15.8	0	114.7
	Promedio	1.4	8.3	2.2	0.3	32.5	47.0	2.8	1.5	4.4	1.8	3.3	16.8	0

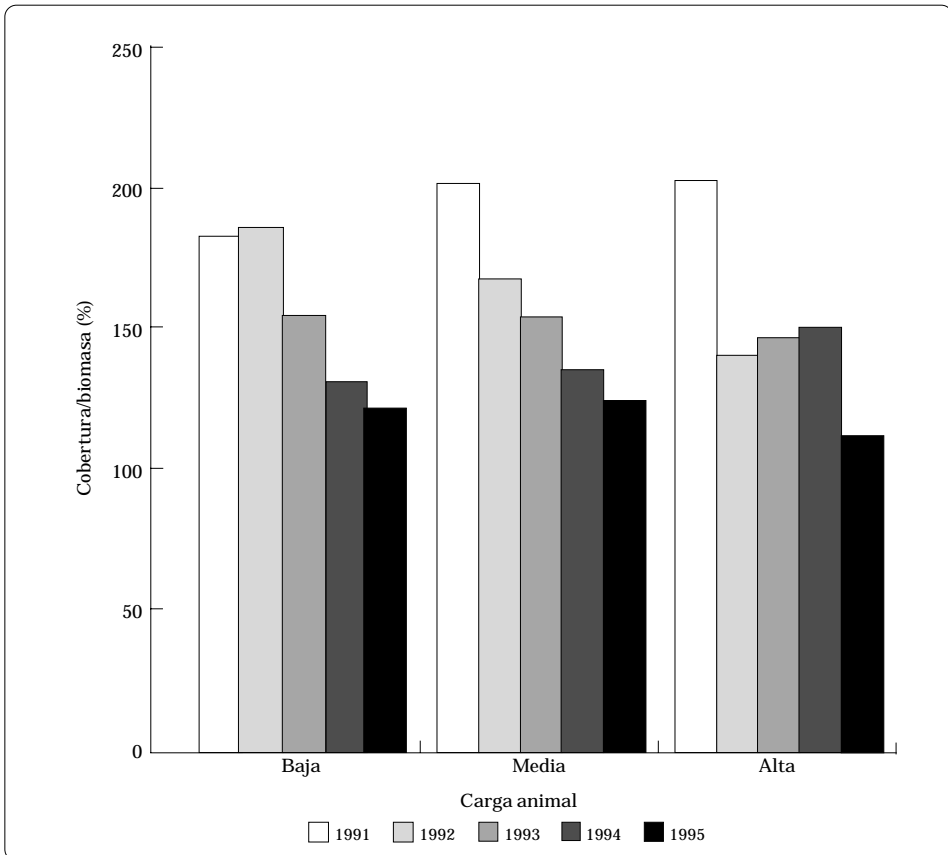


Figura 8-6A. Dinámica de la sabana nativa manifestada en la evolución de la relación cobertura/biomasa aérea bajo el influjo de la carga animal.

Tabla 8-6A.

Año	Cobertura/biomasa (%) con carga:		
	Baja	Media	Alta
1991	183.5	202.3	203.7
1992	186.8	168.1	141.3
1993	155.6	154.8	147.9
1994	130.9	136.2	151.0
1995	124.3	124.8	112.2

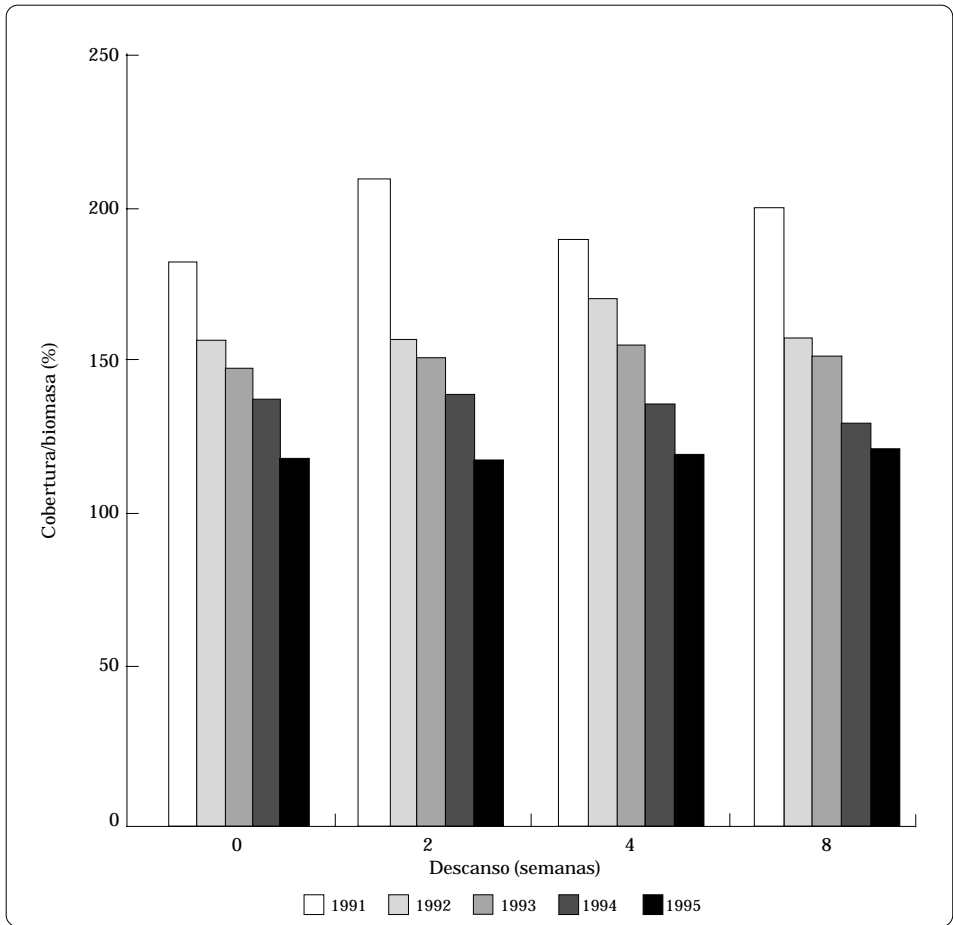


Figura 8-6B. Dinámica de la sabana nativa manifestada en la evolución de la relación cobertura/biomasa aérea bajo el influjo del período de descanso (sdq = semanas después de la quema).

Tabla 8-6B.

Año	Cobertura/biomasa aérea a las:			
	0 sdq	2 sdq	4 sdq	8 sdq
1991	183.2	210.3	190.1	200.8
1992	157.7	158.3	171.0	157.3
1993	148.9	152.5	156.5	152.3
1994	139.3	140.4	137.0	131.3
1995	119.5	119.1	120.6	122.3

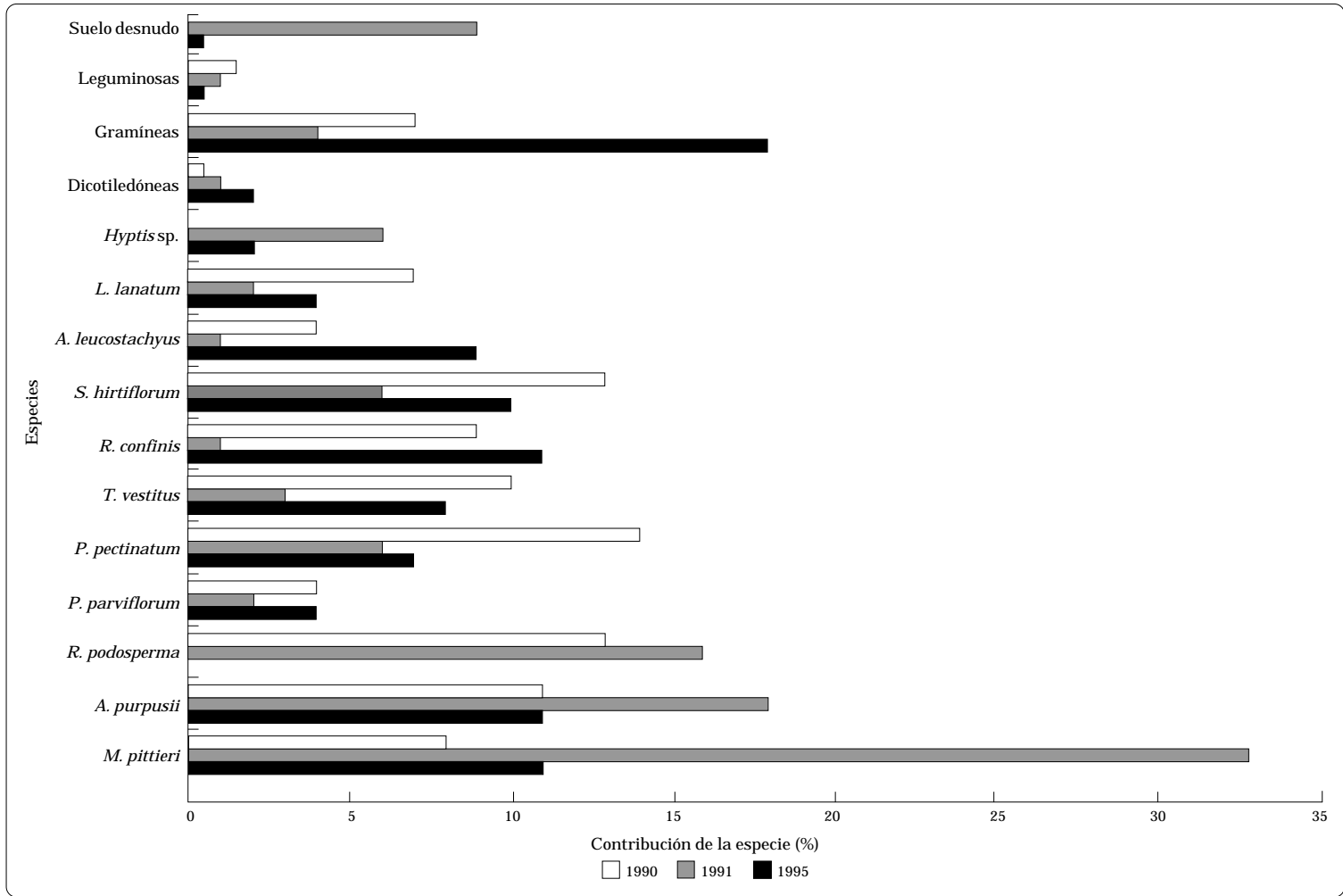


Figura 8-7. Recuperación de un área de sabana nativa degradada en 1990 y efecto en ella del descanso (sin quema) después de 1991.

Tabla 8-7.

Año	Contribución (%) de:															
	<i>M. pittieri</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>R. podosperma</i>	<i>P. parviflorum</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>T. vestitus</i>	<i>R. confinis</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>A. leucostachyus</i>	<i>L. lanatum</i>	<i>Hyptis</i> sp.	Dicotiledóneas	Gramíneas	Leguminosas	Suelo desnudo	Total (%)
1990	8	11	13	4	14	10	9	13	4	7	0	0.5	7	1.5	0	102
1991	33	18	16	2	6	3	1	6	1	2	6	1	4	1	9	109
1995	11	11		4	7	8	11	10	9	4	2	2	18	0.5	0.5	98

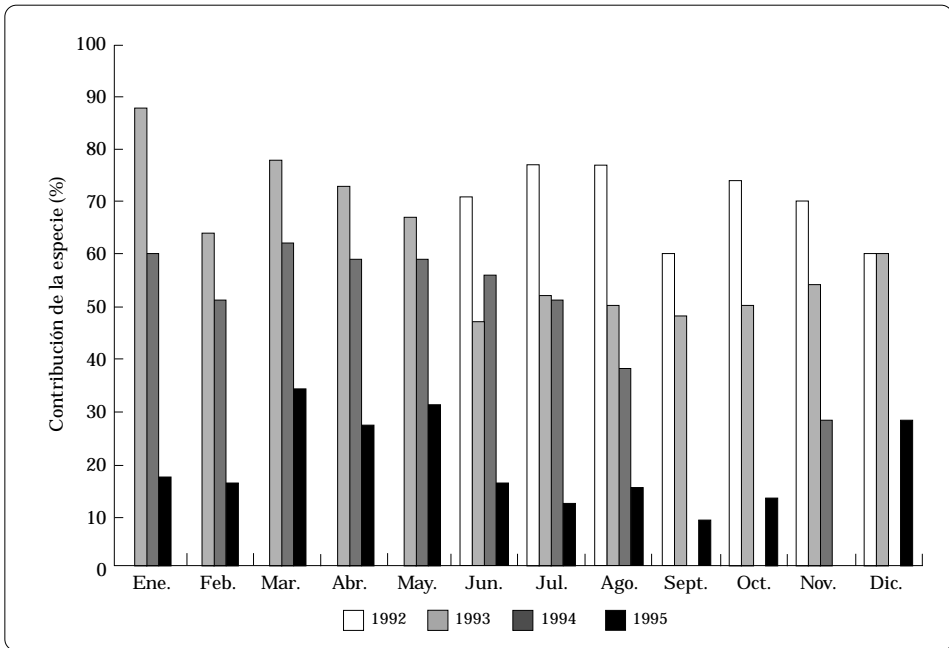


Figura 8-8. Recuperación de un área de sabana nativa degradada por *Panicum rudgei* y sometida al efecto de la quema.

Cuadro 8-8.

Año	Contribución (%) de la especie en:											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
1992						71	77	77	60	74	70	60
1993	88	64	78	73	67	47	52	50	48	50	54	60
1994	60	51	62	59	59	56	51	38	0		28	
1995	17	16	34	27	31	16	12	15	9	13		28

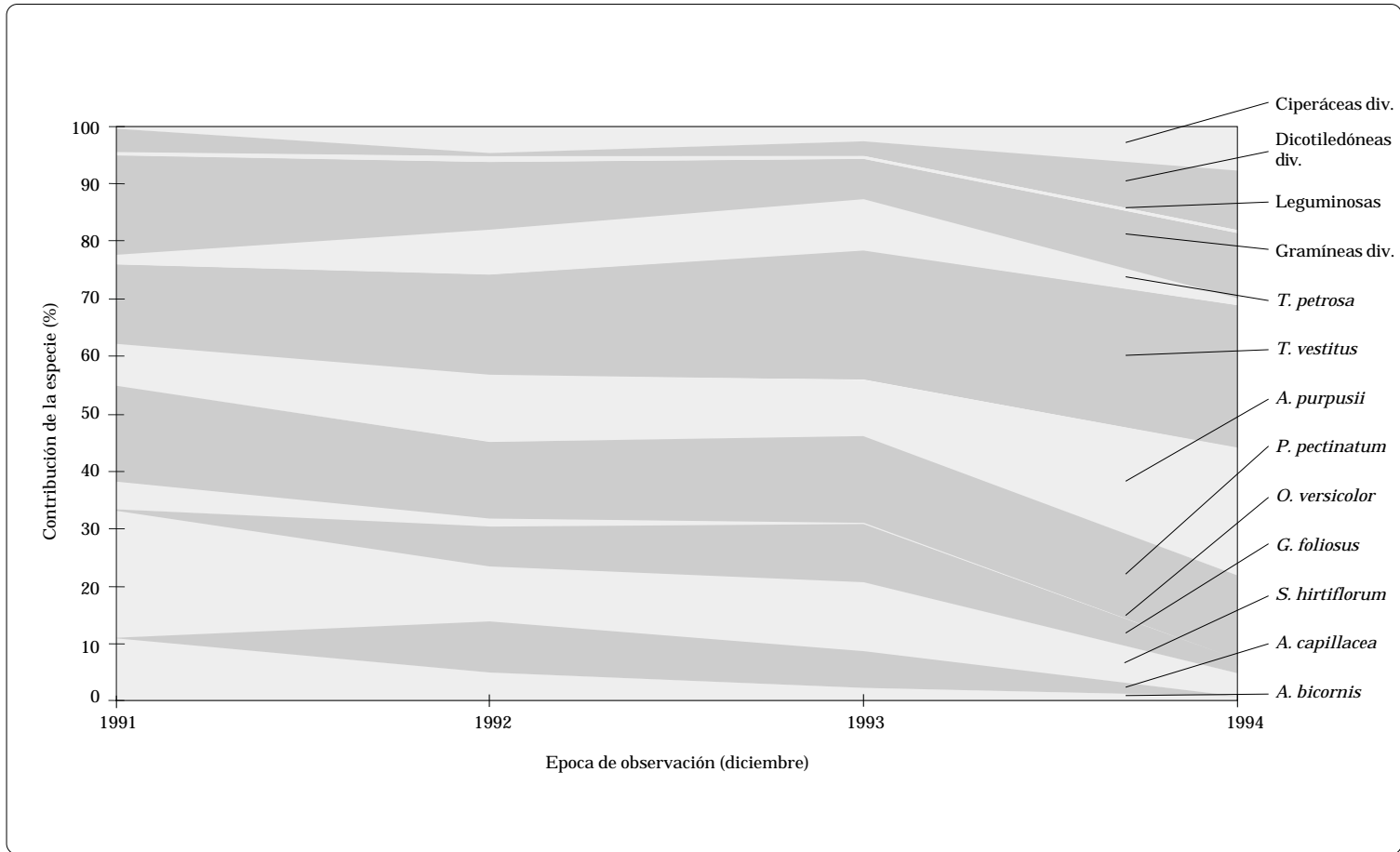


Figura 8-9. Dinámica de la sabana nativa que recibe un manejo ideal: quema cada 16 meses con rotación (dic.-abril-ago.-dic.) y carga media (div. = diversas).

Tabla 8-9.

Año	Contribución (%) de:													Total (%)
	<i>A. bicornis</i>	<i>A. capillacea</i>	<i>S. hirtiflorum</i>	<i>G. foliosus</i>	<i>O. versicolor</i>	<i>P. pectinatum</i>	<i>A. purpusii</i>	<i>T. vestitus</i>	<i>T. petrosa</i>	Gramíneas div.	Leguminosas	Dicotiledóneas div.	Ciperáceas div.	
Dic. 1991	10.4	0.4	22.4	0	5.2	16.2	7.5	13.4	1.8	17.5	0.5	4.1	0.3	99.7
Dic. 1992	4.7	8.8	10.2	6.6	1.3	13.4	11.4	18	7.4	12.2	0.8	0.8	4.4	100
Dic. 1993	2.1	6.4	11.9	10.4	0.1	15	10	22.4	9.1	7.3	0.4	2.4	2.5	100
Dic. 1994	0.5	0.2	3.7	2.6	0	13.7	21.5	23.9	1	10.4	0.8	10.4	7.1	95.8

CAPÍTULO 9

Productividad de Pasturas Nativas y Diferentes Modelos de Manejo en los Llanos Orientales

*G. Rippstein**, *G. Allard***, *J. Corbin****, *G. Escobar^Ψ* y *R. A. Serna-Isaza^Ψ*

Resumen

La productividad y el valor alimenticio de los diferentes tipos de pastos nativos de los Llanos Orientales de Colombia, manejados sin la práctica de la quema, son generalmente bajos durante todo el año. En condiciones de manejo tradicional, la ganancia de peso de los bovinos de carne es baja en la época lluviosa y muy baja o negativa en la época seca.

En el Centro de Investigación Agropecuaria Carimagua, manejado por el ICA y el CIAT en los Llanos Orientales de Colombia, los ensayos arrojaron diferencias significativas en la productividad de los animales, que dependía de la composición botánica, o sea, del 'valor pastoril' de los pastos nativos.

Se obtuvo una ganancia de peso significativa durante todo el año haciendo quemaduras secuenciales cada 4 meses en la época lluviosa y quemaduras mensuales en la época seca,

pastoreando los rebrotes de 4 semanas de edad después de la quema, haciendo rotaciones y duplicando la carga animal tradicional. Este sistema evitó la degradación de la vegetación.

Estos modelos mejorados de explotación de la sabana tienen un límite; por ello, puede ser necesario intensificar la pastura en la época seca sembrando pastos mejorados y haciendo reservas de forraje; ambas prácticas complementan la nutrición animal.

Introducción

Los estudios ecológicos y fitosociológicos realizados en los Llanos Orientales revelaron una gran diversidad de paisajes, de suelos, de condiciones hídricas y, naturalmente, de tipos de sabana nativa (Blydenstein 1967; Broekhuijsen 1995; Grollier 1995; Rippstein y Girard 1994; Rippstein et al. 1995; Capítulos 1 a 10 de esta obra). La sabana nativa se considera de inferior calidad y su productividad es muy baja (Fisher et al. 1992) (Cuadro 9-1).

La explotación tradicional de bovinos, con quema de la sabana nativa o sin ella, no permite que los animales adquieran mucha ganancia de peso, a pesar de que, siendo jóvenes, pastorean los rebrotes de buena calidad nutricional producidos después de la

* Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

** Biólogo, Université Paris XII, Francia

*** Ingeniera, ISTOM, Cergy, Francia.

Ψ Biólogo, CIAT, Cali, Colombia.

Cuadro 9-1. Productividad del ganado bovino en la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia en el sistema de pastoreo tradicional.

Tipo de manejo (en suelo arcilloso)	Carga, promedio (kg PV/ha)	Ganancia de peso diaria (GPD) (g PV/An. por día)		Ganancia anual (kg PV/An.)
		Epoca lluviosa (235 días)	Epoca seca (130 días)	
Tradicional, sin quema, con pastoreo libre	40	+210	-160	28
	66	+270	-190	38
	100	+150	-250	2
Quema en la época seca, pastoreo libre, minerales	40	+260	+110	75
	66	+310	-50	67
	100	+230	-180	31

FUENTE: Paladines y Leal (1979).

quema, especialmente durante la época seca (Hoyos 1987) (Cuadro 9-2).

Parecía posible, sin embargo, mejorar la productividad o ganancia de peso diaria de los animales (GPD, medida en kg/ha) en estas sabanas nativas, empleando modelos de manejo que incluyan las siguientes prácticas:

- buen uso de la quema;
- cargas de pastoreo adecuadas tanto en la época seca como en la lluviosa, adaptadas a la productividad y a la calidad de la vegetación;
- rotación de los animales por diferentes parcelas;
- descanso de la vegetación después de la quema y antes del pastoreo.

Se evaluaron, por tanto, para explotar mejor la sabana nativa, varios modelos de manejo en el Centro de Investigación Agropecuaria (CI) Carimagua entre 1991 y 1996.

Materiales y Metodología

Sitios

Los ensayos se realizaron en cinco sitios diferentes: cuatro tenían suelos 'arcillosos' (los sitios Caribey, Corin,

Pasoganado 1 y Pasoganado 2) y uno tenía suelo 'arenoso'.

Suelos

Los *suelos arcillosos* son relativamente fértiles. Su composición porcentual, en el horizonte de 0 a 20 cm, es el siguiente: arcilla 37%, arena 18%, limo 45%, pH (en H₂O) 5.5, M.O. 3.44%, N disponible 6.23 ppm, N (total) 1008 ppm, C (total) 2.0%, C/N 19.8, Al 2.6 meq/100 g, Ca 0.21 meq/100 g, K 0.06 meq/100 g, saturación de Al 89%, P (Bray II) 3.9 ppm.

Este tipo de suelo arcilloso es muy representativo de la Altillanura plana y ocupa cerca de 3.5 millones de hectáreas en los Llanos Orientales de Colombia (Cochrane et al. 1985).

Los *suelos arenosos* son relativamente escasos en nutrientes. Su composición porcentual es la siguiente (0-20 cm): arcilla 17%, arena 65%, limo 18%, pH (H₂O) 5.1, M.O. 0.89, N disponible 3.7 ppm, N (total) 339 ppm, C (total) 0.52%, C/N 15.5, Al 0.7 meq/100 g, Ca 0.13 meq/100 g, K 0.03 meq/100 g, saturación de Al 77%, P (Bray II) 2.0 ppm.

Este tipo de suelo arenoso es muy parecido a los suelos arenosos de la Altillanura ondulada o de la Serranía de los Llanos Orientales, que ocupan 6.4 millones de hectáreas.

Cuadro 9-2. Productividad y valor nutritivo de los rebrotes de los pastos nativos de la sabana en la Altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia.

Edad de los rebrotes (semanas)	En suelo arcillo-limoso: ^a				En suelo areno-arcilloso: ^a			
	Productividad (kg M.S./ha por día)		Valor nutritivo de M.S. (%)		Productividad (kg M.S./ha por día)		Valor nutritivo de M.S. (%)	
	En época lluviosa	En época seca	Proteína bruta	Digestibilidad in vitro	En época lluviosa	En época seca	Proteína bruta	Digestibilidad in vitro
1	5.9 b	4.0 a	10.4 a	44.6 a	4.9 b	8.6 a	8.9 a	44.5 a
2	10.4 a	5.9 a	8.6 b	43.6 a	5.2 b	9.3 a	7.7 b	43.6 a
4	10.6 a	4.4 a	8.4 b	40.3 b	10.3 a	8.4 a	6.2 c	38.0 b
8	8.9 ab	5.0 a	5.7 c	33.7 c	11.2 a	4.2 b	4.7 a	31.2 c

a. Las cifras seguidas de una misma letra (en las columnas) no son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

Vegetación

La vegetación de Carimagua se describe detalladamente en el Capítulo 2 de esta obra.

Las especies que predominan en los suelos arcillosos y su contribución específica (en porcentaje) a la vegetación de la sabana son:

- gramíneas: *Trachypogon vestitus* (41%), *Axonopus purpusii* (20%), *Paspalum pectinatum* (11%), *Andropogon leucostachyus* (7%), *Schyzachyrium hirtiflorum* (5%), *Trasya petrosa* (5%);
- diicotiledóneas diversas (2%);
- ciperáceas diversas (3%);
- leguminosas (0.5%).

En suelos arenosos, las especies que predominan y su contribución específica (en porcentaje) son las siguientes:

- gramíneas: *P. pectinatum* (14%), *S. hirtiflorum* (13%), *A. purpusii* (10%), *T. vestitus* (10.5%), *Mesosetum pittieri* (9%), *Leptocoryphium lanatum* (6.5%);
- otras gramíneas (13.8%);
- ciperáceas: *Rhynchospora podosperma* (13.2%), *R. confinis* (9.2%);
- algunas dicotiledóneas (0.1%);
- leguminosas (0.7%).

Modelos

Se emplearon dos modelos de manejo:

- El Modelo 1 es el sistema **tradicional mejorado con quema**. La quema se hace en secuencia, en cuatro parcelas, cada 4 meses (o sea, en diciembre, en

abril y en agosto). La carga de pastoreo es diferente en cada período. En consecuencia, cada parcela es quemada de nuevo a los 16 meses de la primera quema, tiempo que permite la recuperación de su vegetación y evita su degradación (ver Capítulo 8 de esta obra).

- El Modelo 2 es el sistema **mejorado con quema y rotación**. La quema se hace en secuencia mensual, en 20 parcelas distribuidas en dos bloques. Cada mes, después de 4 semanas de descanso, los animales pasan de un bloque a otro.

En la época seca (diciembre a marzo) se quemaron dos parcelas contiguas en el mismo bloque a causa de la menor productividad de los rebrotes durante esa época (Cuadro 9-2). Cada parcela, por tanto, experimenta una quema cada 16 meses.

Se aplicaron las siguientes *cargas animales* o de pastoreo:

- En suelo arcilloso:
 - carga baja: 6 ha/animal
 - carga media: 4 ha/animal
 - carga alta: 2 ha/animal
- En suelo arenoso:
 - carga media: 6 ha/animal
 - carga alta: 4 ha/animal

Se ensayaron, además, diferentes tiempos de *descanso* después de la quema y antes del pastoreo: 0 semanas (pastoreo inmediatamente después de la quema), 2, 4 y 8 semanas. En el Modelo 2 se ensayó una rotación alterna en dos bloques, después de 4 semanas de descanso.

Animales

Se ensayaron novillos y vaquillas de 2 años de edad, de raza criolla o de cruces Criollo *por* Brahman, que tenían un peso vivo (PV) inicial de 180 kg (en promedio).

Muestras

Se tomaron las siguientes muestras cada mes:

- el peso de los animales (kg PV/animal; kg PV/ha)
- la productividad de la vegetación, o sea, la biomasa aérea neta del pasto muestreada en un cuadrado de 1 m² (g M.S./m² o kg M.S./ha).

Se tomaron también muestras para estudiar la dinámica de la vegetación (parte aérea y raíces) en transectos permanentes, pero no se reportan en este capítulo.

Resultados

Productividad de dos tipos de pasturas nativas

En la Figura 9-1 y en el Cuadro 9-3 se compara el comportamiento de dos tipos de suelo, el arcilloso y el arenoso, en un mismo sistema: el tradicional mejorado en sabana.

Al principio del ensayo y durante 1 año (julio 1991 hasta julio 1992), las cargas aplicadas a los pastos fueron de 6 ha/animal en el suelo arenoso y de 4 ha/animal en el suelo arcilloso.

A partir de julio 1992, la carga fue de 4 ha/animal para el pasto de ambos tipos de suelo.

Durante este primer año, la *ganancia de peso por animal* fue casi igual (40 kg PV/animal) en ambos suelos, el arcilloso y el arenoso, aunque más irregular en el segundo; fue muy

diferente, en cambio, la productividad animal en ambos suelos: 10 y 6.6 kg PV/ha al año, respectivamente.

Durante el segundo año (agosto 1992 a septiembre 1993) y empleando la misma carga (4 ha/animal) para ambos tipos de sabana, la diferencia entre los dos suelos fue notoria: la ganancia de peso en el suelo arcilloso fue significativamente diferente (más de 90 kg).

En suelo arenoso, la GPD fue débil durante la época lluviosa (E.L.) de 1992 (Cuadro 9-3); fue negativa en la E.L. de 1993 (-47 g) y baja (+21 g) durante la época seca (E.S.) de 1992-93. En suelo arcilloso, la GPD, ya sea en la E.L. de 1992 y 1993, o en la E.S. de 1992-93, fue relativamente buena (+167, +367 y +35 g, respectivamente). En ambos sitios no se obtuvo una ganancia de peso alta durante la época seca, a pesar de la quema de diciembre, cuando se produce rebrote de buena calidad, aunque de escasa biomasa.

La diferente ganancia de peso de los animales, especialmente en la E.L. se explica por la diferencia significativa de la calidad de los pastos, no sólo respecto a su contenido de proteína sino principalmente por su diferente composición botánica que se muestra a continuación:

- en suelo arenoso, la presencia de las ciperáceas (más del 22%) era importante y estas plantas son muy poco apetecibles por el ganado y tienen un índice de valor pastoril (IVP) muy bajo (ver Capítulo 8 de esta obra; Daget y Godron 1995; Rippstein 1989); asimismo, había gramíneas poco apetecibles, como *S. hirtiflorum*.
- en suelo arcilloso, especies como *T. vestitus* y *A. purpusii*, que constituyen el 60% de la biomasa total del pasto, son muy apetecibles y tienen un IVP alto.

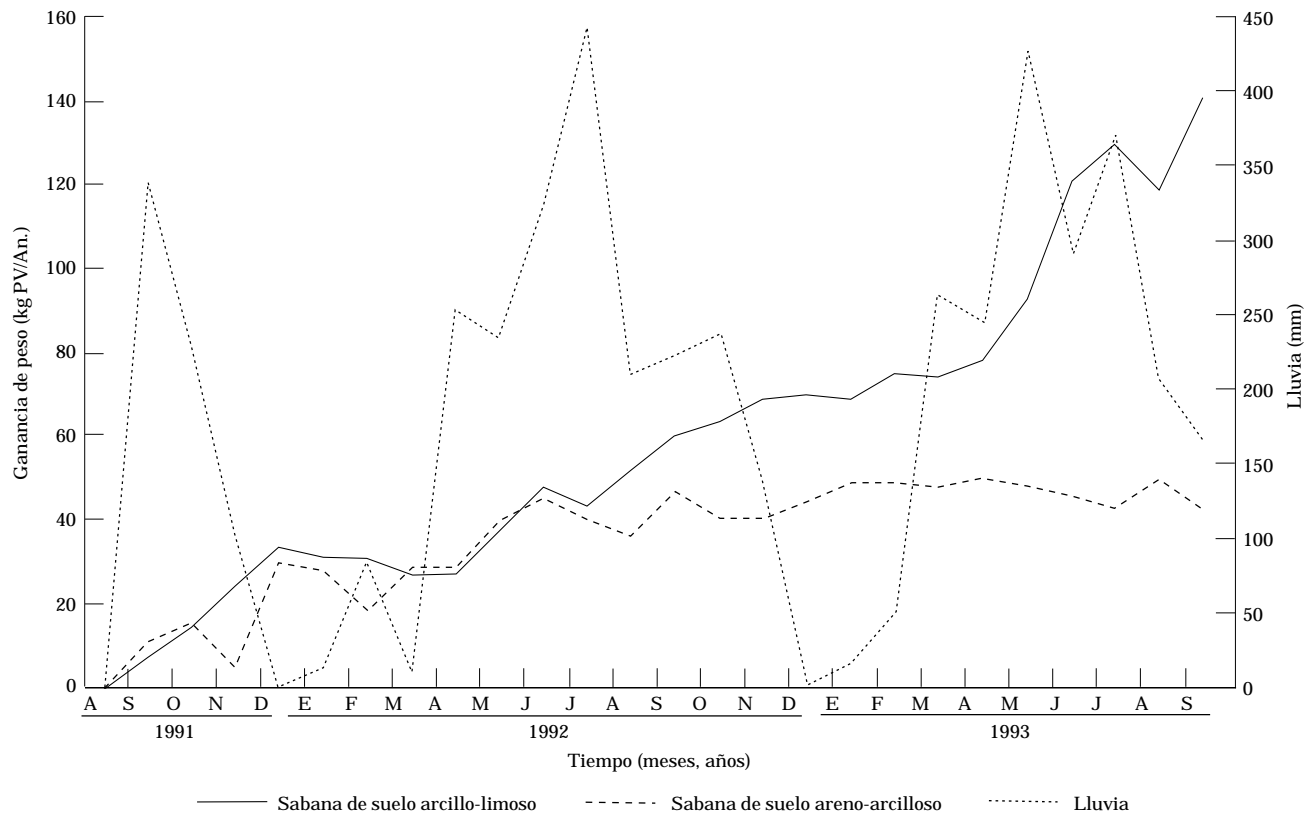


Figura 9-1. Comparación de la productividad de diferentes tipos de sabana nativa manejados con quema, en los Llanos Orientales de Colombia. Se presentan la ganancia de peso de bovinos y las lluvias caídas.

Cuadro 9-3. Ganancia de peso por día (GPD) de bovinos en dos tipos de sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia, en un sistema tradicional mejorado (Modelo 1 del ensayo) que experimenta quemas cada 16 meses en cuatro parcelas.

Tipo de sabana (y suelo)	Ganancia de peso diaria (g PV/An. por día) en:					
	Fin de época lluviosa	Epoca seca	Epoca lluviosa	Epoca seca	Principio de época lluviosa	Epocas lluviosa y seca
	1991 (ago.-dic.)	1991/92 (dic.-abr.)	1992 (abr.-dic.)	1992/93 (dic.-mar.)	1993 (mar.-sept.)	1992/93
Tipo 1 Arcilloso (arcillo-limoso)	+228	-57	+167	+35	+367	+154
Tipo 2 Arenoso (areno-arcilloso)	+207	-10	+61	+21	-47	+57

El VP de la sabana en suelo arcilloso es de 58.7% y en suelo arenoso es de 42.8%.

Comparación de modelos de manejo de la sabana nativa

En la Figura 9-2 y en el Cuadro 9-4 se comparan los dos modelos: el Modelo 1 es el sistema *tradicional mejorado con quema*, en que la quema se hace cada 4 meses y cada una de las 4 parcelas experimenta la quema cada 16 meses recibiendo diferentes cargas (alta, media y baja); el Modelo 2 es el sistema *mejorado con quema y rotación*, en que se hace quema mensual en 20 parcelas.

La comparación permite sacar las siguientes conclusiones:

- En los dos modelos (o sistemas) no existe una correlación general entre la producción de rebrotes 4 semanas después de la quema y la ganancia de peso de los animales.
- En el Modelo 1, en la E.S., la ganancia de peso es baja o negativa, a pesar de que hay rebrotes importantes; en el Modelo 2, en cambio, la ganancia de peso es relativamente alta.
- En ambos sistemas hay una alta correlación entre ganancia de

peso y producción de rebrotes al principio de la E.L. (especialmente entre abril y junio de 1995).

- En el Modelo 1, durante la primera E.L. (abril a diciembre de 1994), la carga baja o la media permite obtener mejor ganancia de peso que la carga alta.
- Durante la misma época, el Modelo 2 no permite obtener una ganancia de peso alta.
- Durante la E.S. del primer año (diciembre de 1994 a marzo de 1995), la GPD fue negativa en el Modelo 1 con carga alta (-111 g) y ligeramente positiva con las otras dos cargas; en el Modelo 2, con cargas media y baja, fue muy alta (+289 g).
- Al final del primer año (febrero a marzo de 1995), en el Modelo 1 (sistema 1) la GPD con carga alta (2 ha/animal) fue muy inferior a la obtenida en el Modelo 2 (sistema 2) con esa carga y significativamente inferior a las obtenidas en el mismo Modelo 1 con las cargas media y baja.
- Durante el segundo año del ensayo (1995-96), las ganancias de peso obtenidas en los mismos

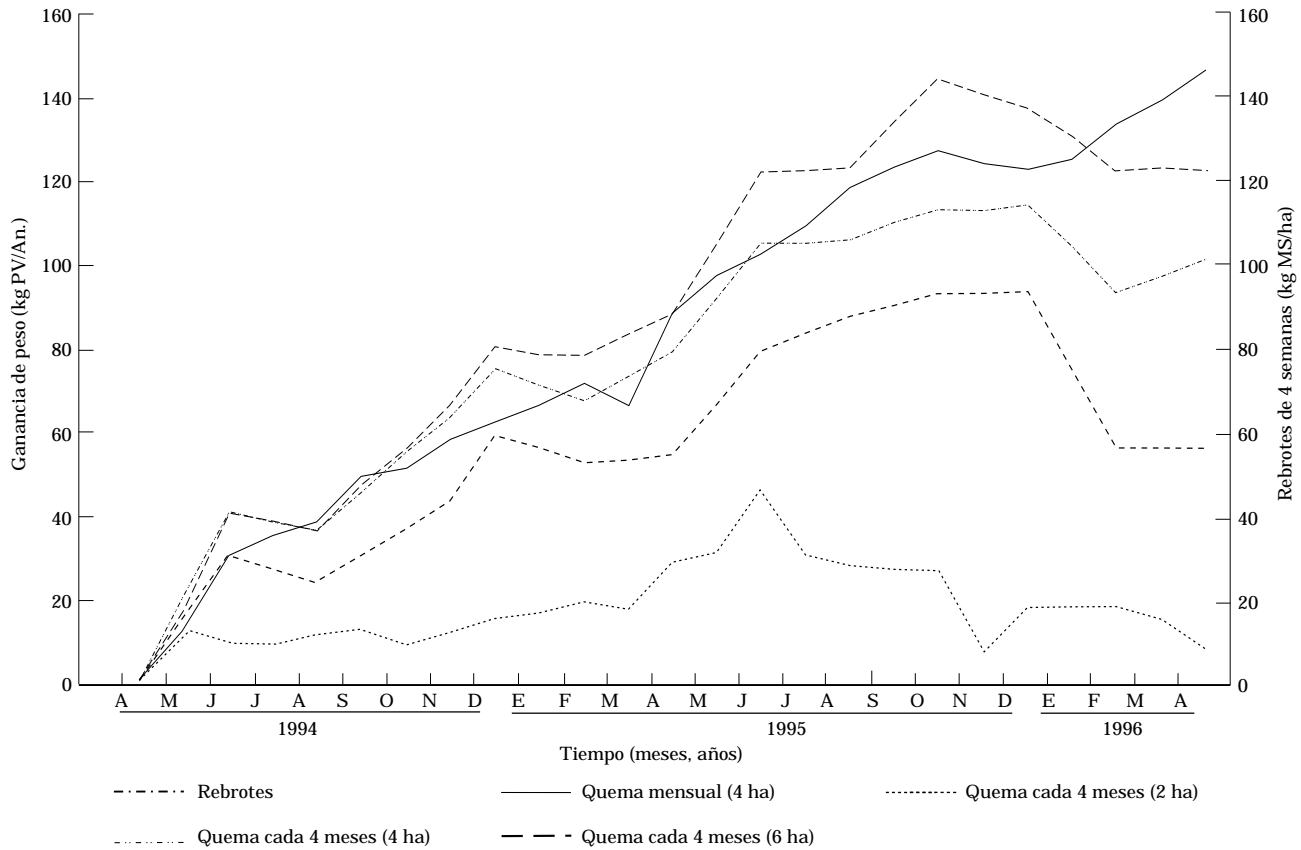


Figura 9-2. Comparación de la productividad de dos sistemas de 'manejo mejorado' de la sabana nativa en la Altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia (quema secuencial cada 4 meses y quema mensual) que se practica en ellos, con diferente carga animal. Se miden la ganancia de peso de los bovinos y los rebrotos del pasto 4 semanas después de la quema.

Cuadro 9-4. Ganancia de peso diaria de bovinos (g PV/An. por día) que pastorean en diferentes modelos o sistemas de manejo de los pastos nativos de los Llanos Orientales de Colombia, en un suelo arcillo-limoso.

Modelo	Ganancia de peso (g PV/An. por día) en periodo: ^a						Total (2 años)
	Epoca lluviosa (abr.-dic.94)	Epoca seca (dic.94-abr. 95)	Epoca lluviosa y época seca (Año 1)	Epoca lluviosa (abr.-dic.95)	Epoca seca (dic.95-abr.96)	Epoca lluviosa y época seca (Año 2)	
Modelo 1							
Quema de 4 parcelas cada 16 meses							
Carga animal:							
Alta (2 ha/An.)	+234 b	-111 d	+147 c	+164 b	-289 d	+5 d	+76 d
Media (4 ha/An.)	+298 a	+34 c	+215 b	+147 b	-102 b	+60 c	+138 c
Baja (6 ha/An.)	+317 a	+69 b	+210 b	+210 a	-133 c	+90 b	+165 b
Modelo 2							
Quema de 20 parcelas cada 16 meses							
Carga animal:							
Media (4 ha/An.)	+224 b	+289 a	+278 a	+135 c	+211 a	+158 a	+199 a

a. Las cifras seguidas de la misma letra (en las columnas) no son significativamente diferentes (P < 0.05).

sistemas fueron, durante todo ese año, inferiores a las del año anterior.

- En la E.L. de 1995, el modelo que produjo menos ganancias fue el Modelo 2 (+135 g/animal por día); en el Modelo 1, en cambio, la ganancia fue de +164 g, +147 g y +210 g para las cargas alta, media y baja, respectivamente. Durante esta época lluviosa, el sistema 1, con carga baja, es el más eficaz en términos de ganancia de peso por animal (pero no por hectárea),
- Durante la E.S. del segundo año (diciembre de 1995 a abril de 1996), todos los animales perdieron peso en el Modelo 1, en todas las cargas: la GPD fue de -289 g, -102 g y -133 g para las cargas alta, media y baja, respectivamente. En el

Modelo 2, la GPD fue relativamente muy alta (+211 g).

- Durante todo el segundo año (1995-96), el Modelo 2 (sistema 2) es significativamente más productivo que el Modelo 1, para todas las cargas.
- Al final de los 2 años, la ganancia de peso fue significativamente más alta en el Modelo 2, gracias a la ganancia de peso obtenida en él en los últimos meses de la E.S. del segundo año; en esa época, los animales perdieron peso en el Modelo 1.
- En el Modelo 1, la GPD es inversamente proporcional a la carga animal.
- En el Modelo 2 hubo siempre ganancia de peso en la E.S.; en la E.L., en cambio, la ganancia fue inferior a todas las variantes del Modelo 1.

- La quema mensual produce ganancias más regulares, en el tiempo, que la quema cada 4 meses.

Comportamiento de los animales en la pastura

En el Modelo 1 (sistema 1), donde hay quema de cuatro parcelas cada 16 meses (abril, agosto y diciembre), los animales pastorean rápidamente “durante un poco más de un mes e inmediatamente después de la quema” los pequeños rebrotes de la parcela recién quemada; terminados éstos, se reparten por toda el área de la pastura para aprovechar también los rebrotes más jóvenes (tallos) de las macollas más viejas.

En el Modelo 2 (sistema 2), y durante la E.L., los animales pastorean, en los 10 primeros días de la rotación, principalmente, las parcelas en que la quema es más reciente, es decir, los rebrotes que tienen de 4 a 8 semanas (29% del día) y de 12 a 16 semanas (55% del día); luego hacen un pastoreo total de la biomasa aérea de esas parcelas, pero no consumen los rebrotes de las parcelas más antiguas (Cuadro 9-5). Durante el período siguiente, de más o menos 10 días, los animales pastorean principalmente las otras parcelas, así: 37% del tiempo prefieren los rebrotes de 20 a 32 semanas y 26% del tiempo

los de más de 36 semanas. Solamente durante los últimos 10 días, los animales pastorean todas las parcelas del bloque sin atender a la edad de la parcela.

En consecuencia, en la E.L. (según el Modelo 1), los animales ingieren más M.S. que en el Modelo 2, porque en este último tienen a su disposición solamente la mitad de la superficie total del sistema aplicado en el modelo.

En cambio, en la E.S. (según el Modelo 1), los animales consumen menos M.S. porque se quedan en la parcela más joven (quemada en diciembre) durante toda esa época, es decir, ocupan solamente 25% del área total del sistema 1. En el Modelo 2, los animales pueden usar 40% del área del sistema 2 (4 x 2 parcelas, ya que 2 parcelas son quemadas cada mes durante los 4 meses de esta época). Este resultado explica la mayor ganancia de peso obtenida por los animales durante la E.S. en el sistema 2.

Discusión y Conclusiones

El muestreo de la vegetación (composición botánica, cantidad de biomasa), su análisis químico (calidad), la observación de los animales pastoreando la sabana nativa (preferencias, gustosidad de las especies vegetales) permiten proponer

Cuadro 9-5. Comportamiento de los animales en la sabana nativa manejada con quema mensual y rotación (Modelo 2). Se midió el comportamiento por el tiempo de pastoreo de los rebrotes de diferente edad (% de un día de 12 horas, de 6:00 a.m. a 6:00 p.m.), durante un período de 1 mes.

Edad de los rebrotes (semanas)	Tiempo de pastoreo (% del día) en:			
	Epoca seca	Epoca lluviosa en:		
		Inicio mes	Mitad mes	Final mes
4-8	55	29	19	30
12-16	32	55	18	12
20-32	7	11	37	29
> 36	6	5	26	29

algunas explicaciones a las diferencias en productividad que exhiben las pasturas y los sistemas de producción.

- Las diferencias en productividad de los animales (ganancia de PV por día) que pastorean la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia, en tipos diferentes de suelo, provienen principalmente de la diferente composición botánica de la pastura y, en menor grado, de la diferencia del valor alimenticio global de dichas pasturas.
- Por consiguiente, para conocer el valor de una pastura es necesario medir no sólo su productividad y su valor nutritivo, sino también su VP; éste es un buen índice para evaluar y clasificar los pastos de una región.
- La comparación de diferentes modelos de manejo de los pastos nativos, en los que la quema es un elemento esencial e indispensable, indicó que la quema secuencial mensual "es decir, poner a disposición de los animales, cada mes, una porción de la pastura que tenga rebrotes de 1 a 2 meses de edad" permite obtener ganancias de peso durante la E.S. Una sola quema, al principio de esta época y solamente en una cuarta parte de la superficie requerida por el sistema, no permite obtener esas ganancias.
- No parece útil hacer quemas cada mes en la E.L. porque los animales se reúnen en las parcelas donde la quema ha sido más reciente y no pastorean los rebrotes de otras parcelas más antiguas. En la E.L., la quema cada 4 meses (como en el Modelo 1) es suficiente para el Modelo 2.
- Hacer rotación entre dos bloques, lo que permite a los animales pastorear rebrotes de 4 semanas de

edad y de buena calidad, es una práctica necesaria para prevenir la degradación de la pastura (ver Capítulo 9 de esta obra). En efecto, en una parcela sin descansos, 4 semanas después de la quema, los animales pastorean continuamente y a raz del suelo, hasta arrancar las macollas. Las especies más apetecibles que no hayan sido arrancadas no pueden producir reservas subterráneas (raíces), se agotan y desaparecen; queda entonces el suelo desnudo o cubierto con especies anuales de baja producción o especies perennes poco apetecibles.

- En una finca no será necesario tender una cerca entre dos bloques cuando hay suficiente distancia entre ellos. Sin embargo, las rondas de 2 m de ancho, como mínimo, son indispensables para controlar la quema en las parcelas, especialmente en la E.S.; esta anchura depende de la cantidad de biomasa seca del bloque, de la dirección y la velocidad del viento, de la humedad del suelo, y de la humedad atmosférica, entre otros factores.

El manejo de la sabana nativa con quema, descanso, rotaciones y variación de la carga animal tiene un límite (Lascano 1991; Rippstein et al. 1996). En la Altillanura plana o en los bajos de la Serranía de los Llanos Orientales, donde es posible desarrollar cultivos, estos modelos tienen que integrarse, cuando las condiciones socioeconómicas son favorables, en sistemas más complejos. En tales sistemas se asocian la sabana nativa, los cultivos de especies forrajeras para la época seca o para reservas de forraje, como heno o ensilaje, y los suplementos a base de subproductos agrícolas o agroindustriales, que desafortunadamente son escasos en esta región.

Bibliografía

- Blydenstein J. 1967. Tropical savanna vegetation of the Llanos of Colombia. *Ecología* 48(1):1-15.
- Broekhuijsen J. 1994. The botanical and chemical composition of the "Serranía" grasslands in the "Llanos Orientales" of Colombia. Tesis (Doct. Agron.). Grassland Science, Dept. of Agronomy, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Holanda. 106 p.
- Cochrane T. T.; Sánchez L. G.; Porras J. A.; de Azevedo L. G.; Garver C. L. 1985. La tierra en América tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia, y Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Brasilia, Brasil. 444 p.
- Daget P.; Godron M. (comp. ed.). 1995. *Pastoralisme: Troupeaux, espaces et sociétés*. Hatier-Aupelf, Uref, Francia. 510 p.
- Fisher M. J.; Lascano C. E.; Vera R. R.; Rippstein G. 1992. Integrating the native savanna resource with improved pastures. En: *Pastures for the tropical lowlands: CIAT's contribution*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 228 p.
- Grollier C. 1995. *Caractérisation des savannes d'une région des Llanos Orientaux de Colombie*. Mémoire de fin d'études. ISTOM/École d'Agro-Développement International, Cergy-Pontoise, Francia. 67 p. (+ anexos).
- Hoyos P. 1987. Características nutritivas y botánicas de la sabana nativa sin quema suplementada con leguminosas en los Llanos Orientales de Colombia. Tesis (M.S.). Universidad de Costa Rica y Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica. 153 p.
- Lascano C. 1991. Managing the grazing resource for animal production in savannas of the tropical America. *Trop. Grassl.* 25:66-72.
- Paladines O.; Leal J. 1979. Manejo y productividad de las praderas en los Llanos Orientales de Colombia. En: Sánchez P. A.; Tergas L. E. (eds.). *Producción de pastos en los suelos ácidos de los trópicos*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 331-346.
- Rippstein G. 1989. Une méthode d'étude et de classification des pâturages tropicaux. En: XVI Congreso Internacional de Pastos, Niza, octubre 1989. Niza, Francia. p. 1435-1436.
- Rippstein G.; Girard C. M. 1994. Utilización de datos radiométricos de tipo espacial y terrestre para el estudio e inventario de la vegetación de los Llanos Orientales de Colombia. *Pasturas Tropicales* 16(2):2-9.
- Rippstein G.; Lascano C.; Decaens T. 1996. La production fourragère dans les savanes d'Amérique du Sud intertropicale. *Fourrages*, 145. p. 33-52.
- Rippstein G.; Broekhuijsen J. K.; Peters A. G. E.; Escobar G. 1995. Vegetation and ecology of the "serranía" native pastures of the Eastern Plains of Colombia (Llanos). En: *CIAT Annual Report 1994, Tropical Lowlands Program*. Working Document no. 148. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 76-103.

CAPÍTULO 10

Producción de Biomasa Vegetal Epígea e Hipógea en las Sabanas Nativas

*I. Rao**, *G. Rippstein***, *G. Escobar**** y *J. Ricaurte^ψ*

Resumen

El crecimiento y el ciclo de renovación de las raíces son dos componentes clave en el estudio, en los pastos nativos o introducidos, tanto del reciclaje de nutrientes como del secuestro, en las raíces profundas, del carbono atmosférico fijado por la planta. En las pasturas sometidas a pastoreo, los nutrientes cumplen un ciclo que va del suelo a las plantas de la pastura y luego de ésta al suelo, ya sea por muerte del tejido vegetal o mediante los excrementos de los animales en pastoreo. Las especies forrajeras tropicales mejoradas usan en forma eficiente los nutrientes porque los extraen de las capas más profundas del suelo y los reciclan luego en la planta.

La evaluación de la dinámica tanto de la biomasa como de la longitud de las raíces de las pasturas basadas en

leguminosas, en comparación con esa dinámica en las pasturas de gramínea sola o en las pasturas de especies nativas, es un elemento clave para entender el papel de las raíces tanto en la obtención de nutrientes y en el reciclaje de éstos en las pasturas como en el secuestro del carbono antes mencionado. Se hicieron, por tanto, ensayos sin pastoreo, en pequeñas parcelas, en las pasturas nativas de los Llanos Orientales de Colombia para conocer mejor ese comportamiento de los pastos.

Estos estudios eran parte de un proyecto más amplio cuya meta fue diseñar modelos de pasturas para predecir el efecto, a largo plazo, de las opciones de manejo en la persistencia y en el reciclaje de nutrientes de las asociaciones de gramíneas y leguminosas sometidas a pastoreo en las sabanas latinoamericanas.

La mayor producción de carne, leche y cultivos de sabana, en sistemas sostenibles, que exigen el acelerado crecimiento demográfico urbano, la pobreza extrema y la degradación ambiental vendrá de sistemas de pastura que contengan gramíneas y leguminosas introducidas, ya que éstas obtienen y reciclan nutrientes en forma eficiente sin que sea necesario agregar al sistema grandes cantidades de insumos o fertilizantes.

* Nutricionista y Fisiólogo de Plantas, Suelos, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

** Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), CIAT, Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

*** Biólogo, CIAT, Cali, Colombia.

ψ Ing. Agrónomo, Suelos, CIAT, Cali, Colombia.

Introducción

El uso predominante dado a las sabanas sudamericanas (cuya extensión es de 225 millones de hectáreas) es la ganadería extensiva, aunque en Brasil los cultivos de maíz y soya y las pasturas introducidas han cobrado importancia durante los últimos 30 años (Vera et al. 1992). Esos suelos son, principalmente, Oxisoles y Ultisoles, cuyas características (pH, aluminio y nutrimentos) se discuten en el Capítulo 1 de esta obra). La precipitación anual es de 1500 a 3000 mm y su distribución estacional es unimodal (Cochrane 1986). Las pasturas de la sabana nativa están dominadas por especies de gramíneas de los géneros *Andropogon* y *Trachypogon*, que son poco productivas y tienen un valor nutritivo muy bajo. Por consiguiente, el comportamiento animal, 'medido por las ganancias de peso vivo del ganado', es deficiente (de 7 a 20 kg/ha por año). Si se introducen asociaciones de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales mejoradas, se puede lograr que estas praderas tropicales se vuelvan productivas, es decir, que permitan al ganado obtener ganancias de peso vivo hasta de 500 kg/ha por año (Fisher et al. 1996; Lascano y Euclides 1996).

La creciente presión ejercida por el crecimiento demográfico urbano, unida a la pobreza y la consiguiente degradación ambiental, exigen una mayor producción de carne, leche y cultivos en las sabanas aplicando sistemas sostenibles (Vera et al. 1992). El aumento en estos rubros vendrá de los sistemas de pastura que contengan gramíneas y leguminosas introducidas, las cuales obtienen y reciclan nutrimentos en forma eficiente sin que sea necesario agregar grandes cantidades de insumos o fertilizantes (Fisher et al. 1996; Rao et al. 1993; Thomas et al. 1995).

Estudios previos

Los estudios sobre la productividad primaria neta de los ecosistemas de gramíneas naturales en el trópico han indicado que, cuando se toman en cuenta todas las pérdidas de la parte aérea de la planta y de sus raíces, estos ecosistemas son mucho más productivos de lo que se había estimado antes (Long et al. 1989). Si se considera el ciclo de renovación de la parte aérea y de las raíces sólo en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, se obtiene una productividad primaria neta cinco veces superior a la obtenida mediante el procedimiento estándar recomendado por el Programa Biológico Internacional. Los cálculos de la biomasa presente bajo la superficie del suelo fluctuaron entre 0.61 y 5.68 Mg/ha. Los ciclos de renovación anual de la biomasa presente bajo la superficie del suelo, calculados dividiendo la producción de la planta por la biomasa media, oscilaron entre 1.7 y 4.0 Mg/ha (Long et al. 1989).

En los estudios sobre producción máxima de biomasa epígea¹ en los Llanos de Colombia o de Venezuela, los autores Blydenstein (1967), Paladines y Leal (1979), San José y García-Miragaya (1981), San José et al. (1985), San José y Montes (1989) encontraron, en los diferentes sitios, una producción natural de 1227 a 4821 kg/ha, sin ningún tipo de fertilización. Con fertilización (100 N-100 P-100 K) en una sabana nativa de *Trachypogon-Axonopus* en la Estación Ecológica de Calabozo, en Venezuela, García-Miragaya et al. (1983) midieron una biomasa máxima de 3686 kg/ha. Rony-Tejos M. (1980), en el Módulo Experimental de

1. Recordar que: biomasa o producción epígea cosechable = producción primaria neta = [producción primaria bruta - senescencia] (Lemaire et al. 1999).

Mantecal, Apure, Venezuela, localidad muy parecida en clima a los Llanos Orientales de Colombia (Carimagua), obtuvo una producción máxima de 8884 kg/ha con una fertilización de 330 N y 200 P, cuando la producción del testigo fue de 5659 kg/ha; no hubo restricción o limitación de agua en este ensayo.

Recientemente, Jackson et al. (1996) analizaron los modelos de enraizamiento de los biomas terrestres y compararon la distribución de las raíces de diversos grupos funcionales, utilizando una base de datos de 250 estudios de raíces. La distribución de las raíces, medida como promedio global en todos los ecosistemas, indicó que 30%, 50% y 75% de las raíces se localizaban en los primeros 10, 20 y 40 cm de profundidad del suelo, respectivamente. Esos autores compararon la información obtenida sobre raíces en todos los biomas de los grupos funcionales de plantas y encontraron que el 44% de las raíces de los pastos se encontraban en los primeros 10 cm de suelo, mientras que apenas el 21% de las raíces de las especies arbustivas se hallaban a esa misma profundidad. Se requiere información cuantitativa sobre la variabilidad del enraizamiento en función del tiempo y del lugar, para desarrollar modelos sobre las relaciones suelo-planta-animal en las pasturas sometidas a pastoreo. Sin embargo, la mayor parte de la información disponible actualmente sobre la producción y distribución de las raíces de especies de pastos tropicales trata de la biomasa de las raíces y no de la longitud de éstas.

El crecimiento y el ciclo de renovación de las raíces son dos componentes clave en el estudio tanto del reciclaje de nutrientes en los pastos como del secuestro, en las raíces profundas, del carbono atmosférico fijado por la planta. En las pasturas

sometidas a pastoreo, los nutrientes cumplen un ciclo que va del suelo a las plantas de la pastura y luego regresan al suelo, ya sea por muerte del tejido vegetal o mediante los excrementos de los animales en pastoreo (Rao et al. 1992; Haynes y Williams 1993; Boddey et al. 1996). Las especies forrajeras tropicales mejoradas usan en forma eficiente los nutrientes porque los extraen de las capas más profundas y los reciclan luego en la planta. Además de la obtención de nutrientes y del reciclaje de los mismos, los sistemas radicales profundos contribuyen también al secuestro, en esas raíces, del carbono atmosférico fijado en la planta (Rao et al. 1993; Fisher et al. 1994).

La evaluación de la dinámica tanto de la biomasa como de la longitud de las raíces de las pasturas basadas en leguminosas, en comparación con esa dinámica en las pasturas de gramínea sola o en las pasturas de especies nativas, es un elemento clave para entender el papel de las raíces tanto en la obtención de nutrientes y en el reciclaje de éstos en las pasturas como en el secuestro, en aquellas raíces situadas en capas profundas del suelo, del carbono atmosférico fijado. Se considera que las diferencias en biomasa y en longitud de las raíces, a través del tiempo, reflejan el resultado neto del crecimiento de nuevas raíces y de la pérdida de raíces por muerte y descomposición. De este modo, el ciclo de renovación de las raíces a través del tiempo contribuye, no sólo con el reciclaje de nutrientes, sino también con el mejoramiento del suelo mediante el secuestro del carbono fijado por la planta (Deinum 1985; Long et al. 1989; Veldkamp 1993; Fisher et al. 1994; Rao et al. 1994).

Objetivos

Para completar los resultados ya obtenidos por otros autores (Paladines y Leal 1979) sobre el potencial de

bioproducción y la calidad nutricional de la sabana de los Llanos de Colombia, se hicieron ensayos sin pastoreo, en pequeñas parcelas, en las pasturas nativas de los Llanos Orientales.

Los datos reportados en este artículo responden a los siguientes objetivos:

- Conocer la *dinámica de la producción epígea*, la productividad de la sabana nativa y su valor nutritivo, a lo largo del año, con corte y cosecha de la biomasa aérea y con corte a intervalos variados (de 1 a 56 semanas) de descanso de la vegetación.
- Conocer la *biomasa vegetal* en diferentes sitios de los Llanos Orientales, con diferentes tipos de suelo (suelo arcilloso, suelo arenoso en la Serranía o en la Altillanura).
- Conocer la *producción vegetal de la sabana* a diferentes alturas de corte, simulando diversas cargas animales o distintos tipos de manejo.
- Conocer el potencial de producción de la *sabana nativa con fertilización*; esta fertilización, sin embargo, no corresponde mucho a las condiciones reales de manejo de la sabana nativa.
- Conocer la *dinámica de la producción y distribución de las raíces* de las especies de la sabana nativa, en condiciones de pastoreo.
- Determinar el *papel de las raíces* tanto en el reciclaje de nutrimentos en las pasturas como en el secuestro, en las raíces profundas, del carbono fijado por la planta.
- *Comparar la producción y distribución de las raíces* de las especies que componen las pasturas introducidas, ya sea de

gramínea sola o de gramínea + leguminosa.

Estos estudios eran parte de un proyecto más amplio cuya meta fue diseñar modelos de pasturas para predecir el efecto, a largo plazo, de las opciones de manejo en la persistencia y en el reciclaje de nutrimentos de las asociaciones de gramíneas y leguminosas sometidas a pastoreo en las sabanas latinoamericanas (Fisher et al. 1993).

Biomasa Epígea en la Sabana Nativa

Materiales y métodos

Los ensayos se llevaron a cabo en el CIA Carimagua, en los Llanos Orientales de Colombia; este centro fue manejado por el ICA y el CIAT hasta fines de los 90; se hicieron también ensayos en algunas fincas ubicadas en la Serranía y en la Altillanura plana de los Llanos Orientales.

Los cortes y cosechas se hicieron en pequeñas parcelas de 4 a 12 m² de superficie, con 4 a 10 repeticiones y con una altura de corte de 5 a 15 cm, según el tipo de ensayo. Después de la cosecha de la materia bruta (M.B.), la materia seca se determinó por secamiento de la M.B. en un horno a 70 °C hasta tener un peso constante. El valor nutricional fue obtenido mediante análisis químico en los laboratorios del CIAT, en Cali, Colombia (Salinas y García 1985).

Los tratamientos de fertilización consistían en la dosis mínima o en la máxima, y se prepararon teniendo en cuenta las carencias químicas de los suelos. En algunos tratamientos no hay N. El Cuadro 10-1 muestra los nueve tratamientos aplicados. Se hizo finalmente un análisis estadístico (ANOVA) para comparar los tratamientos.

Cuadro 10-1. Fertilización de la sabana nativa en ensayos de biomasa epigea, en Carimagua.

Tratamiento	Fertilizantes (dosis)	Fertilización (tipo)
1	0	Testigo absoluto
2	50 N	Testigo con N
3	10 P, 10 K, 50 Ca, 4 Mg	Mezcla muy baja
4	20 P, 20 K, 50 Ca, 12 Mg, 10 S	Mezcla baja
5	50 N, 50 P, 50 K, 100 Ca, 20 Mg, 20 S + microelementos	Mezcla 1 con componente alto (50 N)
6	150 N, 50 P, 50 K, 100 Ca, 20 Mg, 20 S + microelementos	Mezcla 2 con componente muy alto (150 N)
7	50 N, 100 P, 50 K, 100 Ca, 20 Mg, 20 S + microelementos	Mezcla 3 con componente muy alto (100 P)
8	50 N, 50 P, 100 K, 100 Ca, 20 Mg, 20 S + microelementos	Mezcla 4 con componente muy alto (100 K)
9	50 N, 50 P, 50 K, 200 Ca, 20 Mg, 20 S + microelementos	Mezcla 5 con componente muy alto (200 Ca)

Resultados

Producción de biomasa aérea con descansos

El Cuadro 10-2 presenta la producción y la productividad de la sabana nativa de suelo arcilloso (Carimagua, La Vitrina) durante un año (época lluviosa + época seca). El Cuadro 10-3 presenta los datos obtenidos en el suelo arenoso de Carimagua, en La Alegría, en iguales condiciones. Estos datos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- La producción (durante un año o en período mayor) y la productividad

(producción por hectárea durante un día) de la sabana nativa son, en casi todos los tratamientos de descanso, más altas en los suelos arcillosos (arcillo-limosos) que en los suelos arenosos (areno-limosos), excepto en el caso del descanso de 8 semanas. Es bien conocido el hecho de que los suelos arcillosos de los Llanos Orientales son más fértiles que los arenosos.

La productividad anual bruta (productividad diaria x 365 días) más alta es la correspondiente a 32 semanas de descanso en suelo arenoso (4672 kg MS/ha). Sin

Cuadro 10-2. Producción por área (rendimiento) y productividad (rendimiento en el tiempo) de biomasa en la sabana nativa, en un suelo 'arcilloso' (Carimagua, en La Vitrina) durante un año (época lluviosa + época seca).

Descanso entre 2 cortes (semanas)	Días de observación (no.)	Producción de biomasa (kg MS/ha)	Productividad de la biomasa (kg MS/ha por día)	Significancia	Producción estándar de 365 días (kg MS/ha)
1	233	744	3.2	d	1168
2	351	2528	7.4	c	2701
4	355	3588	10.7	b	3905
8	338	3349	9.9	b	3613
16	452	3124	6.9	c	2518
32	224	2867	12.8	a	4672
52	365	3764	10.3	b	3764
Promedio			8.7		3191

Cuadro 10-3. Producción por área (rendimiento) y productividad (rendimiento en el tiempo) de biomasa en la sabana nativa, en un suelo 'arenoso' (Carimagua, en La Alegría) durante un año (época lluviosa + época seca).

Descanso entre 2 cortes (semanas)	Días de observación (no.)	Producción de biomasa (kg MS/ha)	Productividad de la biomasa (kg MS/ha por día)	Significancia	Producción estándar de 365 días (kg MS/ha)
1	234	986	4.2	c	1533
2	385	1502	3.9	c	1423
4	337	2595	7.7	a	2810
8	337	2702	8.0	a	2920
16	449	3817	8.5	a	3102
52	365	2340	6.4	b	2365
Promedio			6.4		2359

embargo, en este suelo la producción anual obtenida con cortes cada 4 semanas también es alta (cerca de 4 t MS/ha) y se considera de mejor calidad. Esta producción es un poco más alta que la biomasa obtenida con un solo corte después de un año de descanso (biomasa anual = 3764 kg MS/ha). En suelo arenoso, la producción anual más alta se obtiene con cortes de 16 semanas, aunque los cortes de 4 semanas permiten una producción anual de 2810 kg MS/ha. La biomasa anual aquí es un poco más baja que la de 4 semanas.

La producción o productividad (neta) en ambos sitios es muy baja cuando se hacen cortes de 1 semana (3.2 y 4.2 kg MS/ha por día) o cortes de 2 semanas en suelo arenoso (3.9 kg MS/ha por día). La productividad es relativamente alta al principio de los cortes, pero disminuye mucho después

de 2 ó 3 cortes, especialmente cuando hay descansos de 1 ó 2 semanas.

Calidad de los rebrotes

Los análisis químicos y la digestibilidad de los rebrotes (ver Cuadro 9-2, Capítulo 9 de esta obra) permiten afirmar que los rebrotes mas jóvenes tienen, sin duda, mayor valor nutritivo (energía + proteína). Sin embargo, los rebrotes de 4 semanas tienen todavía buena calidad nutritiva.

Biomasa en diferentes sitios de los Llanos

En el Cuadro 10-4 se presentan los resultados, en kg MS/ha, de biomasa anual (bruta) obtenidos en la Serranía y la Altillanura plana (ver Capítulo 1 de esta obra).

Cuadro 10-4. Producción de biomasa en diferentes sitios de los Llanos Orientales (Serranía y Altillanura) durante un año (N = 12).

Biomasa producida y aspectos relacionados	En Serranía			En Altillanura
	Bajos	Pendientes de las colinas	Cimas de las colinas	Plano arcilloso
Producción, promedio (kg MS/ha)	3821	2565	2222	3300
Desviación estándar	± 1242	± 1537	± 1206	± 2136
Humedad de la materia verde (%)	41.4	37.6	35.2	42.4

Estos datos muestran que el valor más alto de biomasa se registró en los bajos de la Serranía y el más bajo en las cimas de las colinas de los mismos sitios. La biomasa de la Altillanura es intermedia entre los dos sitios anteriores.

La humedad de la materia verde es relativamente elevada en los bajos así como en la Altillanura plana.

Altura de corte

Con el fin de simular las diferentes cargas de bovinos y también de conocer la relación entre las variables altura de corte y rendimiento de la pastura, se cortó mensualmente la vegetación, durante un año, a tres alturas: 5, 10 y 15 cm.

La Figura 10-1 muestra la dinámica de la producción acumulada cada 6 semanas (kg MS/ha). Se observa allí que la producción obtenida en un año, haciendo un corte a 15 cm,

es de 800 kg MS/ha, y con un corte a 5 cm es de 2000 kg MS/ha.

La Figura 10-2 muestra la productividad mensual (kg MS/ha por día x 30 días). Estas productividades no son semejantes: en los primeros cortes de 10 y 15 cm (hasta 5 ó 6 cortes) la productividad aumenta y, a partir del corte 7, disminuye progresivamente a medida que disminuyen las lluvias. La productividad de los cortes a 5 cm es menos regular, aunque siempre superior, a la de otros sitios altos. El índice foliar, en cortes a 5 cm, es suficiente para un buen crecimiento de los pastos.

Fertilización de la sabana

Los datos de los ensayos de fertilización de la sabana nativa se presentan en las Figuras 10-3 y 10-4. La producción más elevada se obtiene siempre con el tratamiento en que hay alta mezcla de fertilización y 150 kg de N/ha. Después de 1 año, la producción

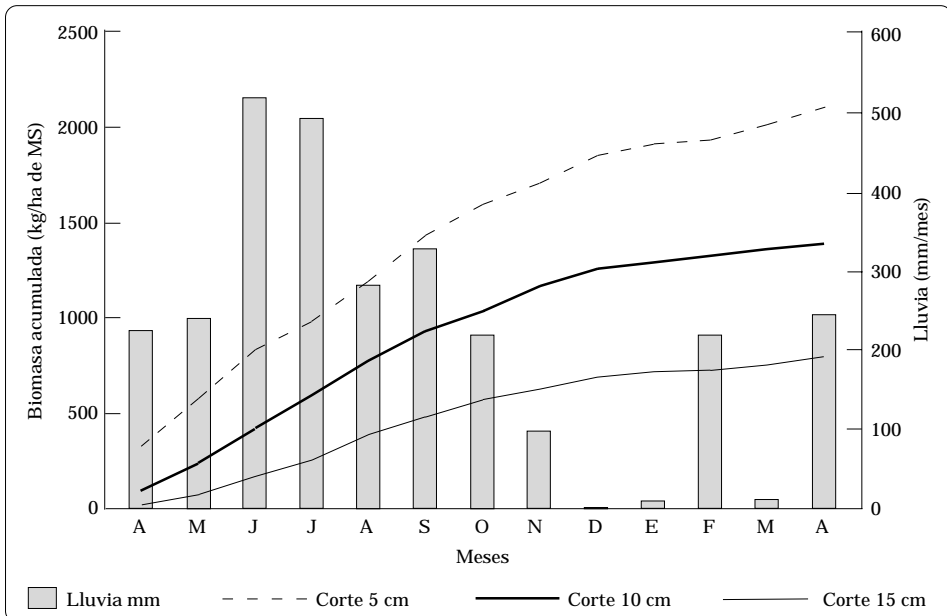


Figura 10-1. Producción acumulada de la vegetación de sabana en la Altillanura de los Llanos Orientales cortada cada mes a diferente altura.

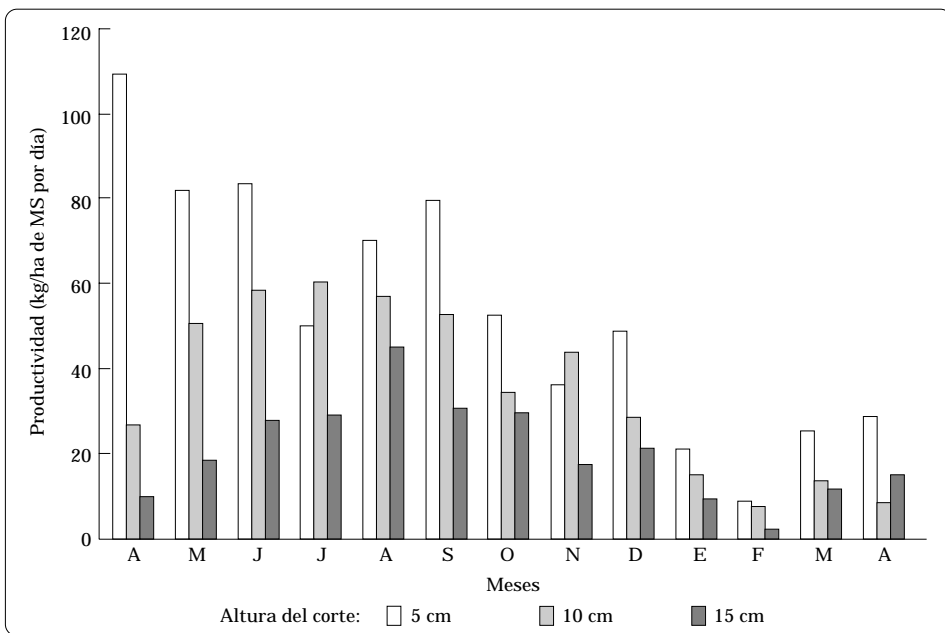


Figura 10-2. Productividad de la vegetación de sabana en la Altillanura de los Llanos Orientales, cortada cada mes a diferente altura.

en estas parcelas es de 6790 kg/ha. Esta producción es altamente diferente ($P < 0.001$) de todos los demás tratamientos.

La producción más baja ocurre en el testigo, en la fertilización sin N y en los tratamientos de muy baja o baja mezcla de fertilización (tratamientos 1, 3 y 4). La sabana tiene una producción, después de un año, de 4 a 4.3 t MS/ha. Estos valores de producción son significativamente diferentes ($P < 0.05$) de la producción con N (tratamientos 2, 5, 6, 8 y 9). El N es, entonces, el elemento más importante para aumentar la producción.

En sentido descendente de la producción, los tratamientos se ordenan así:

- 150 N, 50 P, 50 K, 100 Ca, 20 Mg, 20 S + microelementos
- > 50 N, 50 P, 100 K, 100 Ca, 20 Mg, 20 S + microelementos

- > 50 N, 100 P, 50 K, 100 Ca, 20 Mg, 20 S + microelementos
- > 50 N, 50 P, 50 K, 200 Ca, 20 Mg, 20 S + microelementos
- > 50 N, 50 P, 50 K, 100 Ca, 20 Mg, 20 S + Microelementos
- > 50 N, 20 P, 20 K, 50 Ca, 12 Mg, 10 S
- > 10 P, 10 K, 50 Ca, 4 Mg
- > Testigo

En las Figuras 10-3 y 10-4 se presenta la fertilización de la sabana nativa de los Llanos y la producción epígea acumulada durante 1 año con corte cada 6 semanas. El Cuadro 10-5 presenta la fertilización de la sabana nativa y su efecto en la producción durante las estaciones lluviosa y seca. Se observa la influencia predominante del N sobre la producción y el papel importante del K, seguido en importancia por el P y, solamente

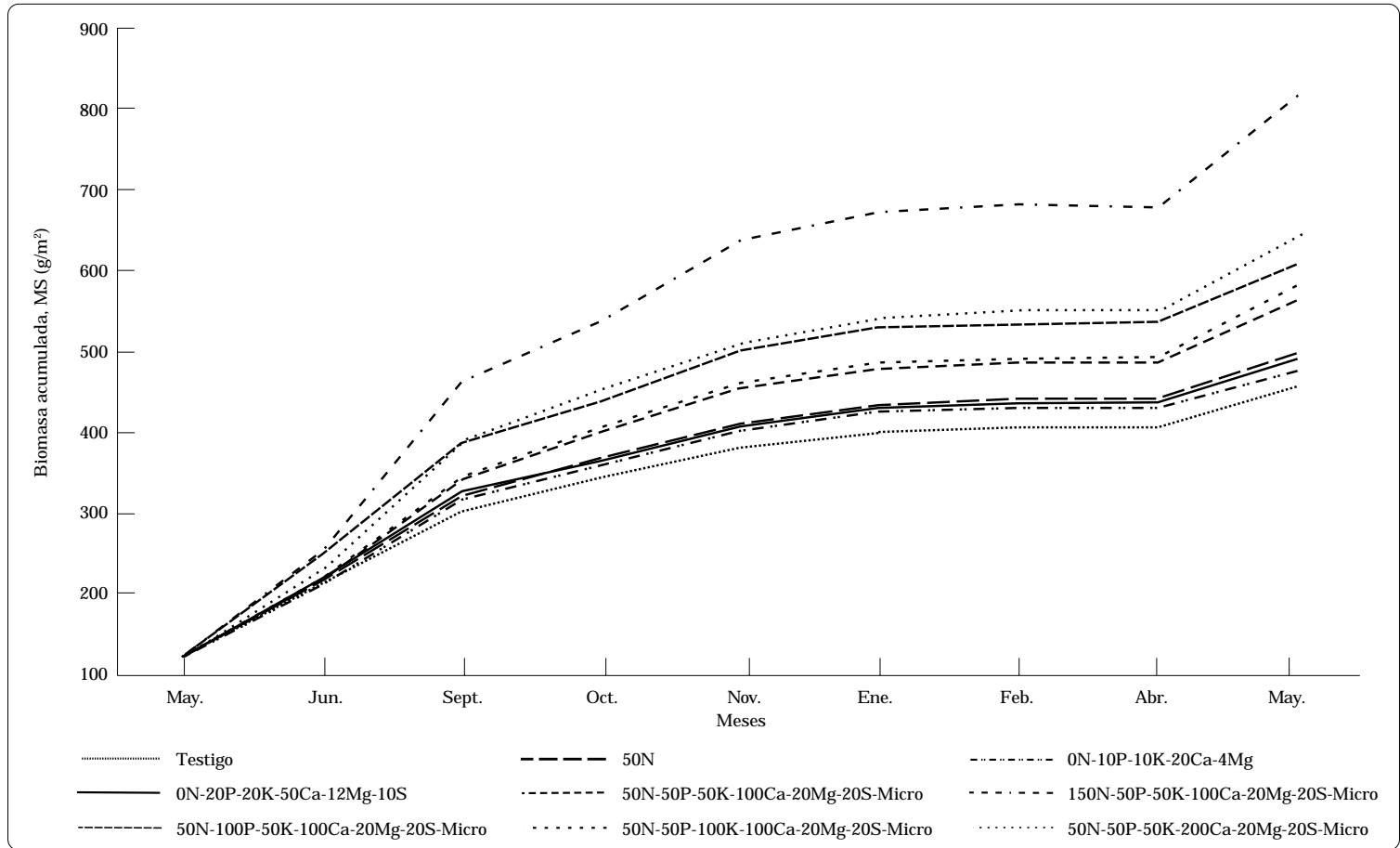


Figura 10-3. Producción de MS en la sabana fertilizada de la Altillanura de los Llanos Orientales, cortando la vegetación cada 6 semanas.

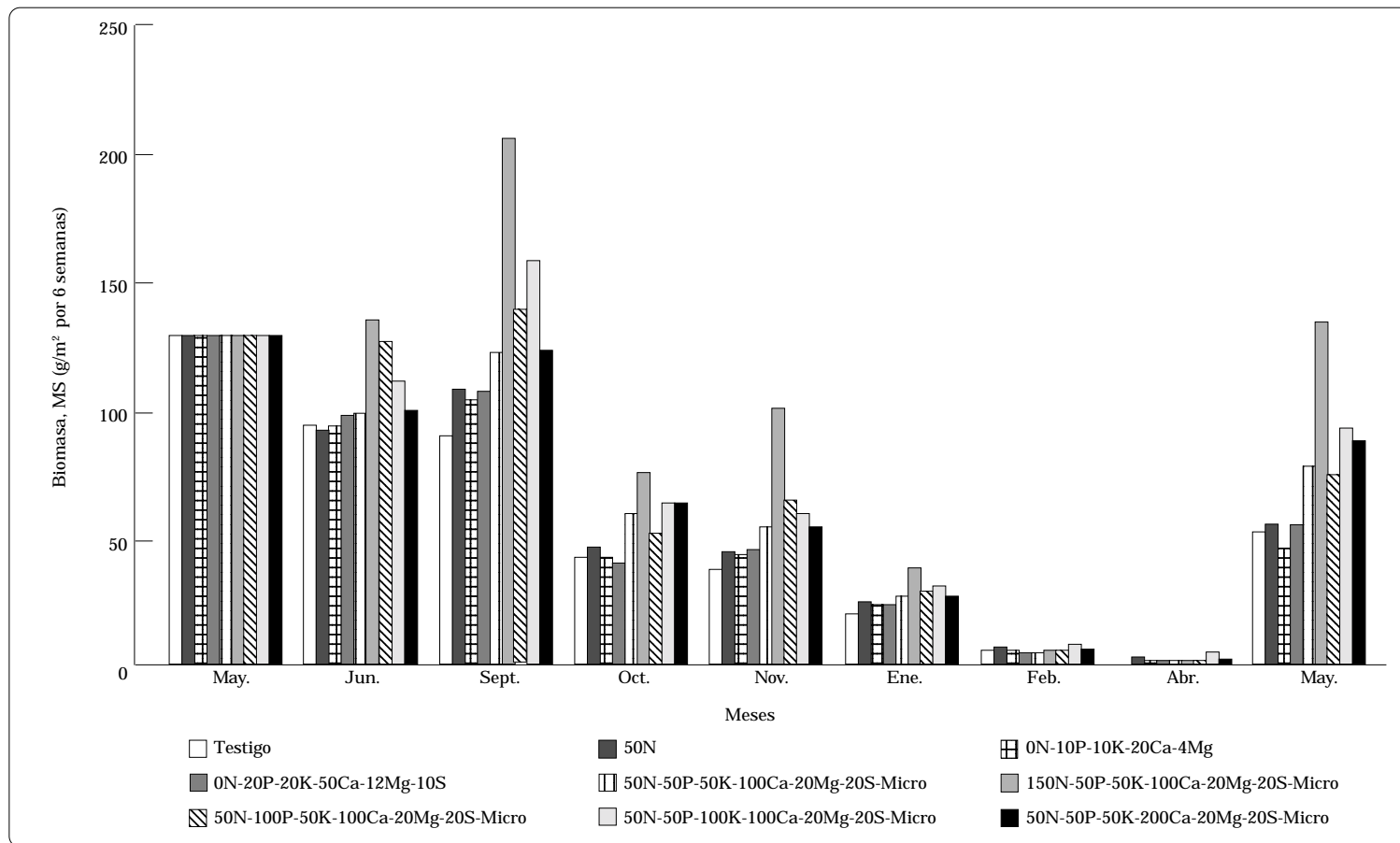


Figura 10-4. Producción epigea de la vegetación de sabana fertilizada en la Altillanura de los Llanos Orientales, en cortes hechos cada 6 semanas.

Cuadro 10-5. Fertilización de la sabana nativa y producción de biomasa epígea en el año y en las épocas lluviosa y seca, en Carimagua.

Tratamiento ^a	Producción de biomasa en:					
	Epoca lluviosa		Epoca seca		Año completo	
	g MS/m ²	%	g MS/m ²	%	g MS/m ²	%
1 (TA)	384	94.1	24	5.9	408	100
2 (50 N)	411	92.7	32	7.3	443	100
3 (0 N)	404	93.3	29	6.7	433	100
4	411	93.8	27	6.2	438	100
5	455	93.6	31	6.4	486	100
6	636	93.7	43	6.3	679	100
7	501	93.6	34	6.4	535	100
8	510	92.7	40	7.3	550	100
9	461	93.5	32	6.5	493	100

a. TA = testigo absoluto. Los porcentajes relacionan la producción de la época con la anual.

después, por la alta dosis de Ca. Los fertilizantes no aumentan mucho la producción en la época seca (Cuadro 10-5), cuyo valor representa del 6% al 7% de la producción anual.

Discusión

Estos ensayos de producción y productividad de las sabanas nativas de los Llanos Orientales de Colombia muestran la extrema pobreza de todos los tipos de suelos que se encuentran en esa región, sin que importen el sitio o el paisaje.

La fertilización permite aumentar la producción. Con dosis muy altas de N y una mezcla completa de todos los elementos necesarios para las plantas, la producción no aumentó más del 66% con respecto al testigo.

Biomasa Hipógea

Materiales y métodos

En agosto de 1990 se estableció un experimento de campo en el CIA Carimagua, una estación manejada por CORPOICA y el CIAT en los Llanos Orientales de Colombia (Fisher et al. 1993). Carimagua pertenece al sistema de sabanas iso-hipertérmicas y tiene

un clima estacional seco, con una precipitación anual de 2200 mm que disminuye desde mediados de diciembre hasta finales de marzo. El suelo es un Oxisol franco-arclilloso (franco-fino, caolinítico, haplustox típico isohipertérmico) de pH bajo, con alta saturación de aluminio y con baja disponibilidad de nutrimentos.

Se sembró *Brachiaria dictyoneura* CIAT 6133 en agosto de 1990, sola o con *Centrosema acutifolium* CIAT 5277. Los tratamientos de pastura estudiados fueron los siguientes:

- *B. dictyoneura* sola (Bd), con nivel inicial bajo de fertilizante (FB)
- Bd + *C. acutifolium* (Bd + Ca), con nivel inicial bajo de fertilizante (FB)
- Bd + *C. acutifolium* (Bd + Ca), nivel inicial alto de fertilizante (FA)
- Sabana nativa (SN), sin fertilizante (S)

Los niveles iniciales bajos de fertilizante (kg/ha) fueron: 20 P, 20 K, 50 Ca, 20 Mg, 12 S, 2 Zn, 2 Cu, 0.5 Bo y 0.1 Mo. Los niveles iniciales altos de fertilizante (kg/ha) fueron: 60 P, 60 K, 150 Ca, 60 Mg, 24 S, 2 Zn, 2 Cu, 0.5 Bo

y 0.1 Mo. Con los tratamientos se formó un diseño factorial incompleto con dos repeticiones. Dentro de cada repetición se repartieron los tratamientos en cuatro potreros, y éstos se distribuyeron al azar por pares; cada potrero fue pastoreado desde junio de 1991 (10 meses después de la siembra) por tres novillos, en una rotación de 7 días de ocupación y 21 días de descanso. Las tasas de carga variaron entre tratamientos (0.2 cabezas/ha para la sabana nativa; 2.0 cabezas/ha para las pasturas mejoradas de Bd o de Bd + Ca).

Se tomaron muestras de raíces a los 10, 15, 19, 22, 27, 32, 35 y 39 meses después de la siembra de las pasturas. En cada época de muestreo, las muestras de raíces se tomaban un día antes de que los animales entraran al potrero. Se tomaron utilizando un sacamuestras electrónico que extraía cilindros de suelo sin compactación. Se tomaron, en total, 20 cilindros de suelo en 5 cuadrados (4 cilindros de cada cuadrado) en cada potrero. Los cilindros de suelo de cada 2 cuadrados se mezclaron para tener, en total, 5 muestras de cilindros de suelo para cada profundidad de suelo; esto se hizo con el fin de reducir la intensidad de las mediciones. Este método nos permitió obtener un total de 40 cilindros de suelo de cada tratamiento, con los cuales se reducían al mínimo los efectos de la variabilidad espacial.

A las raíces de los cilindros de suelo se les limpió el suelo mediante un sistema de elutriación hidroneumática (Rao et al. 1996). A las muestras de raíces se les determinó la longitud en un 'escáner' de longitud de raíces, empleando el método de intercepción de líneas (Rao et al. 1996). Las raíces se secaron en un horno de aire forzado (60 °C) y se pesaron. Las muestras de raíces se molieron para que pasaran por una malla de 1 mm en un molino

de ciclón UDY. Se determinó la composición nutricional de las muestras de raíces según los métodos analíticos estándar (Rao et al. 1996).

Se empleó un modelo de distribución vertical de raíces presentado por Gale y Grigal (1987) que se basa en la siguiente ecuación asintótica:

$$Y = 1 - \beta^d \quad (1)$$

donde:

Y = biomasa acumulada de raíces o fracción de longitud de éstas (una cantidad entre 0 y 1) desde la superficie del suelo hasta la profundidad 'd' (cm);

β = 'coeficiente de extinción' fijado.

El único parámetro calculado en este modelo es β , que proporciona un índice numérico simple de la biomasa de las raíces o de la distribución de la longitud de las raíces. Los valores altos de β (por ejemplo, 0.98) corresponden a una mayor proporción de biomasa de las raíces o de longitud de las raíces en lo profundo del suelo y sus valores bajos (por ejemplo, 0.91) suponen mayor proporción de biomasa de las raíces o de longitud de éstas junto a la superficie del suelo. Los valores de β se ajustaron a los datos de cada pastura (Jackson et al. 1996).

La cantidad de raíces de leguminosa en las asociaciones de gramínea + leguminosa se determinó mediante la técnica de isótopos estables de carbono (Svejcar y Boutton 1985). La distribución del carbono orgánico del suelo (COS) en la profundidad del suelo se determinó utilizando un espectrómetro de masas. El análisis de varianza se calculó mediante el programa de computación SAS. Un nivel de probabilidad de 0.05 se consideró estadísticamente significativo.

Dinámica de la biomasa y de la distribución de las raíces

El primer muestreo de raíces (10 meses después de la siembra, junio de 1991) se realizó antes de empezar el tratamiento de pastoreo y se tomó como punto de partida. Se determinaron los cambios en la biomasa viva de las raíces de plantas bien establecidas (Mg/ha) según la edad de la pastura y para profundidades del suelo entre 0 y 80 cm (Figura 10-5). Los resultados de las pasturas de gramínea sola introducida (Bd) y de gramínea + leguminosa (Bd + Ca), con niveles iniciales bajo y alto de fertilizantes, comparados con los de la sabana nativa sin tradición alguna en la aplicación de fertilizantes, se presentan en la Figura 10-6A. Los pastos de la sabana nativa tenían niveles de biomasa de las raíces notoriamente inferiores en comparación con los hallados en los pastos introducidos. Entre las pasturas de especies introducidas, la de gramínea sola con baja aplicación inicial de fertilizante presentó mayores cantidades de biomasa de la raíz durante los 2 primeros años del desarrollo de la pastura. Los cambios en longitud de la raíz (km/m²) durante la edad de la pastura, para capas individuales del suelo, se muestran en la Figura 10-6B. Las especies de sabana nativa presentaron una longitud de raíces notoriamente inferior, si se compara ésta con la de los pastos introducidos.

Distribución de la biomasa y de la longitud de las raíces

La distribución media de la biomasa de las raíces, de 10 a 47 meses después de la siembra de los pastos mejorados, indicó que la pastura con gramínea sola introducida (Bd) tuvo más biomasa en las raíces en estratos profundos del suelo que los pastos de la sabana nativa (Figura 10-7, A y B). La

biomasa de la raíz disminuyó al aumentar la profundidad del suelo en ambos tratamientos de pastura. Los pastos de la sabana nativa tenían relativamente menos raíces en los estratos de suelo de mayor profundidad (en particular, entre los 20 y los 80 cm de profundidad) en comparación con la pastura mejorada. La media de la distribución de la longitud de las raíces según la profundidad del suelo, de 10 a 47 meses después de la siembra de las pasturas mejoradas, presentó una tendencia similar a la observada para la biomasa de la raíz (Figura 10-7, C y D). La longitud específica de la raíz (LER), que es una medida de la finura del sistema radical, fue mayor en la pastura de la sabana nativa que en la pastura mejorada (Figura 10-7, E y F).

Diferencias del patrón de enraizamiento

Para obtener la diferencia entre el patrón de enraizamiento de los pastos de la sabana nativa y de los pastos introducidos, se calculó la biomasa acumulada de las raíces y la longitud de éstas (fracción) para cada época de muestreo y para cada capa de suelo. Los promedios de la biomasa acumulada de las raíces y de las fracciones de la longitud de éstas se calcularon para los pastos introducidos y se compararon con los de los pastos de la sabana nativa. Los datos se muestran en la Figura 10-3. Los valores de β para la biomasa de las raíces y para la longitud de éstas indicaron que tanto los pastos de la sabana nativa como los introducidos presentaban un enraizamiento profundo. Sin embargo, el enraizamiento de los pastos de la sabana nativa fue relativamente más profundo si se considera, proporcionalmente a la profundidad, la longitud de las raíces encontradas.

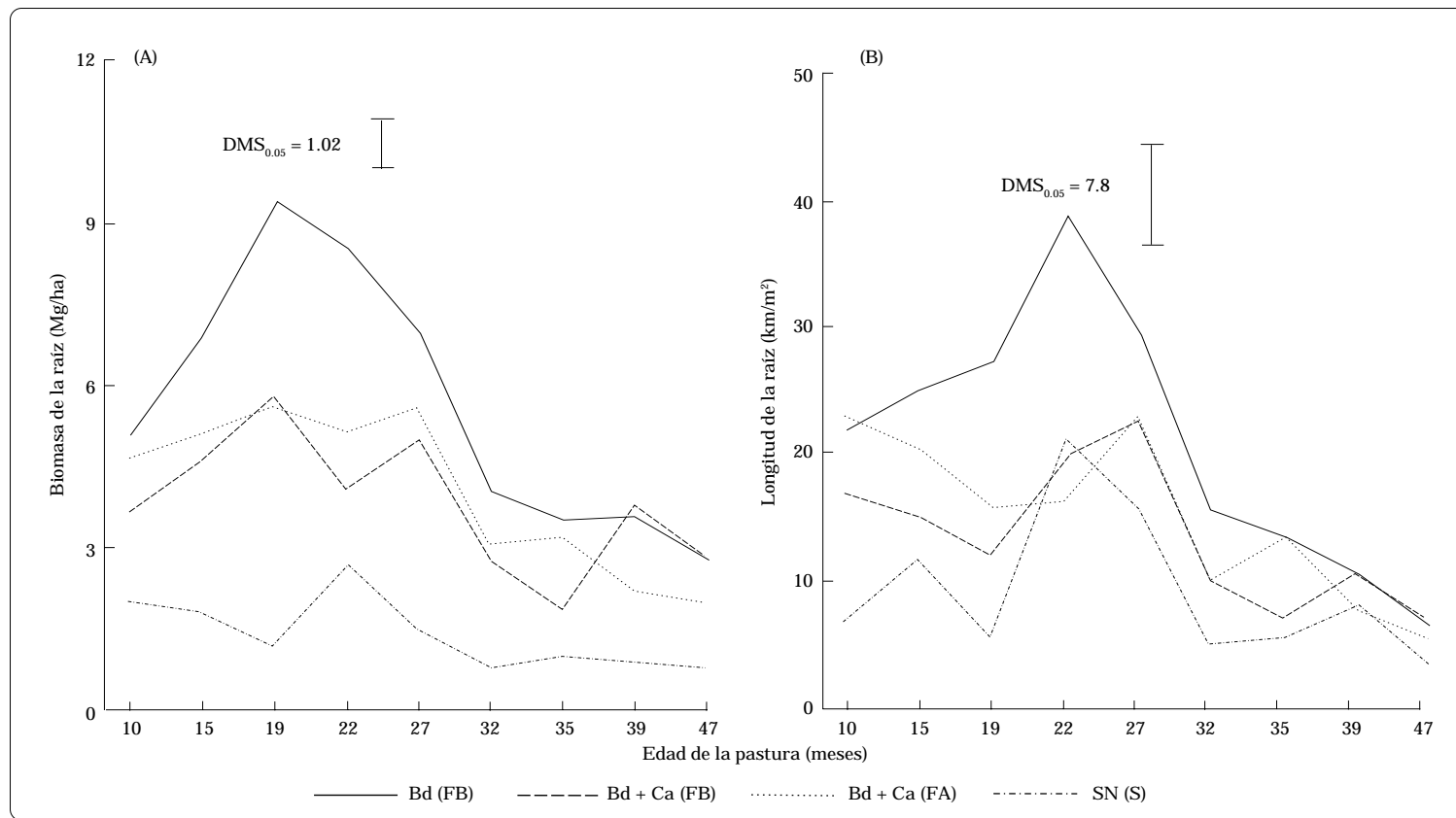


Figura 10-5. Cambios en la biomasa de las raíces y en la longitud de las raíces para diversos valores (de 0 a 80 cm) de la profundidad del suelo, durante el desarrollo de la pastura hasta los 47 meses de edad, en un Oxisol franco-arcilloso de Carimagua. Estas pasturas se establecieron en agosto de 1990 y fueron sometidas a pastoreo 10 meses después (junio de 1991). Los pastos introducidos soportaron una tasa de carga intermedia durante el pastoreo. Bd = *B. dictyoneura*, Ca = *C. acutifolium*, SN = sabana nativa, FB = fertilización inicial baja, FA = fertilización inicial alta, S = sin aplicación de fertilizantes. Las tasas de carga se discuten en el texto.

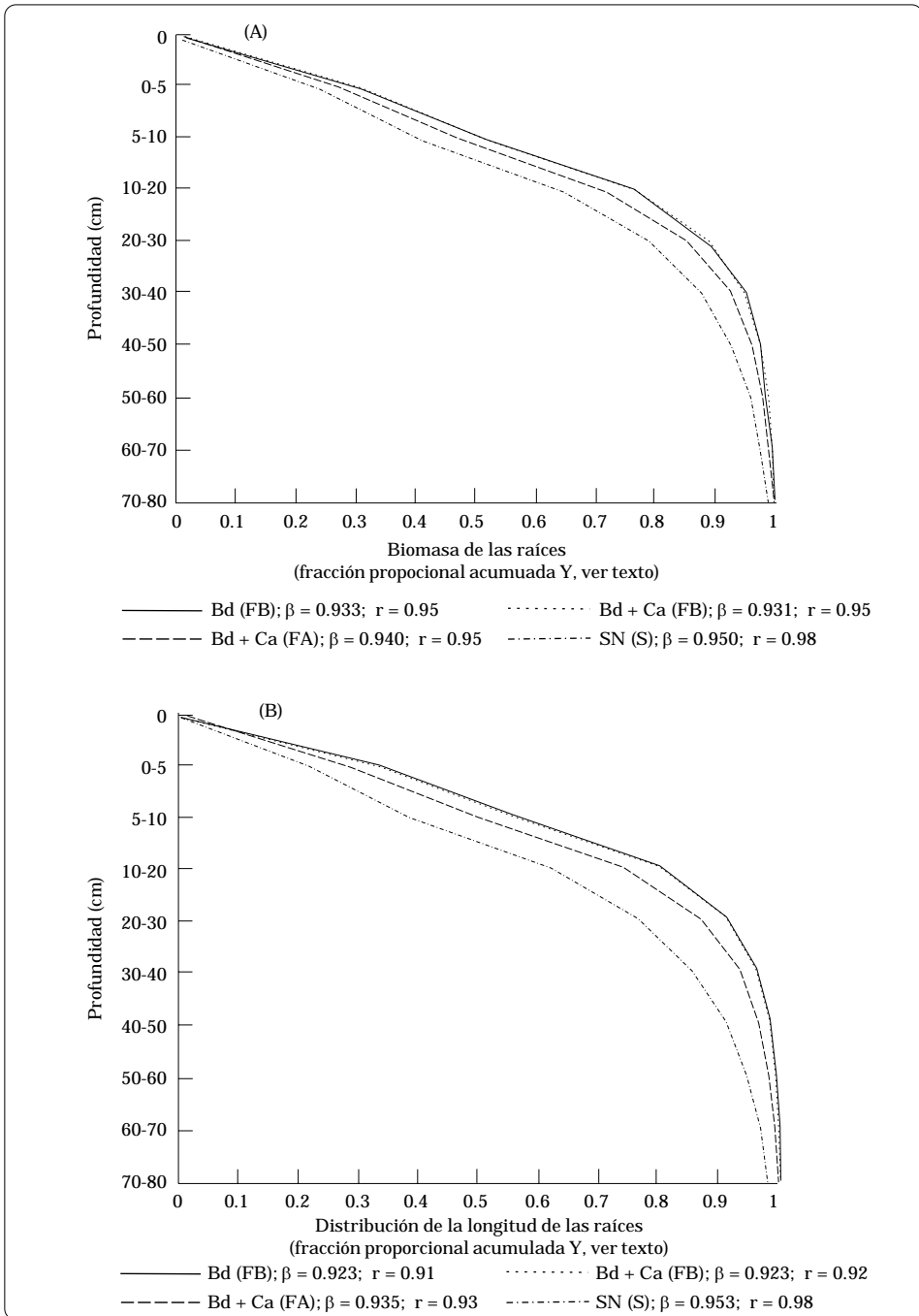


Figura 10-6. Distribución vertical de la biomasa de las raíces (A) y distribución de la longitud de las raíces (B), ambas como fracción proporcional acumulada, en pastos de la sabana nativa y en pastos introducidos. Esta distribución es una función de β en la ecuación $Y = 1 - \beta^d$ (ver texto) según el modelo de Gale y Grigal (1987). Los valores son promedios de mediciones hechas entre los 10 y los 47 meses después de la siembra. Bd = *B. dictyoneura*, Ca = *C. acutifolium*, SN = sabana nativa, FB = fertilización inicial baja, FA = fertilización inicial alta, S = sin aplicación de fertilizantes.

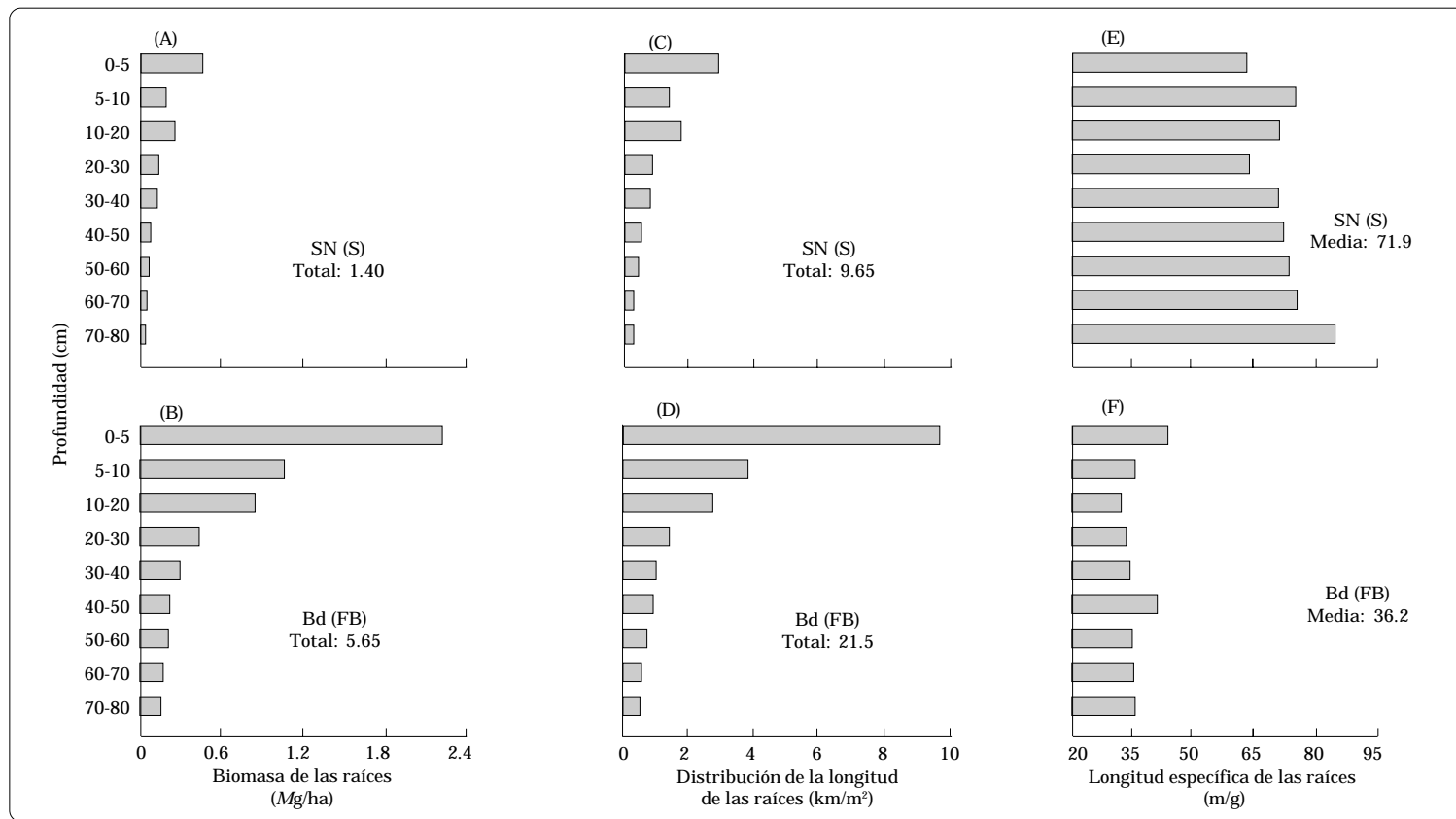


Figura 10-7. Biomasa de las raíces (A y B), distribución de la longitud de las raíces (C y D) y longitud específica de las raíces, LER (E y F) medidas según la profundidad del suelo, en pastos de la sabana nativa (A, C y E) y en una siembra pura de gramínea introducida, Bd (B, D y F). SN = sabana nativa, Bd = *B. dictyoneura*, FB = fertilización inicial baja, S = sin aplicación de fertilizante. Los valores son promedios de mediciones hechas entre los 10 y los 47 meses después de la siembra.

Raíces de leguminosa en la asociación gramínea-leguminosa

El análisis del carbono estable de las raíces en una pastura de gramínea (C4) sola comparado con el obtenido en pasturas basadas en leguminosa (C3), permitió calcular la fracción de raíz de leguminosa según la profundidad del suelo en las asociaciones de gramínea + leguminosa de 22 meses de edad, con niveles iniciales bajo o alto de fertilizante (Cuadro 10-6). La

Cuadro 10-6. Porcentaje de raíces de leguminosa que se encuentran en una asociación de gramínea y leguminosa de 22 meses de edad, establecida con una aplicación inicial baja (FB) o alta (FA) de fertilizante, en un Oxisol franco-arcilloso, en Carimagua, Colombia.

Profundidad del suelo (cm)	Fracción (%) de raíces de leguminosa ^a en la asociación:	
	Bd + Ca (FB)	Bd + Ca (FA)
0-5	5.4	11.2
5-10	5.9	7.6
10-20	7.5	3.7
20-30	7.5	4.3
30-40	14.8	14.5
40-50	14.3	8.4
50-60	11.0	9.8
60-70	11.5	20.9
70-80	17.4	17.5
Media	7.6	9.1

a. Bd = *Brachiaria dictyoneura*, Ca = *Centrosema acutifolium*.

proporción de raíz de leguminosa fue de menos del 10% de la biomasa total de las raíces en las dos pasturas basadas en leguminosa. Fue superior (de 11% a 21%) en las capas más profundas del suelo (de 60 a 80 cm de profundidad), si se compara con los valores obtenidos en las capas superiores del suelo (de 4% a 11%).

Cambios en la composición nutricional de las raíces

Las diferencias en la composición nutricional media de las raíces (de 0 a 80 cm de profundidad del suelo) entre pastos nativos e introducidos se muestran en el Cuadro 10-7. Aunque no hubo diferencias notorias entre las pasturas con especies nativas o introducidas, la aplicación inicial alta de fertilizantes a los pastos introducidos mejoró su estado nutricional, lo que redujo las relaciones C:N y C:P de las raíces.

Cambios en la magnitud de las reservas de nutrientes en las raíces

Los cambios, a través del tiempo, en el tamaño de las reservas de nutrientes de las raíces de los pastos mejorados y de los pastos de sabana nativa se muestran en el Cuadro 10-8. Los cambios en las reservas de N y P

Cuadro 10-7. Participación porcentual de los principales nutrientes en la composición nutricional de las raíces de pastos de sabana nativa (SN) y de pasturas de gramínea sola (Bd) o de gramínea + leguminosa (Bd + Ca), establecidas sin aplicación de fertilizante (S) o con baja (FB) o alta (FA) aplicación inicial del mismo en un Oxisol franco-arcilloso de Carimagua, Colombia. Se presentan además las relaciones C:N y C:P de dichos pastos.

Pasto en pastura ^a	Participación (%) en composición de raíz de nutrimento							Relación	
	C	N	P	K	Ca	Mg	S	C:N	C:P
SN (S)	56.5	0.304	0.014	0.053	0.081	0.032	0.084	185	4036
Bd (FB)	43.3	0.203	0.021	0.151	0.071	0.041	0.079	213	2062
Bd + Ca (FB)	37.9	0.298	0.020	0.114	0.075	0.039	0.092	127	1898
Bd + Ca (FA)	36.8	0.313	0.022	0.146	0.097	0.052	0.091	118	1673
DMS _{0.05}	3.4	0.046	0.005	0.035	0.017	0.004	NS		

a. Bd = *Brachiaria dictyoneura*; Ca = *Centrosema acutifolium*.

Cuadro 10-8. Cambios que experimenta, con el tiempo, la reserva de N y de P de las raíces vivas en pastos de la sabana nativa (SN), en pasturas de gramínea sola (Bd) y en pasturas de gramínea + leguminosa (Bd + Ca), establecidas sin aplicación de fertilizante (S) o con baja (FB) o alta (FA) aplicación inicial del mismo, en un Oxisol franco-arcilloso de Carimagua, Colombia.^a

Nutrimento	Pasto o pastura	Reserva de N o P (kg/ha) en raíces a la edad (meses) de:						Media
		10	15	19	32	35	47	
Nitrógeno	SN (S)	5.7	6.21	4.6	3.3	2.7	2.6	4.18
	Bd (B)	9.4	16.6	15.4	14.4	7.3	8.9	12.00
	Bd + Ca (FB)	10.8	18.0	12.5	11.2	6.0	9.7	11.40
	Bd + Ca (FA)	15.3	17.3	16.4	12.8	10.3	7.7	13.30
	DMS _{0.05}	2.8	4.1	5.4	1.9	3.2	2.2	
Fósforo	SN (S)	0.41	0.41	0.15	0.12	0.08	0.19	0.23
	Bd (B)	1.17	1.96	3.63	1.15	0.12	0.89	1.49
	Bd + Ca (FB)	1.07	1.35	2.04	0.45	0.06	0.96	0.99
	Bd + Ca (FA)	1.47	1.63	2.0	1.24	0.21	0.54	1.18
	DMS _{0.05}	0.05	0.72	0.7	0.26	0.13	0.29	

a. Bd = *Brachiaria dictyoneura*; Ca = *Centrosema acutifolium*.

reflejaron, en parte, los cambios ocurridos en la biomasa de las raíces de estos pastos. La cantidad de N presente en las raíces de los pastos mejorados llegó hasta 18 kg/ha, mientras que en los pastos de la sabana nativa no superó los 6 kg/ha.

Secuestro del carbono en las raíces profundas

Las diferencias en la distribución del COS según la profundidad de éste (de 0 a 80 cm) a los 32 meses después de la siembra, entre las pasturas de especies introducidas y la sabana nativa, se muestran en la Figura 10-8. Mayores cantidades de COS se midieron en las pasturas de gramínea sola; asimismo, el aumento de los niveles de COS en las pasturas de especies introducidas, comparadas éstas con las de la sabana nativa, reflejó hasta cierto punto las diferencias en la producción de biomasa de las raíces con el transcurso del tiempo. La cantidad total de COS adicional, entre 0 y 80 cm de profundidad del suelo, de las pasturas de gramínea sola, comparadas con la sabana nativa, se calculó —empleando

valores de densidad global del suelo para cada capa del mismo— en 31.6 Mg/ha.

Discusión

Las mediciones de campo de los sistemas radicales durante el desarrollo de los pastos indicaron que, en los Oxisoles franco-arcillosos de baja fertilidad de los Llanos Orientales de Colombia, los pastos introducidos producían, en plantas bien establecidas, una cantidad de *biomasa viva de las raíces* mayor que la producida por los pastos de la sabana nativa. La mayor abundancia de raíces profundas (biomasa) de los pastos introducidos, comparada con los pastos de la sabana nativa, no sólo podría contribuir a la absorción más eficiente de nutrientes y de agua de los horizontes más profundos del suelo sino también a mejorar el reciclaje de nutrientes. Además, la mayor cantidad de raíces observada, a medida que aumenta la profundidad del suelo, estaría agregando materia orgánica y nutrientes al suelo mediante un ciclo rápido de regeneración.

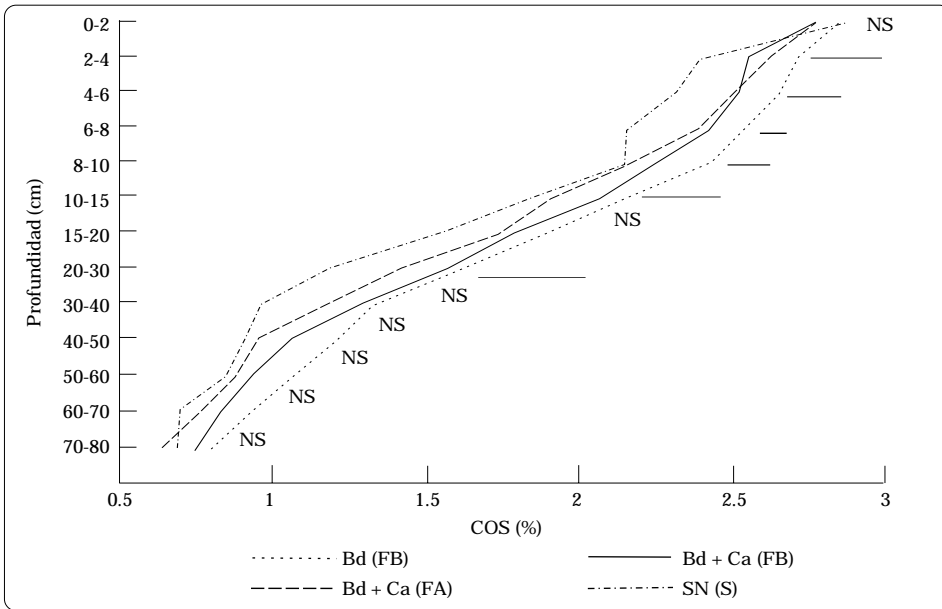


Figura 10-8. Distribución del carbono orgánico del suelo (COS) según la profundidad del suelo en pastos de la sabana nativa y en pastos introducidos. Bd = *B. dictyoneura*, Ca = *C. acutifolium*, SN = sabana nativa, FA = fertilización inicial alta, FB = fertilización inicial baja. ns = diferencias no significativas.

Se dispone de pocos datos de campo sobre la *distribución y la producción de raíces* de los sistemas de praderas tropicales que sean comparables a los de este trabajo (Long et al. 1989; Candell et al. 1996; Jackson et al. 1996). Aunque se ha observado que las raíces de los pastos introducidos penetran en el suelo hasta una profundidad de 8 m (Nepstad et al. 1994), la mayoría de los estudios, incluyendo éste, han encontrado que la mayor parte de la biomasa de las raíces está localizada en los primeros 30 cm del perfil del suelo (Goedert et al. 1985; Svejcar y Christiansen 1987; Spain y Couto 1990; Rodríguez y Cadima-Zevallos 1991; Rao et al. 1992; Cadisch et al. 1994; Nepstad et al. 1994; Jackson et al. 1996). Una de las principales razones que explica la concentración de las raíces en la capa superficial del suelo es que casi todos los nutrientes de que puede disponer la planta están ubicados allí; en efecto, en esa capa el reciclaje de nutrientes

es más eficiente y la actividad biológica del suelo es más intensa (Rao et al. 1992; Haynes y Williams 1993; Thomas et al. 1995; Boddey et al. 1996). Cuando se compararon los valores de la longitud específica media de la raíz (LER) en la sabana nativa y en las pasturas de especies introducidas, la LER de los pastos de sabana nativa fue notoriamente mayor que la de los pastos introducidos Bd (B), Bd + Ca (FB) o Bd + Ca (FA). Los valores altos de LER de los pastos de la sabana nativa dan un alto valor a la zona de raíces superficiales en lo referente a la absorción de nutrientes y a la capacidad de explorar el suelo para obtener los nutrientes disponibles.

Fue posible calcular las diferencias que distinguen las *estrategias de enraizamiento* de los pastos introducidos y de los de sabana nativa, gracias a un modelo desarrollado por Gale y Grigal (1987). Los valores altos de β , en particular para la distribución

de la longitud de las raíces en las especies de sabana nativa y en los pastos introducidos, corresponden a la presencia de mayor cantidad de raíces a medida que la capa de suelo que las aloja es más profunda. Los valores más altos de β y la mayor LER —registrados a una profundidad del suelo entre 30 y 80 cm en los pastos de sabana nativa que no recibieron fertilizante— indican que éstos pueden ser parte de un mecanismo adaptativo para extraer cantidades muy bajas de nutrimentos mineralizados (por ejemplo, N) que hayan sido lixiviados en el perfil profundo del suelo y que sirven, además, para tolerar la sequía. Esta observación señala que la comprensión de las estrategias adaptativas de la vegetación nativa puede contribuir al desarrollo de germoplasma superior de forrajes y de cultivos para condiciones de baja fertilidad del suelo. Deben explorarse las diferencias genotípicas entre las accesiones del germoplasma de *Brachiaria* y los recombinantes genéticos para este rasgo adaptativo, si se pretende reducir la degradación de las pasturas en los suelos ácidos de baja fertilidad de las sabanas sudamericanas.

La gran cantidad de raíces vivas de plantas bien establecidas de los pastos introducidos podría contribuir a intensificar el *reciclaje biogeoquímico* de nutrimentos y el *secuestro*, en las raíces profundas, del carbono atmosférico fijado por la planta, una vez ocurridas la muerte y la descomposición de las raíces o como efecto de su ciclo de regeneración. Se espera, en cambio, un aporte inferior de los pastos de la sabana nativa en razón de que la biomasa de sus raíces bajo la superficie del suelo es menor. La dinámica de la biomasa y de la longitud de las raíces, durante los 4 años de producción de la pastura en condiciones de pastoreo, indica que el pasto introducido Bd (B) habría explorado un mayor volumen de suelo durante los

2 primeros años si no se hubiera beneficiado del suministro de N de la leguminosa. La relación C:P de las raíces de las pasturas de la sabana nativa es muy alta, indicando así su adaptación a la baja disponibilidad de P en el suelo. Esta característica de la raíz puede servir como un índice de selección para identificar genotipos de *Brachiaria* que sean excelentes para suelos ácidos de baja fertilidad. Asimismo, los valores altos de C:N y C:P observados en las raíces de los pastos introducidos indican la *eficiencia metabólica* de estas especies en el uso del N y del P absorbidos.

Los cambios que experimenta, con el tiempo, el nivel de las *reservas de nutrimentos* de las raíces indicaron que la cantidad de N presente en las raíces de los pastos introducidos ascendía a 18 kg/ha, mientras que en los pastos de la sabana nativa fue un poco mayor que 6 kg/ha. Las reservas de otros nutrimentos, como el P, en las raíces de los pastos introducidos pudieron alcanzar también niveles nueve veces superiores a los de los pastos de la sabana nativa. La cantidad de nutrimentos reciclados mediante la hojarasca que depositan las pasturas de Bd + Ca (FB) en la superficie del suelo fue de tres a cuatro veces mayor que los reciclados en la pastura de Bd (FB) (Thomas et al. 1993). Esta diferencia se atribuyó a las tasas más rápidas de descomposición de la hojarasca de la leguminosa debidas a su menor relación lignina:N y a la mayor concentración de N, P, K y Ca en sus tejidos (Thomas et al. 1993; Thomas y Asakawa 1993).

Entre los 19 y los 32 meses de desarrollo de la pastura de Bd (FB), se observó que el *ciclo de renovación* o reconversión de las raíces era muy intenso. Se calculó la cantidad de carbono (proveniente de la fijación atmosférica) secuestrado en las raíces profundas a los 32 meses y se halló que la pastura de Bd (FB) había acumulado

31.6 Mg/ha más de COS que los pastos de la sabana nativa, probablemente porque la producción y el ciclo de regeneración de las raíces de la pastura de Bd (FB) fueron mayores. Estos resultados confirman otros anteriores sobre el potencial de secuestro, en las raíces profundas, del carbono atmosférico fijado por la planta, potencial que poseen, en los Llanos Orientales de Colombia, los pastos introducidos (Fisher et al. 1994). En las pasturas de gramíneas introducidas, la *masa de lombrices* de tierra era cinco veces mayor “y 10 veces mayor, si había leguminosa” que en la sabana nativa (Decaëns et al. 1994). Esta mayor actividad de las lombrices de tierra en las pasturas de especies introducidas debe tener un impacto considerable en los procesos de movilización del carbono desde la superficie del suelo hasta sus capas más profundas.

Estos resultados tienen implicaciones importantes para *el manejo de los pastos introducidos* en lo referente al mejoramiento tanto del reciclaje de nutrientes como del secuestro, en las raíces profundas, del carbono atmosférico fijado por las plantas. Las características de la raíz serían un criterio importante en la selección de forrajes tropicales introducidos que se usarían en sistemas agropastoriles tales como la rotación de cultivos y pasturas. La combinación de arroz de secano adaptado a suelos ácidos y de algunos forrajes tropicales en la rotación agropastoril ha demostrado ser una práctica viable, desde el punto de vista agronómico y económico, en los suelos ácidos de baja fertilidad que son representativos de las sabanas sudamericanas (Vera et al. 1992; Rao et al. 1993; Thomas et al. 1995). Un ciclo de rotación que tenga de 3 a 5 años de pastura y una fase de cultivos de 1 ó 2 años aumentaría el reciclaje de los nutrientes y el secuestro, en las raíces profundas, del carbono

atmosférico fijado por las plantas. Los agroecosistemas que incluyan las características benéficas de los pastos introducidos —tales como el crecimiento extensivo de las raíces hacia las capas más profundas del suelo y la cobertura permanente de éste— reducirían las pérdidas de nutrientes porque almacenarían grandes cantidades de éstos en la biomasa acumulada bajo la superficie del suelo, aumentando así la materia orgánica del suelo y protegiéndolo. Estas características benéficas de las pasturas de especies introducidas pueden incorporarse ventajosamente en el diseño de sistemas agropastoriles apropiados para las sabanas sudamericanas, en las que puede haber tasas de pérdida de nutrientes por lixiviación y erosión de nivel significativo.

Conclusiones Generales

- La producción epigea de la vegetación nativa herbácea está limitada, en particular, por la composición química del suelo (es débil en N y otros elementos esenciales), por su pH muy bajo, cualquiera que sea el tipo de manejo que reciba la sabana (altura de corte y fertilización), y por la escasez de agua en la época seca. La fertilización no es rentable para el manejo de esta vegetación nativa; por ello, la introducción de especies exóticas permite obtener mejores rendimientos de biomasa cosechable que es de mejor calidad.
- Las medidas empleadas en Venezuela (Martín et al. 2000), en relación con otras sabanas nativas de la región, indican que las especies de las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia están bien adaptadas a estos suelos pobres y que estas especies deben ser sustituidas por especies exóticas de mayor potencial para obtener rendimientos más elevados.

- Los resultados de este estudio indican que los pastos introducidos producen, durante su desarrollo, mayor cantidad de raíces vivas activas en los estratos profundos del suelo que los pastos de la sabana nativa, en los Oxisoles de baja fertilidad de los Llanos Orientales de Colombia.
- El estudio de las diferencias de enraizamiento, basado en la distribución proporcional de la longitud de las raíces según la profundidad, indicó que el enraizamiento de los pastos de la sabana nativa era relativamente más profundo que el de los pastos introducidos.
- El análisis del carbono estable de las raíces de los pastos introducidos señaló que la fracción correspondiente a las raíces de la leguminosa, en una asociación de gramínea + leguminosa, era inferior al 10% de la biomasa total de las raíces.
- Los pastos introducidos, con su abundante sistema radical a profundidades del suelo que van de 30 a 80 cm, tienen capacidad de lograr dos efectos:
 - reciclar los nutrientes acumulados en las capas profundas del suelo;
 - secuestrar, en las raíces situadas bajo la capa arable del suelo, grandes cantidades de carbono atmosférico fijado por las plantas.
- Los agroecosistemas que incorporen las características benéficas de los pastos introducidos, tales como el crecimiento extensivo de las raíces a gran profundidad y la cobertura permanente del suelo, reducirán las pérdidas de nutrientes por las siguientes razones:

- almacenan cantidades grandes de nutrientes en la biomasa acumulada bajo la superficie del suelo;
- aumentan la materia orgánica del suelo;
- protegen el suelo con la cobertura que le proporcionan.

Referencias

- Blydenstein J. 1967. Tropical savanna vegetation of the Llanos of Colombia. *Ecology* 48(1):1-15.
- Boddey R. M.; Rao I. M.; Thomas, R. J. 1996. Nutrient cycling and environmental impact of *Brachiaria* pastures. En: Miles J. W.; Maass B. L.; do Valle C. B. (eds.). *Brachiaria: Biology, agronomy, and improvement*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 72-86.
- Botero R. 1989. Manejo de explotaciones ganaderas en las sabanas bien drenadas de los Llanos de Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 100 p.
- Cadisch G.; Giller K. E.; Uriquiaga S.; Miranda C. H. B.; Boddey R. M.; Schunke, R. M. 1994. Does phosphorus supply enhance soil-N mineralization in Brazilian pastures. *Eur. J. Agron.* 3:339-345.
- Candell J.; Jackson R. B.; Ehleringer J. R.; Mooney H. A.; Sala O. E.; Schulze, E-D. 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* (Heidelberg). (En aprobación.)
- Chacón Piñango P. A. 1988. Dynamique de la matière organique et de l'azote dans une savane à *Trachypogon* du Venezuela. Tesis (Doct.). Université Paris VI, Paris, Francia. 172 p.

- Cochrane T. T. 1986. Soils, climate and vegetation in rangeland of tropical America. En: Kalmbacher R. S.; Coleman S. S.; Lewis C. E.; Tanner, G. W. (eds.). Tropical America lowland range symposium. Memorias. Society of Range Management, Kissimmee, Florida, E. U. p. 1-10.
- Correa A. S.; Proaño C. E.; Gonzáles E.; Moreno J. C. 1986. Efecto de la época de quema sobre algunas propiedades del suelo y sobre la producción de forraje. Colombia Geografica 13(2):30-67.
- Crowder L. V. 1967. Grasslands of Colombia. Herbage Abstracts 37(4): 237-245.
- Decaëns T.; Lavelle P.; Jiménez J. J.; Escobar G.; Rippstein G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. Eur. J. Soil Biol. 30:157-168.
- Deinum B. 1985. Root mass of grass swards in different grazing systems. Neth. J. Agric. Sci. 33:377-384.
- Fisher M. J.; Lascano C. E.; Thomas R. J.; Ayarza M. A.; Rao I. M.; Rippstein G.; Thornley J. H. M. 1993. An integrated approach to soil-plant-animal interactions on grazed legume-based pastures on tropical acid soils. En: Hodgson J. (ed.). Proceedings of the XVII International Grassland Congress. Congreso celebrado en Palmerston North, Nueva Zelanda. febrero de 1993. NZGA, TGSA, NZSAP, ASAP-Qld. y NZIAS, Palmerston North, Nueva Zelanda. p. 1903-1904.
- Fisher M. J.; Rao I. M.; Ayarza M. A.; Lascano C. E.; Sanz J. I.; Thomas R. J.; Vera, R. R. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. Nature (Londres) 371:236-238.
- Fisher M. J.; Rao I. M. Thomas R. J.; Lascano, C. E. 1996. Grasslands in the well-watered tropical lowlands. En: Hodgson J.; Illius A. W. (eds.). The ecology and management of grazing systems. CAB International, Wallingford, Oxon, R. U. p. 393-425.
- Gale M. R.; Grigal D. F. 1987. Vertical root distributions of northern tree species in relation to successional status. Can. J. For. Res. 17:829-834.
- García-Miragaya J.; San José J. J.; Hernández J. I. 1983. Effect of added nitrogen, phosphorus and potassium on above-ground biomass production and nutrient content of *Trachypogon* savanna grasses. Trop. Ecol. 24(1):35-42.
- Goedert W. J.; Ritchey K. D.; Sanzonowicz C. 1985. Desenvolvimento radicular do capim-*Andropogon* e sua relação com o teor de cálcio no perfil do solo. Rev. Bras. Cienc. Solo 9:89-91.
- Haynes R. J.; Williams P. H. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. Adv. Agron. 49:119-199.
- Jackson R. B.; Candell J.; Ehleringer J. R.; Mooney H. A.; Sala O. E.; Schulze, E-D. 1996. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. Oecologia (Heidelberg). (En aprobación.)
- Lamotte M. 1987. El destino de la materia vegetal en los ecosistemas herbáceos tropicales. En: San José J. J.; Montes R. (edps.). La capacidad bioproductiva de las sabanas. Centro Internacional de Ecología Tropical, Caracas, Venezuela. p. 1-77.
- Lascano C. E.; Euclides V. P. B. 1996. Nutritional quality and animal production of *Brachiaria* pastures. En: Miles J. W.; Maass B. L.; do Valle C. B. (eds.). *Brachiaria*: Biology, agronomy, and improvement. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 106-123.

- Lemaire G.; Cruz P.; Wery J.
1999. Ecophysiologie des plantes fourragères tropicales. En: Roberge G.; Toutain B. (eds.). Cultures fourragères tropicales. Coll. Repères. Centre internationale pour la recherche agricole et le développement (CIRAD), Montpellier, Francia. 369 p.
- Long S. P.; García-Moya G.; Imbamba S. K.; Kamnalrut A.; Piedade M. T. F.; Scurlock J. M. O.; Shen Y. K.; Hall D. O. 1989. Primary productivity of natural grass ecosystems of the tropics: A reappraisal. *Plant Soil* 115:155-166.
- Medina E.; Sarmiento G. 1981. Ecosystèmes pâturés tropicaux du Venezuela; I: Etudes écophysiologiques dans les savanes à *Trachypogon* (Llanos du Centre). En: Ecosystèmes pâturés tropicaux: Recherches sur les ressources naturelles. UNESCO-PNUE y FAO no. 16, París, Francia. p. 631-649.
- Nepstad D. C.; de Carvalho C. R.; Davidson E. A.; Jipp P. H.; Leffebvre P. A.; Negreiros G. A.; da Silva E. D.; Stone T. A.; Trumbore S. E.; Vieira S. 1994. The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures. *Nature (Londres)* 372:666-669.
- Paladines O.; Leal J. 1979. Manejo y productividad de las pasturas en los Llanos Orientales de Colombia. En: Sánchez P. A.; Tergas L. E. (eds.). Producción de pastos en los suelos ácidos de los trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 331-346.
- Rao I. M.; Ayarza M. A.; Thomas R. J.; Fisher M. J.; Sanz J. I.; Spain J. M.; Lascano C. E. 1992. Soil-plant factors and processes affecting productivity in ley farming. En: Pastures for the tropical lowlands: CIAT's contribution. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 145-175.
- Rao I. M.; Zeigler R. S.; Vera R.; Sarkarung S. 1993. Selection and breeding for acid-soil tolerance in crops: Upland rice and tropical forages as case studies. *BioScience* 43:454-465.
- Rao I. M.; Ayarza M. A.; Thomas R. J. 1994. The use of carbon isotope ratios to evaluate legume contribution to soil enhancement in tropical pastures. *Plant Soil* 162:177-182.
- Rao I. M.; Borrero V.; Ricaurte J.; García R.; 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.* 19:323-352.
- Rodrigues A. C. G.; Cadima-Zevallos A. 1991. Efeito da intensidade de pastejo sobre o sistema radicular de pastagem. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 26:439-445.
- Rony-Tejos M. 1980. Efecto del nitrógeno y del fósforo sobre la producción de forraje de una sabana. *Agron. Trop.* 29(3):205-218.
- San José J. J.; Montes R. 1989. Une évaluation de productivité régionale: les savannes à *Trachypogon* des Llanos du bassin de l'Orénoque. *Nat. Resour.* 25(1):5-8.
- San José J. J.; García-Miragaya J. 1981. Factores ecológicos operacionales en la producción de materia orgánica de las sabanas de *Trachypogon*. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* 35(139):348-374.
- San José J. J.; Montes R.; García-Miragaya J.; Orihuela B. E. 1985. Bio-production of *Trachypogon* sabannas in a latitudinal cross-section of the Orinoco Llanos, Venezuela. *Acta Oecol. Oecol. Gen.* 6(1):25-43.

- Spain J. M.; Couto W. 1990. Establishment and initial development of *Andropogon gayanus* pastures in tropical savannas. En: Toledo J. M.; Vera R.; Lascano C.; Lenné J. M. (eds.). *Andropogon gayanus* Kunth: A grass for tropical acid soils. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 223-246.
- Svejcar T. J.; Boutton T. W. 1985. The use of stable carbon isotope analysis in rooting studies. *Oecologia* (Heidelberg) 67:205-208.
- Svejcar T.; Christiansen S. 1987. Influence of grazing on rooting dynamics of Caucasian bluestem. *J. Range Manage.* 40:224-227.
- Thomas R. J.; Asakawa N. 1993. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biol. Biochem.* 25:1351-1361.
- Thomas R. J.; Fisher M. J.; Lascano C. E.; Rao I. M.; Ayarza M. A.; Asakawa N. 1993. Nutrient cycling via forage litter in tropical grass-legume pastures. En: Hodgson J. (ed.). *Proceedings of the XVII International Grassland Congress*. Congreso celebrado en Palmerston North, Nueva Zelanda. febrero de 1993. NZGA, TGSA, NZSAP, ASAP-Qld. y NZIAS, Palmerston North, Nueva Zelanda. p. 508-509.
- Thomas R. J.; Fisher M. J.; Ayarza M. A.; Sanz J. I. 1995. The role of forage grasses and legumes in maintaining the productivity of acid soils in Latin America. En: Lal R.; Stewart B. A. (eds.). *Soil management: Environmental basis for sustainability and environmental quality*. CRC Press, Boca Raton, Florida, E. U. p. 61-83.
- Veldkamp E. 1993. Soil organic carbon dynamics in pastures established after deforestation in the humid tropics of Costa Rica. Tesis (Ph.D.). Wageningen Agricultural University, Wageningen, Holanda. 117 p.
- Vera R. R.; Thomas R. J.; Sanint L.; Sanz, J. I. 1992. Development of sustainable ley-farming systems for the acid-soil savannas of tropical America. *An. Acad. Brasil. Cienc.* 64 (Supl. 1):105-125.

CAPÍTULO 11

Degradación de Pasturas Mejoradas por la Presencia de Especies no Deseadas en Carimagua, Colombia

M. E. Escobar*, G. Escobar** y G. Rippstein***

Resumen

Los agrónomos dan prioridad a ciertas especies y les atribuyen a otras, en determinado ciclo de su vida, la categoría de malezas. No obstante, la categoría *especie no deseada* (END) sería la más apropiada. Las END se oponen al desarrollo de las especies cultivadas por diversos medios, desde la competencia por agua y luz hasta la producción de sustancias tóxicas. Desde el ángulo económico y productivo, las END representan un problema serio cuando superan el umbral de daño económico al cultivo y cuando propician la degradación de las pasturas de especies introducidas.

En este capítulo se identifican las END o especies contaminantes de las pasturas y de los cultivos que se siembran en los Llanos Orientales. Se hizo el inventario de las END y se

determinó además su cobertura, su frecuencia y su diversidad. Se midió también el nivel de degradación debido a las END en diferentes tipos de pasturas establecidas en el CIA Carimagua, en Meta, Colombia.

Introducción

La introducción de pasturas mejoradas y su establecimiento son prácticas que se extienden rápidamente en la Altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia con el propósito de mejorar el nivel nutricional del ganado. La vegetación dominante en esta región consiste en pastos nativos de sabana de baja productividad y poca calidad forrajera.

El cambio de la vegetación nativa por monocultivos extensos de especies forrajeras introducidas favorece la aparición de nuevas condiciones agroecológicas y de manejo. Un aspecto importante de estos nuevos cultivos es su *posible degradación* por la aparición de 'malezas', es decir, de *especies no deseadas* (END) en la pastura.

Una pastura se degrada cuando disminuye su potencial productivo y se reduce el rendimiento del producto animal. Spain y Gualdrón (1991) explican que los siguientes factores son

* Zootecnista (estudiante en Tesis), Universidad Nacional-Sede Palmira, Colombia.

** Biólogo, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

*** Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), CIAT, Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

los que más contribuyen a esa degradación:

- Mal manejo de la pastura, desde su establecimiento hasta su utilización.
- Invasión de malezas, plagas y enfermedades en la pastura.
- Pérdida de fertilidad del suelo.
- Falta de adaptación de las especies sembradas.
- Incompatibilidad entre las especies asociadas.

'Maleza' es el término común que designa ciertas especies como 'malas hierbas' en un cultivo. Para un agrónomo, una planta se considera maleza cuando dificulta el desarrollo de las plantas cultivadas o aparece inoportunamente entre ellas (Doll 1989a; 1989b).

Desde el punto de vista botánico, taxonómico o ecológico, este concepto pierde validez porque todas las especies forman parte de un ecosistema. Como tales, pueden propiciar el control de la erosión, favorecen la presencia de la fauna benéfica, conservan la humedad del suelo, contribuyen a la formación de materia orgánica y al reciclaje de nutrientes, son germoplasma útil como fuente de alimentos y medicinas, y preservan la vida silvestre.

En la naturaleza, por tanto, no existen las 'malezas'. Los agrónomos aplican prioridades de productividad a ciertas especies y les atribuyen a otras, en determinado ciclo de la vida de éstas, la categoría de malezas; la categoría END sería, en cambio, la más apropiada. Estas especies exhiben las siguientes características:

- crecen espontáneamente;
- están adaptadas al medio;
- tienen ciclos reproductivos cortos;

- producen muchas semillas de dispersión principalmente anemófila, de mayor latencia que las de los cultivos y de excelente germinación;
- son, además, de fácil propagación.

Las END se caracterizan principalmente por su capacidad para obstaculizar el desarrollo de especies cultivadas ya establecidas, por los siguientes medios: competencia por agua, luz, nutrientes y espacio; efectos alelopáticos; invasión del campo y, en el peor de los casos, desalojo de las especies forrajeras cultivadas. Se valen, además, para su supervivencia, de dos mecanismos: el ganado las rechaza y algunas poseen sustancias tóxicas.

Consideradas a nivel económico y productivo, las END se convierten en un grave problema cuando superan el umbral de daño económico al cultivo y cuando las pasturas introducidas pierden su potencial forrajero en términos de productividad y calidad.

En este capítulo se identifican las END o especies contaminantes de las pasturas y de los cultivos que se siembran en los Llanos Orientales. Se hizo el inventario de las END determinando además su cobertura, su frecuencia y su diversidad. Se midió además el nivel de degradación de diferentes tipos de pasturas establecidas en el CI Carimagua situado en el departamento de Meta, Colombia. Este es un centro piloto en investigación, introducción, establecimiento y adopción de nuevas especies forrajeras destinadas a las sabanas bien drenadas de los Llanos Orientales.

Materiales y Métodos

Las evaluaciones se hicieron entre agosto de 1993 y marzo de 1994 en el CI Carimagua; la región de este nombre se conoce como sabana alta de los Llanos

Orientales de Colombia; su altitud oscila entre 150 y 175 msnm.

La región recibe una precipitación anual de 2200 mm, en promedio, distribuidos entre los meses de abril y diciembre. Las temperaturas máxima y mínima promedio son de 32 y 23 °C, respectivamente. La humedad relativa anual promedio es de 76%. Los suelos son de fertilidad baja, profundos, bien estructurados, muy porosos y permeables, y se clasifican como haplustox típico, caolinitico, isohipertérmico (Oxisol).

Se evaluaron 36 pasturas (cada una en su lote); en los 36 lotes se establecieron, en monocultivo o en asociación, especies cuyas características se detallan en el Cuadro 11-1. El muestreo se hizo mediante transectos lineales de 20 m y con lecturas hechas al azar cada 20 m, en cada lote; son siete por hectárea, para un total de 700 puntos por tratamiento. Se analizaron las siguientes variables:

Cobertura de una especie

Se rige por la expresión $X_i = (m_i/M_i) \times 100$. La fracción proporcional de puntos con que una especie está presente (m_i), derivada de un número infinito de unidades de muestreo (M_i) posibles, equivale a la cobertura de dicha especie (X_i) (Matteucci y Colma 1982).

Según el porcentaje de cobertura, se han establecido categorías o grupos para clasificar el tipo de invasión de las END en una pastura. Alemán (1991) usa una escala de cuatro grados cuyos valores generales se presentan a continuación:

Categoría	Cobertura de la especie invasora
D = débil	Hasta 5%
M = mediana	Entre 6% y 25%
F = fuerte	Entre 26% y 50%
MF = muy fuerte	Más de 50%

Frecuencia de una especie

Se rige por la expresión $F_i = (m_i/M_i) \times 100$. Se expresa como porcentaje de la relación entre el número de unidades de muestreo en que aparece el atributo considerado (m_i) y el número total de unidades de muestreo (M_i). Según el porcentaje de frecuencia de la presencia de las END, éstas se relacionaron con los grupos de distribución establecidos por Huguet del Villar (citado por Avila y Rojas 1981), que son los siguientes:

Grupo de distribución	Frecuencia de END
Especies constantes	Frecuencia > 66%
Especies accesorias	Frecuencia entre 33% y 66%
Especies accidentales	Frecuencia < 33%

Diversidad de especies

Se rige por la expresión $D = \text{No. total de END} / \text{No. de END comunes}$. Esta variable permite calcular la abundancia de especies de un sitio. Se desarrolló comparando las pasturas evaluadas con los diagramas de Venn. Las distintas probabilidades se calcularon según los aspectos siguientes:

- Tipo de pastura (monocultivo o asociación, o ambos)
- Parcela (con quema o sin quema)
- Tipo de fertilización
- Tipo de carga

Resultados

Las especies forrajeras establecidas fueron seis: *Brachiaria decumbens*, *B. dictyoneura*, *B. humidicola*, *Arachis pintoii*, *Centrosema acutifolium* y *Pueraria phaseoloides*.

En los 36 lotes incluidos en el inventario hecho en el CI Carimagua, se encontraron 20 familias y 91 especies (Cuadros 11-2 y 11-3). La familia Poaceae contribuyó con el mayor

Cuadro 11-1. Descripción (área, tipo de suelo, edad, fertilización, sistema de pastoreo y carga animal) de los 36 lotes evaluados en el estudio.

Lote no.	Area (ha)	Cultivo	Tratamiento	Tipo de suelo ^a	Edad de la pastura (años) ^b	Fertilización (kg/ha) ^c	Sistema de pastoreo	Carga/ha ^d	Observaciones
1	2.26	Sabana nativa (testigo)	1	Ar	—	No	No	No	Quemas anuales
10	0.36	Sabana nativa		Ar	1	A	No	No	Ataque del mión (salivazo) Control manual de las END
2	0.18	<i>Oryza sativa</i>	2	Ar	1	B	Rotación	2 UA/ha	
4	0.18	<i>O. sativa</i>		Ar	1	A	No	No	
5	0.36	<i>O. sativa</i> + <i>Brachiaria humidicola</i> + leguminosa	3	Ar	4	A	Rotación	Variable	
13	1	<i>Brachiaria humidicola</i>		FA	8 S	C	No	No	
15	1	<i>B. humidicola</i>		FA	8 S	B	Rotación	1.5 UA/ha	
16	1	<i>B. humidicola</i>	4	FA	8 S	D	Rotación	1 a 2 UA/ha	Control de las END Sobrepastoreo de chigüiros
17	1	<i>B. humidicola</i>		FA	8 S	No	No	No	Arada para siembra (que no se hizo)
6	1	<i>B. + Arachis pintoi</i>		FA	8 S	E	No	No	Quema y luego arada
11	1	<i>B. humidicola</i> + <i>A. pintoi</i>	5	FA	8 S	—	Rotación	2 UA/ha	Ataque del mión (salivazo)
14	1	<i>B. humidicola</i> + <i>A. pintoi</i>		FA	8 S	C	No	No	Quema y luego arada
23	1	<i>B. humidicola</i> + <i>A. pintoi</i>		FA	8 S	E	No	No	
12	40	<i>B. decumbens</i>		FAr	—	E	No	No	
18	2	<i>B. decumbens</i>	6	Ar	14	E	No	No	
20	2	<i>B. decumbens</i>	7	Ar	14	C	No	No	
9	3	<i>B. dictyoneura</i>		FAr	3	F	Continuo	1 UA/ha en verano 2 UA/ha en invierno	Ataque del mión (salivazo) Baja disponibilidad de kudzú; verano fuerte

(Continúa)

Cuadro 11-1. (Continuación).

Lote no.	Area (ha)	Cultivo	Tratamiento	Tipo de suelo ^a	Edad de la pastura (años) ^b	Fertilización (kg/ha) ^c	Sistema de pastoreo	Carga/ha ^d	Observaciones
21	30	<i>B. dictyoneura</i>		FAr	—	G	Rotación	1.5 UA/ha	
39	0.375	<i>B. dictyoneura</i>	8	Ar	4	F	Continuo	1 UA/ha en verano 2 UA/ha en invierno	
76	0.375	<i>B. dictyoneura</i>		Ar	4	—	Continuo/ Rotación	2 UA/ha	Control manual de las END
24 y 80	0.375	<i>B. dictyoneura</i> + <i>A. pintoi</i>		Ar	4	C	No	No	
28 y 86	0.3	<i>B. dictyoneura</i> + <i>A. pintoi</i>		Ar	4	B	Rotación	1.5 UA/ha	
29 y 87	0.3	<i>B. dictyoneura</i> + <i>A. pintoi</i>	9	Ar	4	B	Rotación	1.5 UA/ha	
32 y 71	0.25	<i>B. dictyoneura</i> + <i>A. pintoi</i>		Ar	4	G	Rotación	1.5 UA/ha	
3 y 52	0.3	<i>B. dictyoneura</i> + <i>Centrosema acutifolium</i>		Ar	4	B	Rotación	2 UA/ha	
7 y 54	0.375	<i>B. dictyoneura</i> + <i>C. acutifolium</i>	10	Ar	4	B	Rotación	1 UA/ha	
19 y 36	0.375	<i>B. dictyoneura</i> + <i>C. acutifolium</i>		Ar	4	B	Rotación	1.5 UA/ha	
33 y 84	0.5	<i>B. dictyoneura</i> + <i>C. acutifolium</i>		Ar	4	B	Rotación	1.5 UA/ha	

a. Ar = arenoso, FAr = francoarcilloso, FAr = francoarenoso.

b. S = semanas.

c. A = fertilización de P 60, K 100, N 80, cal dolomítica 500, Mg 50, Zn 10, S 10; B = fertilización de P 60, Ca 150, K 100, Mg 60, S 24, Zn 2, Cu 2, Bo 0.5, Mo 0.1, N 3; C = fertilización de P 20, Ca 50, Mo 0.3; D = fertilización 5 bultos de roca fosfórica por hectárea; E = fertilización de P 20, Ca 50, Mo 0.3, Mg 19, S 12; F = fertilización de P 60, Ca 150, K 100, Mg 60, S 24, Zn 2, Cu 2, Bo 0.5, Mo 0.1, N 3; G = fertilización de P 20, Ca 20, Mg 20, S 12, Zn 2, Bo 0.5, Mo 0.1, N 30.

d. 1 UA = 324 kg.

Cuadro 11-2. Inventario florístico hecho en 36 lotes de plantas forrajeras mejoradas establecidas en monocultivo y en asociación, en el CI Carimagua, en Meta, Llanos Orientales de Colombia. Clase Dicotyledoneae.

Familia	Planta inventariada				
	No.	Nombre científico	Nombre local	Ciclo de vida ^c	Propagación ^d
Araceae	1	<i>Caladium macrotites</i>	Rascadera	A	S o R
Asteraceae	2	<i>Emilia sonchifolia</i>	Clavelito	A	S
	3	<i>Eupatorium amigdalinum</i>	Amígdala	P	S
	4	<i>Stilnopappus pittieri</i>		P	S o R
	5	<i>Pseudoelephantopus spiralis</i>		P	S
Caesalpinaceae (L.)	6	<i>Cassia</i> sp.	Bicho	A o P	S
	7	<i>Chamaecrista</i> sp.		A	S
	8	<i>Chamaecrista trychopoda</i>	Platanitos	P	S
Convolvulaceae	9	<i>Ipomoea</i> sp.	Batatilla		S
	10	<i>Merremia aturensis</i>			S
Clusiaceae	11	<i>Vismia guianensis</i>	Lacre	P	S
Euphorbiaceae	12	<i>Phyllanthus niruri</i>	Balsilla	A o P	S
	13	<i>Croton trinitatis</i>	Pata de paloma	A	S
Fabaceae (L.)	14	<i>Arachis pinto</i> ^a	Maní forrajero	P	S
	15	<i>Centrosema acutifolium</i> ^a	Cultivar Vichada	P	S
	16	<i>Centrosema venosum</i>	Taburín	P	S
	17	<i>Clitoria guianensis</i>	Generala	P	S o R
	18	<i>Crotalaria</i> sp.	Cascabelitos	A	S
	19	<i>Desmodium barbatum</i>	Amor seco	P	S
	20	<i>Desmodium ovalifolium</i>	Pega-pega	P	S
	21	<i>Eriosema</i> sp.	Simple	P	S
	22	<i>Pueraria phaseoloide</i> ^b	Kudzú	P	S
	23	<i>Galactia glaucenses</i>	Guayabo sabanero	P	S
	24	<i>Soemmeringia semperflorens</i>		A	S
	25	<i>Stylosanthes capitata</i> ^a	Capica	P	S
Flacourtiaceae	26	<i>Casearia ulmifolia</i>	Vara blanca	P	S
Labiatae	28	<i>Hyptis conferta</i>	Mastrantos	A o P	S
	29	<i>Hyptis</i> sp.	Mastrantos	A o P	S

(Continúa)

Cuadro 11-2. (Continuación).

Familia	Planta inventariada				
	No.	Nombre científico	Nombre local	Ciclo de vida ^c	Propagación ^d
Malvaceae	30	<i>Peltaea speciosa</i>	Baboso	P	S
	31	<i>Sida acuta</i>	Escoba	A o P	S
Melastomataceae	32	<i>Clidemia rubra</i>	Mortiños	P	S
	33	<i>Miconia albicans</i>	Tuno	P	S
Mimosaceae (L.)	34	<i>Mimosa pigra</i>	Zarza	P	S
	35	<i>Mimosa pudica</i>	Dormidera	P	S
Ochnaceae	36	<i>Sauvagesia erecta</i>			S
Rubiaceae	37	<i>Borreria</i> sp.	Botón de rienda	A o P	S-MV
	38	<i>Curatella americana</i>	Chaparro	P	S
	39	<i>Declieuxia fruticosa</i>	Dos hojas	P	S
	40	<i>Sabicea villosa</i>		P	S
	41	<i>Sipanea pratensis</i>	Mechas	P	S
	42	<i>Spermacoce assurgens</i>			S
Scrophulariaceae	43	<i>Lindermia diffusa</i>		A	S
Sterculiaceae	44	<i>Melochia villosa</i>	Bretónicas	P	S
Verbenaceae	45	<i>Stachytarpheta jamaicensis</i>	Verbena negra	A o P	S
	46	Menta ^b	Menta		S

a. Especie introducida.

b. Especie no determinada.

c. A = anual, P = perenne.

d. S = por semilla, R = por rizoma, MV = por material vegetativo.

Cuadro 11-3. Inventario florístico hecho en 36 lotes de plantas forrajeras mejoradas establecidas en monocultivo y en asociación, en el CI Carimagua, en Meta, Llanos Orientales de Colombia. Clase Monocotyledoneae.

Familia	Planta inventariada				
	No.	Nombre científico	Nombre local	Ciclo de vida ^b	Propagación ^c
Cyperaceae	47	<i>Cyperus flavus</i>	Corocillo	P	S o R
	48	<i>Dichromena ciliata</i>	Estrellita	P	S o R
	49	<i>Fimbristylis</i> sp.	Barba de indio	A o P	S o R
	50	<i>Rhynchospora barbata</i>		P	S o R
	51	<i>Rhynchospora confinis</i>		P	S o R
Iridaceae	27	<i>Cipura paludosa</i>		P	S
Poaceae	52	<i>Andropogon bicornis</i>	Rabo de zorro	P	S o R
	53	<i>Andropogon gayanus</i> ^a	Carimagua 1	P	S
	54	<i>Andropogon leucostachyus</i>	Rabo de gato	P	S o MV
	55	<i>Andropogon selloanus</i>	Horquetilla	P	S o MV
	56	<i>Aristida capillacea</i>	Paja del Niño Dios	A	S
	57	<i>Aristida riparia</i>		P	S
	58	<i>Aristida tinctoria</i>		P	S
	59	<i>Axonopus affinis</i>	Pata de gallina	P	S
	60	<i>Axonopus aureus</i>		P	S o MV
	61	<i>Axonopus compressus</i>	Pasto alfombra	P	S o E
	62	<i>Axonopus chrysoblepharis</i>	Gramma de sabana	P	S o MV
	63	<i>Axonopus purpusii</i>	Guaratara	P	S
	64	<i>Brachiaria decumbens</i> ^a	Pasto amargo	P	S
	65	<i>Brachiaria dictyoneura</i> ^a	Llanero	P	S o E
	66	<i>Brachiaria humidicola</i> ^a	Pasto dulce	P	S o E
	67	<i>Elyonorus candidus</i>		P	S
	68	<i>Eragrostis maypurensis</i>		A	S
	69	<i>Gimnapogon foliosus</i>		A	S
	70	<i>Hyparrhenia rufa</i> ^a	Puntero	P	S o E
	71	<i>Imperata brasiliensis</i>	Víbora	P	S o R
	72	<i>Leptocoryphium lanatum</i>	Rabo de mula	P	S
	73	<i>Melinis minutiflora</i> ^a	Gordura	P	S o R
	74	<i>Mesosetum loliiforme</i>	Colchón de pobre	P	S o E
	75	<i>Otachyrium versicolor</i>	Pasto blanco	P	S

(Continúa)

Cuadro 11-3. (Continuación).

Familia	Planta inventariada				
	No.	Nombre científico	Nombre local	Ciclo de vida ^b	Propagación ^c
Poaceae	76	<i>Oryza sativa</i>	Arroz	P	S
	77	<i>Panicum laxum</i>	Paja amarga	P	S
	78	<i>Panicum pilosum</i>		P	S o MV
	79	<i>Panicum rudgei</i>	Paja tigre	P	S
	80	<i>Paspalum</i> sp.		P	S
	81	<i>Paspalum plicatulum</i>	Pasto negro	P	S
	82	<i>Paspalum clavuliferum</i>		A	S
	83	<i>Paspalum conjugatum</i>	Pasto horqueta	P	S o E
	84	<i>Paspalum contractum</i>		P	S
	85	<i>Paspalum pectinatum</i>	Grama	P	S
	86	<i>Paspalum stellatum</i>	Paja de banco	P	S
	87	<i>Sporobolus indicus</i>		P	S
	88	<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	Pasto aguja	P	S
	89	<i>Setaria geniculata</i>	Limpia frascos	P	S o R
90	<i>Trachypogon vestitus</i>	Paja peluda	P	S	
91	<i>Thrasya petrosa</i>			S	

a. Especie introducida.

b. A = anual, P = perenne.

c. S = por semilla, R = por rizoma, MV = por material vegetativo, E = estolón.

número de especies, o sea, 44% del total de especies censadas; la siguen las leguminosas con 18% (17 especies). Por clases, la distribución es la siguiente:

Monocotiledóneas (51%). En su mayoría son especies perennes (89% del total). Presentan más dificultades que otras especies porque tienen alta capacidad competitiva y resisten las condiciones adversas del ambiente.

Dicotiledóneas (49%). Son, principalmente, especies perennes.

Cobertura

Se aplicó la prueba de Duncan con un nivel de significancia del 5% y se usaron datos no transformados para estudiar esta variable. La evaluación consistió en comparar tratamientos vs. cobertura de END, de un lado, y lotes vs. cobertura de END, del otro. Se agruparon 10 tratamientos según el tipo de pastura establecida, incluyendo un testigo de sabana nativa.

Según los porcentajes de cobertura y los resultados de la prueba de Duncan (Cuadro 11-4), 62% de los lotes se encuentran medianamente invadidos por END, 15% presentan una invasión fuerte y 24% tienen una invasión muy fuerte; entre estos últimos se encuentran los lotes más jóvenes.

Frecuencia de las END

Esta variable compara el número de veces que cada una de las 91 especies incluidas en el inventario se encuentra en los 36 lotes evaluados. Según la distribución de Huguet del Villar, se obtuvieron los datos que aparecen en el Cuadro 11-5.

Especies constantes. Son el 4% del total. La especie *Hyptis conferta* (mastranto) es la más común; aparece en 33 lotes (92% del total) y nunca es

pastoreada en forma constante (Blydenstein 1976). *Axonopus purpusii* (guaratara) está presente en un 81% de los lotes, tiene excelente valor forrajero y resiste el pastoreo; estas características le hacen perder el carácter de maleza o END (Blydenstein 1967). Están finalmente *Galactia glaucenses* (guayabo sabanero) con 77% de frecuencia y *Lindermia diffusa* con un 69%.

Especies accesorias. Son el 30% del total. Comprenden 27 especies, de las cuales *Andropogon bicornis* (rabo de zorro) se destaca con un 61% de frecuencia.

Especies accidentales. Son el 60% del total y contienen 60 especies.

Diversidad

Esta variable mide la abundancia florística de los lotes comparados. Cuanto menos especies comunes haya en los lotes mayor será el valor de la diversidad (Cuadro 11-6).

Conclusiones

Del inventario realizado y del análisis de las variables cobertura, frecuencia y diversidad se puede concluir que las pasturas de los 36 lotes evaluados en el CIA Carimagua tienen las siguientes características:

- Hay 28 lotes (78%) en fase de productividad media.
- La cobertura del terreno con END (presencia de malezas) es, en promedio, de 34%.
- La capacidad potencial de carga de los lotes es de 1 UA/ha.
- Sólo cinco lotes (14%) presentan pocos problemas de END porque en ellos se aplicaron prácticas bien implementadas de establecimiento

Cuadro 11-4. Categoría de cobertura asignada, según el porcentaje de END, a los 36 lotes evaluados en este estudio.

Lote no.	Gramínea y especie asociada		END		Categoría ^b			
	Gramínea	Asociación	No.	Cobertura (%)	D	M	F	MF
1	Sabana nativa ^a		46	—				
10	Sabana nativa ^a		48	—				
17	<i>B. humidicola</i>		25	69				X
15	<i>B. humidicola</i>		27	67				X
16	<i>B. humidicola</i>		33	65				X
13	<i>B. humidicola</i>		26	25		X		
23	<i>B. humidicola</i>	<i>A. pintoii</i>	23	84				X
11	<i>B. humidicola</i>	<i>A. pintoii</i>	32	25		X		
14	<i>B. humidicola</i>	<i>A. pintoii</i>	33	69				X
6	<i>B. humidicola</i>	<i>A. pintoii</i>	27	59				X
20	<i>B. decumbens</i>	<i>P. phaseoloides</i>	18	19		X		
18	<i>B. decumbens</i>		33	34			X	
12	<i>B. decumbens</i>		39	33			X	
2	Arroz		23	33			X	
5	Arroz	<i>Bh + Ap + Ca + Sc^c</i>	25	20		X		
4	Arroz		26	33		X		
9	<i>B. dictyoneura</i>		34	95				X
21	<i>B. dictyoneura</i>		44	69				X
76	<i>B. dictyoneura</i>		15	18		X		
39	<i>B. dictyoneura</i>		7	12		X		
33	<i>B. dictyoneura</i>	<i>C. acutifolium</i>	27	25		X		
7	<i>B. dictyoneura</i>	<i>C. acutifolium</i>	35	44			X	
19	<i>B. dictyoneura</i>	<i>C. acutifolium</i>	29	22		X		
36	<i>B. dictyoneura</i>	<i>C. acutifolium</i>	16	12		X		
3	<i>B. dictyoneura</i>	<i>C. acutifolium</i>	28	27			X	
84	<i>B. dictyoneura</i>	<i>C. acutifolium</i>	7	11		X		
54	<i>B. dictyoneura</i>	<i>C. acutifolium</i>	8	13		X		
52	<i>B. dictyoneura</i>	<i>C. acutifolium</i>	10	11		X		
24	<i>B. dictyoneura</i>	<i>A. pintoii</i>	20	24		X		
28	<i>B. dictyoneura</i>	<i>A. pintoii</i>	8	14		X		
87	<i>B. dictyoneura</i>	<i>A. pintoii</i>	8	9		X		
86	<i>B. dictyoneura</i>	<i>A. pintoii</i>	5	9		X		
71	<i>B. dictyoneura</i>	<i>A. pintoii</i>	4	6		X		
80	<i>B. dictyoneura</i>	<i>A. pintoii</i>	8	13		X		
29	<i>B. dictyoneura</i>	<i>A. pintoii</i>	11	8		X		
32	<i>B. dictyoneura</i>	<i>A. pintoii</i>	4	8		X		

a. Lotes representativos del ecosistema de sabana nativa.

b. Categorías según Alemán (1991): D = débil (hasta 5% de END); M = mediana (6% a 25%); F = fuerte (26% a 50%); MF = muy fuerte (> 50%).

c. *B. humidicola* + *A. pintoii* + *C. acutifolium* + *S. capitata*.

Cuadro 11-5. Composición florística en los 36 lotes estudiados, como porcentaje de frecuencia de las END y según la distribución Huguet del Villar (DHV).

END no.	Nombre científico	Nombre local	Presencia o frecuencia de END		DHV ^a
			(no.)	(%)	
28	<i>Hyptis conferta</i>	Mastranto	33	92	Constantes
63	<i>Axonopus purpusii</i>	Guaratara	29	81	
23	<i>Galactia glaucenses</i>	Guayabo sabanero	26	77	
43	<i>Lindermia diffusa</i>		25	69	
52	<i>Andropogon bicornis</i>	Rabo de zorro	22	61	Accesorias
79	<i>Panicum rudgei</i>	Paja de tigre	21	58	
46	(indeterminada)	Menta	20	58	
61	<i>Axonopus compresus</i>	Pasto alfombra	20	58	
65	<i>Brachiaria dictyoneura</i>	Llanero	20	58	
89	<i>Setaria geniculata</i>	Limpia frascos	20	56	
77	<i>Panicum laxum</i>	Paja amarga	20	56	
26	<i>Casearia ulmifolia</i>	Vara blanca	20	56	
37	<i>Borreria</i> sp.	Botón de rienda	20	56	
35	<i>Mimosa pudica</i>	Dormidera	19	53	
81	<i>Paspalum plicatulum</i>	Pasto negro	18	50	
31	<i>Sida acuta</i>	Escoba	18	50	
82	<i>Paspalum clavuliferum</i>		18	50	
68	<i>Eragrostis maypurensis</i>		17	47	
44	<i>Melochia villosa</i>	Bretónicas	17	47	
59	<i>Axonopus affinis</i>	Pata de gallina	17	47	
88	<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	Pasto aguja	17	47	
13	<i>Croton trinitatis</i>	Pata de paloma	17	47	
14	<i>Arachis pintoi</i>	Maní forrajero	16	44	
21	<i>Eriosema</i> sp.	Simple	16	44	
2	<i>Emilia sonchifolia</i>	Clacelito	14	39	
48	<i>Dichromena ciliata</i>	Estrellita	14	39	
32	<i>Clidemia rubra</i>	Mortiños	14	39	
69	<i>Gimnopogon foliosus</i>		13	36	
17	<i>Clitoria guianensis</i>	Generala	13	36	
25	<i>Stylosanthes capitata</i>	Capica	12	33	
75	<i>Otachyrium versicolor</i>	Pasto blanco	12	33	
15	<i>Centrosema acutifolium</i>	Cultivar Vichada	11	31	Accidentales
45	<i>Stachytarpheta jamaicensis</i>	Verbena negra	11	31	
91	<i>Thrasya petrosa</i>		11	31	
49	<i>Fimbristylis</i> sp.	Barba de indio	11	31	
20	<i>Desmodium ovalifolium</i>	Pega-pega	11	31	
66	<i>Brachiaria humidicola</i>	Pasto dulce	11	31	
7	<i>Chamaecrista</i> sp.		9	25	
64	<i>Brachiaria decumbens</i>	Pasto amargo	9	25	
83	<i>Paspalum conjugatum</i>	Pasto horqueta	9	25	
1	<i>Caladium macrotites</i>	Rascadera	9	25	
47	<i>Cyperus flavus</i>	Corocillo	8	22	
19	<i>Desmodium barbatum</i>	Amor seco	8	22	
55	<i>Andropogon selloanus</i>		8	22	
8	<i>Chamaecrista trychopoda</i>	Horquetilla	7	19	
33	<i>Miconia albicans</i>	Platanitos	7	19	
42	<i>Spermacoce assurgens</i>	Tuno	7	19	
56	<i>Aristida capillacea</i>	Paja del Niño Dios	6	17	
27	<i>Cipura paludosa</i>	Mechas	6	17	
41	<i>Sipanea pratensis</i>		6	17	

(Continúa)

Cuadro 11-5. (Continuación).

END no.	Nombre científico	Nombre local	Presencia o frecuencia de END		DHV ^a
			(no.)	(%)	
34	<i>Mimosa pigra</i>	Zarza	6	17	
30	<i>Peltaea speciosa</i>	Baboso	6	17	
72	<i>Leptocoryphium lanatum</i>	Rabo de mula	6	17	
90	<i>Trachypogon vestitus</i>	Paja peluda	6	17	
71	<i>Imperata brasiliensis</i>	Vibora	5	14	
40	<i>Sabicea villosa</i>		5	14	
24	<i>Soemmeringia semperflorens</i>		5	14	
60	<i>Axonopus aureus</i>		5	14	
3	<i>Eupatorium amigdalinum</i>	Amígdala	5	14	
9	<i>Ipomoea</i> sp.	Batatilla	4	11	
18	<i>Crotalaria</i> sp.	Cascabelitos	4	11	
22	<i>Pueraria phaseoloides</i>	Kudzú	4	11	
70	<i>Hyparrhenia rufa</i>	Puntero	4	11	
12	<i>Phyllanthus niruri</i>	Balsilla	3	8	
53	<i>Andropogon gayanus</i>	Carimagua 1	3	8	
76	<i>Oryza sativa</i>	Arroz	3	8	
50	<i>Rhynchospora barbata</i>		3	8	
39	<i>Declieuxia fruticosa</i>	Dos hojas	3	8	
78	<i>Panicum pilosum</i>		3	8	
54	<i>Andropogon leucostachyus</i>	Rabo de gato	3	8	
51	<i>Rhynchospora confinis</i>		2	6	Accidentales
16	<i>Centrosema venosum</i>	Taburín	2	6	
86	<i>Paspalum stellatum</i>	Paja de banco	2	6	
10	<i>Merremia aturensis</i>		2	6	
58	<i>Aristida tinctoria</i>		2	6	
84	<i>Paspalum contractum</i>		2	6	
74	<i>Mesosetum loliiforme</i>	Colchón de pobre	2	6	
67	<i>Elyonorus candidus</i>		1	3	
38	<i>Curatella americana</i>	Chaparro	1	3	
80	<i>Paspalum</i> sp.		1	3	
87	<i>Sporobolus indicus</i>		1	3	
11	<i>Vismia guianensis</i>	Lacre	1	3	
62	<i>Axonopus chrysoblepharis</i>	Gramma de sabana	1	3	
73	<i>Melinis minutiflora</i>	Gordura	1	3	
57	<i>Aristida riparia</i>		1	3	
6	<i>Cassia</i> sp.	Bicho	1	3	
85	<i>Paspalum pectinatum</i>	Gramma	1	3	
5	<i>Pseudoelephantopus spiralis</i>		1	3	
29	<i>Hyptis</i> sp.	Mastranto	1	3	
36	<i>Sauvagesia erecta</i>		1	3	

a. F = frecuencia. Constantes: F > 66%; Accesorias: F = 33% a 66%; Accidentales: F < 33%.

FUENTE: Avila y Rojas 1981.

Cuadro 11-6. Valor de la diversidad vegetal, según comparaciones realizadas partiendo de los diagramas de Venn, en los lotes estudiados.

	Comparación	Lotes (no.)	Especies		Valor de diversidad
			Total	Comunes	
1	Monocultivo	39-76	20	4	5.00
2	Monocultivo + carga	36-52	24	5	4.80
3	Monocultivo + carga	71-24	22	5	4.40
4	Monocultivo + carga	84-52	15	4	3.75
5	Monocultivo + carga	32-24	22	6	3.67
6	Monocultiv + carga	84-54	14	4	3.50
7	Asociación + carga	3-24	39	13	3.00
8	Fertilización	13-15	41	14	2.93
9	Asociación + carga	7-24	44	15	2.93
10	Fertilización	13-17	39	14	2.79
11	Fert., Monoc., Asoc.	13-23	38	14	2.71
12	Asociación + carga	19-24	38	15	2.53
13	Monocultivo + carga	29-24	25	10	2.50
14	Fertilización	6-23	33	14	2.36
15	Monocultivo + carga	3-33	41	18	2.38
16	Fertilización	11-14	48	21	2.19
18	Fertilización	6-11	43	20	2.15
19	Testigo (sabana nativa)	1-10	64	30	2.13
20	Monocultivo	12-18	50	24	2.08
21	Monocultivo + carga	3-7	45	22	2.06
22	Quema	11-13	41	20	2.05
25	Asociación + carga	29-52	16	8	2.00
26	Monocultivo + carga	32-80	10	5	2.00
17	Monocultivo	2-4	35	16	1.94
23	Fertilización	11-23	39	16	1.94
24	Fert., Monoc., Asoc.	14-16	46	23	1.91
27	Monocultivo	9-21	53	27	1.88
28	Monocultivo + carga	7-33	43	23	1.86
29	Asociación	2-5	35	19	1.84
30	Asociación	18-20	35	19	1.84
31	Fertilización	15-16	40	22	1.82
32	Monocultivo + carga	71-80	9	5	1.80
33	Monocultivo + carga	32-28	10	6	1.65
34	Asociación	4-5	35	22	1.59
35	Fertilización	16-17	36	24	1.50
36	Asociación	12-20	24	16	1.50
37	Monocultivo + carga	71-86	7	5	1.40
38	Monocultivo + carga	87-80	10	9	1.11

y manejo de la pastura (rotación, carga, control mecánico con guadaña, quema).

Las asociaciones de gramínea y leguminosa tienen los menores porcentajes de cobertura de END; son, por tanto, un método importante de control de END, además de dar mayor cubrimiento al suelo y mejorarlo en su estructura.

Variables y prácticas

La distribución florística de las END en las pasturas mejoradas es la siguiente: dominan las especies accidentales (66%), siguen las accesorias (29%) y, por último, están las constantes (5%).

La quema es una práctica de manejo empleada en los Llanos Orientales de Colombia con el fin de promover el rebrote en la época de verano; es además una herramienta de control de END en la sabana nativa y, a veces, en las pasturas mejoradas. Sin embargo, no se recomiendan las quemaduras continuadas porque el suelo queda descubierto y expuesto a la erosión, lo que afecta su contenido de materia orgánica y su microfauna. Cuando sea necesaria, hay que hacerla racionalmente y muy espaciada en el tiempo (con descanso largo para el lote).

END importantes

Una especie de las Poaceae, *Panicum rudgei* (paja tigre), se encuentra ocasionalmente en la sabana nativa; causó, sin embargo, graves problemas en los lotes evaluados, por las siguientes razones:

- apareció en 21 lotes evaluados (58%);
- es altamente invasora y puede desplazar la pastura establecida;

- es un forraje tosco cubierto de pelusa que no es consumido por el ganado;
- tiene poco valor nutritivo;
- su frecuencia aumenta en el lote cuando éste es sometido a pastoreo;
- es tóxica para el ganado porque contiene glucósidos cianogénicos que causan el síndrome de caída del ganado: los animales son más susceptibles al envenenamiento en la época de transición de verano a invierno (Tolkamp 1972; Moreno et al. 1976);
- está adaptada a la quema, como la mayoría de las especies de los Llanos Orientales, y por eso rebrota muy bien: la quema favorece la escarificación de las semillas y el nacimiento de nuevas plantas.
- su agresividad es tal que se mimetiza con las especies de la pastura mejorada: a veces su presencia es tan abundante en el lote que puede confundirse con una pastura introducida.

Se destaca también *Imperata brasiliensis* (víbora o guayacana), una END que exhibe el siguiente comportamiento:

- forma grandes manchones (o parches) en la sabana nativa;
- sólo fructifica después de la quema y ésta, por tanto, favorece su dispersión;
- crece emitiendo estolones subterráneos muy fuertes que tienen forma de punta cuando salen a la superficie: con ellos destroza las otras especies sembradas en el lote.

Los productores empiezan a reconocer estas dos especies, junto con *Emilia sonchifolia*, como END de alto riesgo en los cultivos y en las pasturas de los Llanos Orientales de Colombia.

Recomendaciones

Es necesario investigar *la biología y la ecología de las END* mencionadas para conocer su capacidad de interferir con otras especies y su potencial de daño económico. Sólo así podrán desarrollarse programas y estrategias para evaluar tanto las prácticas de manejo de pasturas y cultivos, aplicadas durante largo tiempo, como el impacto ambiental que pueden causar esas estrategias.

El impacto de las END puede ser mucho mayor en los campos de los productores de ganado que en el centro de investigaciones donde se hizo este estudio, en condiciones controladas y con muchos recursos. Por consiguiente, la evaluación descrita aquí debe hacerse en esos campos para establecer el estado de las pasturas, el manejo que se les da y, lo más importante, el nivel de degradación que puedan presentar esas pasturas por la presencia de las END.

Las END son parte de un ecosistema global y su control debe evitar la aparición de un desequilibrio mayor. El *buen manejo* de estas especies es la mejor solución al problema. Una propuesta interesante de manejo es la asociación de gramíneas y leguminosas en las pasturas.

Referencias

Alemán F. 1991. Manejo de malezas. Managua, Nicaragua. 164 p.

- Avila E.; Rojas B. 1981. Contribución al estudio integral de la vertiente hidrográfica del Río Nima. Tesis (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Colombia. (Sin publicar.)
- Blydenstein J. 1967. Tropical savanna vegetation of the Llanos of Colombia. Ecology 48(1):1-15.
- Clavo Z. 1993. Plantas invasoras más frecuentes en las pasturas de la zona de Pucallpa, Perú. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (CIID), Pucallpa, Perú. 55 p.
- Doll J. 1989a. Información básica sobre la competencia entre malezas y los cultivos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 39 p.
- Doll J. 1989b. Principios básicos para el manejo de malezas en los cultivos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 36 p.
- Escobar E.; Belalcázar J.; Rippstein G. 1993. Clave de las principales plantas de sabana de la Altillanura de los Llanos Orientales en Carimagua, Meta, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 92 p.
- Matteucci S.; Colma A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la OEA, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, Washington DC, E. U. 149 p.
- Morales L. 1981. Control de malezas en potreros. En: Camacho S. et al. Principios de control de malezas en Colombia. Manual de Asistencia Técnica no. 23. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, Colombia. p. 99-169.
- Moreno O. et al. 1976. Manual de plantas tóxicas para la ganadería del Magdalena Medio. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), Bogotá, Colombia. 63 p.

Spain J. M.; Gualdrón R. 1991. Degradación y rehabilitación de pasturas. En: Lascano C.; Spain J. (eds.). Establecimiento y renovación de pasturas: Conceptos, experiencias y enfoque de la investigación. VI Reunión del Comité Asesor de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales (RIEPT), Veracruz, México, noviembre 1988. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 269-284.

Tolkamp B. 1972. Descripción de la sabana nativa de Carimagua. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 95 p.

CAPÍTULO 12

Resumen Histórico de la Investigación Desarrollada por el CIAT en la Sabana Nativa

G. Rippstein* y R. Vera**

Resumen

Las sabanas nativas (*sensu stricto*) de los Llanos Orientales de Colombia ocupan el 80%, aproximadamente, de la superficie total de esa región. Las sabanas nativas se usan para la cría de ganado bovino destinado a la producción de carne, principalmente, y, en menor grado, a la producción de leche. Estos pastos son poco productivos; sin embargo, son la base de la alimentación animal en la mayoría de las fincas de la sabana, situación que se mantendrá todavía durante mucho tiempo por razones ecológicas o geomorfológicas, principalmente. Las sabanas son, además, una reserva importante de biodiversidad vegetal y un refugio para la fauna.

A fines de la década del 70 se iniciaron algunos trabajos esporádicos sobre el manejo y la productividad animal de la sabana nativa. En 1986, el CIAT dio comienzo a los primeros estudios de largo plazo sobre la ecología

de la sabana nativa de Carimagua; en 1989, extendió ese estudio a otras áreas de la sabanas nativa, o sea, a la Altillanura de los Llanos Orientales.

El objetivo principal de este proyecto era incrementar el conocimiento sobre las especies y grupos de vegetación nativos (inventario, ecología, funcionamiento, productividad, valor pastoril) y mejorar el uso que se da a estos pastos nativos incluyendo aquí su integración a los sistemas agropastoriles. Estos sistemas se encuentran actualmente en pleno desarrollo.

El proyecto se halla en su fase final de síntesis y publicación de los resultados de 6 años consecutivos de investigación; en este capítulo se presentarán los avances realizados hasta la fecha. Uno de los resultados es el desarrollo de métodos para caracterizar el estado de degradación de la sabana nativa basados en la interpretación de imágenes del satélite SPOT y para verificar ese estado a nivel de campo; otro, son los estudios detallados sobre la dinámica de la vegetación en respuesta a la época y a la frecuencia de la quema, y a la intensidad del uso que hacen de ella los animales en pastoreo.

Se anticipa, hacia el futuro, la necesidad de identificar sitios y áreas de particular riqueza de especies y

* Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, Francia.

** Zootecnista/Especialista de los Sistemas de Producción, jefe del Programa del Trópico Bajo, CIAT, Cali, Colombia.

genotipos empleando una combinación de detección remota ('remote sensing') y de investigación de campo y de laboratorio, con la finalidad de identificar las áreas cuya conservación es prioritaria. Se considera también de alta prioridad la descripción y el análisis cuantitativo de las funciones ecológicas de los bosques de galería y la valoración económica de los servicios ecológicos ofrecidos por la sabana y los bosques.

Introducción

Las sabanas nativas (*sensu stricto*) de los Llanos Orientales de Colombia (ver Figura 1-11, Capítulo 1 de esta obra) ocupan alrededor del 80% de la superficie total de esa región; el resto está ocupado por cultivos (principalmente, especies forrajeras y arroz), por bosques de galería y por ríos.

Las sabanas nativas son pastoreadas generalmente por bovinos que producen carne y, en menor grado, leche: estos últimos se hallan cerca de las ciudades.

Estas sabanas tienen suelos pobres (Cochrane et al. 1985) y, aunque son poco productivas, son la base de la alimentación de los animales en la mayoría de las fincas. Esta situación se mantendrá todavía mucho tiempo en la región, principalmente por razones ecológicas o geomorfológicas relacionadas con las llanuras mal drenadas y la Serranía. Las sabanas constituyen, además, una reserva importante de biodiversidad de plantas y un refugio de la fauna salvaje.

Por estas razones, desde la creación del Centro de Investigación Agropecuaria (CIA, antiguo CNI, Centro Nacional de Investigaciones) Carimagua, manejado por el ICA y el CIAT, en Meta (Figura 12-1), el CIAT investiga sobre el uso dado a la sabana nativa y el posible mejoramiento de ésta.

Historia

Desde su creación, en 1970, el Programa de Pastos Tropicales del



Figura 12-1. Vista aérea del área de Carimagua.

CIAT ensayó varios sistemas de producción para aplicar con mayor eficiencia la quema en el manejo de la sabana nativa. Se ensayó entonces la introducción de leguminosas forrajeras en la sabana para mejorar su calidad y alimentar mejor los bovinos (CIAT 1974).

En 1986, el Programa antes mencionado inicia el primer estudio botánico y ecológico de las 20,000 ha de sabana nativa del CIA Carimagua (ver Figura 1-2, Capítulo 1 de esta obra), bajo la responsabilidad del líder del Programa José ("Pepe") Toledo, ya fallecido. Lo acompañaron en esta tarea el auxiliar en botánica, Javier Belalcázar, el agrónomo y botánico Rainer Schultze-Kraft, el ecofisiólogo Myles Fisher y el ecólogo Jeff Herrick; colaboró además en el proyecto el botánico Eugenio Escobar, de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

En 1989, la sección de Pastizales Naturales (del Programa mencionado) desarrolló un proyecto más amplio para estudiar las sabanas de los Llanos Orientales de Colombia, pero enfocado hacia el CIA Carimagua. Este proyecto fue financiado por el Gobierno Japonés y con él se inició también la colaboración con el CIRAD-EMVT de Francia.

En 1992, el proyecto se incorporó al Programa de Sabanas del CIAT que a finales de 1993 se fusionó con el Programa de Márgenes del Bosque y conformó más tarde el Programa de Trópico Bajo.

Esta reestructuración institucional no ha afectado mucho los objetivos y el desarrollo de la investigación sobre sabanas. Con ella se incorporaron un poco más en este trabajo los sistemas de producción de Carimagua y de Matazul.

Objetivos del Proyecto

Objetivo general

Desde un principio, el objetivo general del proyecto fue caracterizar, conservar, mejorar y (si fuere necesario) regenerar los ecosistemas nativos sometidos a pastoreo en los Llanos Orientales de Colombia.

Objetivos específicos

Los principales objetivos específicos del proyecto y sus actividades conexas se resumen en el Cuadro 12-1. Los principales fueron los siguientes:

- Incrementar los conocimientos básicos y el inventario de la vegetación nativa de los Llanos Orientales de Colombia (botánica, ecología vegetal, fitosociología).
- Entender y explicar las causas de la forma fisonómica actual, de la composición florística y de la dinámica de la vegetación natural pastoreada por bovinos, es decir, describir el funcionamiento del ecosistema pastoreado, para evitar su degradación. Este proceso de degradación se ha iniciado ya en sitios como las áreas contiguas al río Meta y a la carretera Puerto López-Carimagua.
- Estudiar la dinámica de la productividad y de la calidad (valor alimenticio) de las especies vegetales consumidas, así como la dinámica del 'valor pastoril' de los diferentes tipos de vegetación manejados con quema, en rotación, con diferentes cargas.
- Estudiar el comportamiento alimenticio de los bovinos en los pastos nativos.
- Estudiar los sistemas mejorados de manejo de las praderas nativas adaptadas a las condiciones naturales e integradas a los

Cuadro 12-1. Actividades y objetivos del proyecto de conocimiento y manejo de la vegetación de la sabana nativa en Carimagua, Meta, Colombia.

Temas	Actividades	Metodología e instrumentos
Diversidad - Botánica - De los suelos - De las comunidades vegetales	- Inventarios de la vegetación - Análisis de suelos - Tipología de las pasturas	- Levantamiento de la vegetación - Análisis químicos, físicos y biológicos - Fitosociología - Informática
Valor pastoril de la sabana nativa	- Producción - Valor alimenticio - Gustosidad (apetibilidad) de las especies	- Corte de la vegetación (en pequeñas parcelas) - Análisis bromatológicos - Observaciones de las especies en el campo (transectos)
Funcionamiento y dinámica de los grupos de vegetación y de la fertilidad de los suelos	- Productividad de las especies - Dinámica de las especies - Dinámica de las raíces - Dinámica de las lombrices	- Muestreo de la vegetación a lo largo de transectos fijos (punto cuadrático) - Biomasa - Análisis químicos
Manejo mejorado de los pastos	- Productividad de los sistemas de manejo de la ganadería (con quema, rotaciones, descanso de la vegetación)	- Encuestas de los productores - Observaciones en los animales (ganancia de peso, preferencia por las especies) en diferentes sistemas experimentales
Uso de la tierra	- Tipología de las tierras y sus usos	- Encuestas en el campo - Radiometría terrestre - Imágenes de satélite (SIG) - Estadísticas
Integración de la vegetación nativa (sabana, bosque de galería) en sistemas de producción	- Estudio de la ecología de las especies no deseables - Estudios de los bosques de galería	- Levantamientos botánicos - Muestreo de biomasa

sistemas de producción intensivos (cultivos y pastos mejorados), que se desarrollan rápidamente en zonas favorables de los Llanos Orientales.

- Una vez integrado el proyecto en el Programa de Trópico Bajo, estudiar las especies no deseables (malezas) en los cultivos del proyecto CULTICORE, en Carimagua.

Materiales, Metodologías e Instrumentos

Materiales

Las actividades de investigación sobre el inventario de la vegetación y de la tipología de la sabana fueron llevadas a

cabo en los siguientes sitios de los Llanos Orientales de Colombia:

- parte de la Altillanura plana del CIA de Carimagua (25,000 ha, 300 km al este de Villavicencio, Meta) y de sus alrededores, en suelos relativamente más fértiles (suelos arcillosos) y más pobres (suelos arenosos);
- los municipios de Puerto López y Puerto Gaitán (120 km al este de Villavicencio), que comprenden zonas de Altillanura plana, de Altillanura ondulada (al sur de la anterior) y de la Serranía formada por la erosión y la acción de los ríos.

Estas formaciones corresponden, respectivamente, a los sistemas de

tierras número 201, 204 y 203 de Cochrane et al. (1985). La región considerada tiene una superficie cercana a los 2500 km².

Las actividades de investigación de la productividad y la calidad de las especies y de la vegetación, de los sistemas de producción y del uso de la tierra fueron realizadas en el CIA de Carimagua en suelos relativamente fértiles (arcillo-limosos o arcillo-arenosos) y en suelos pobres (arenosos).

Metodologías aplicadas e instrumentos

Las metodologías empleadas generalmente en estos estudios de pastos —o sea, inventarios, productividad, dinámica, valor alimenticio— fueron las utilizadas por el CIRAD-EMVT (Boudet 1991; Daget y Godron 1995), en particular, la metodología fitosociológica de Braun-Blanquet (Guinochet 1973) y la de los “puntos cuadrados alineados” para los estudios de la dinámica de la vegetación (Daget y Poissonet 1991).

Para los estudios de uso de la tierra se utilizaron los Sistemas de Información Geográfica (SIG), en particular los datos del satélite europeo SPOT HRV (Girard y Girard 1989; Girard y Rippstein 1994).

Situación Actual del Proyecto

El proyecto llegó a su fin en 1997. Los estudios de campo terminaron en 1996 y la fase actual es el análisis de los datos y la publicación de los resultados.

Durante el taller regional Agrociencia y Tecnología Siglo XXI: Orinoquia Colombiana, reunido en Villavicencio (Meta) en noviembre de 1996, se presentaron los siguientes resultados:

- información parcial sobre el inventario de la vegetación y su diversidad;
- parte de los estudios sobre la dinámica de la vegetación manejada con quemaz; y
- influencia del pastoreo y de diferentes cargas en los pastos, y otras formas de manejo de la sabana.

Se presentan también resultados sobre la productividad de los diferentes sistemas de manejo de los pastos nativos. La mayor parte de esta información se publica en este libro. Algunos resultados aparecieron en revistas, reuniones científicas y en tesis de estudiantes.

Futuro de la Investigación en la Sabana Nativa

La descripción detallada de la vegetación (inventarios, dinámica, tipología) y las metodologías desarrolladas pueden ser aplicadas a otras zonas de los Llanos Orientales y a otras sabanas. Hay que pasar del nivel localizado al nivel más amplio (por ejemplo, la cuenca, el municipio, toda la Serranía o toda la Altillanura mal drenada) para que estos resultados sirvan a los productores, a los servicios de desarrollo del departamento o a los de transferencia de tecnología de los municipios o los departamentos.

Ideas para proyectos futuros

- Los pastos nativos estarán siempre presentes en las fincas de los Llanos Orientales, especialmente en las zonas no arables: Serranía, Altillanura mal drenada y Bajos. Se sugiere investigar, por tanto, en las fincas, la integración de esos pastos en su sistema forrajero y en sus sistemas de producción, es

decir, con los pastos mejorados y con cultivos como el arroz y el maíz. Se han hecho ya varios de estos experimentos en el CIA Carimagua (Fisher et al. 1992) y en la Altillanura plana (formación 201), pero se carece de información sobre otros sistemas de tierras más extensos y, posiblemente, más frágiles.

- Esta iniciativa implica la evaluación de la productividad de los pastos y de los animales, y el cálculo de los efectos de esa integración en la biodiversidad, tanto de la flora como de la fauna; hay efectos en la biología de los suelos que ya han sido documentados por Decaëns et al. (1994). Es necesario, además, desarrollar modelos y programas geo-referenciados que ayuden a los productores a tomar decisiones.
- Identificar e investigar sitios particularmente ricos en especies vegetales y animales que deban ser protegidas. Definir la tipología ecológica y el uso actual y potencial de las tierras a nivel regional. Producir mapas que muestren la diversidad de la vegetación y de los suelos, en los que puedan identificarse las siguientes clases de tierras: las más favorables, para desarrollar cultivos; las menos favorables agrícolaemente, para la producción animal; las más pobres, para mantenerlas con bosque; y las que sean ricas en biodiversidad, para dedicarlas a reserva natural.
- Esta investigación debe realizarse con la ayuda de los SIG y de indicadores ecológicos (especies indicadoras, por ejemplo) que es preciso desarrollar.
- Determinar el grado de vigor del ecosistema de los Llanos

Orientales y la medida en que se le aplican el concepto de los nuevos sistemas 'complejos' y el modelo de 'estado y transición', haciendo una comparación con los conceptos clásicos de sucesión.

- Hacer una descripción y un análisis cuantitativo de las funciones ecológica y económica de la sabana y de los bosques de galería, es decir, considerar las reservas de biodiversidad, la protección contra la erosión y las inundaciones, la explotación de las especies maderables o aptas para cercas y otros aspectos similares.
- Establecer sistemas de observación continua, por ejemplo, el seguimiento ('monitoreo') por imágenes de satélite, de la dinámica tanto del uso de la tierra como de la degradación de la vegetación y de los suelos (erosión); estos sistemas ayudarán a tomar decisiones políticas sobre el uso de los recursos de tierras.
- Hacer estudios ecológicos básicos de los Bajos y de las zonas mal drenadas, es decir, la zona periforestal, al sur de río Meta, y la Altillanura mal drenada, al norte de dicho río. Esta investigación contemplaría el inventario botánico (tipología y mapa de la vegetación), el estudio de los suelos y el mapa respectivo, el régimen hídrico, las condiciones climáticas y otros factores.
- Evaluar, en colaboración con investigadores de Venezuela, las consecuencias ambientales y socioeconómicas de los cambios significativos en el uso de la tierra que ocurran a lo largo de la cuenca del río Orinoco. En esta investigación se desarrollarían modelos que permitirán simular diferentes escenarios de desarrollo.

Conclusiones

El estudio de la sabana de los Llanos Orientales continuará. Sin embargo, el CIAT no diseñará un proyecto exclusivo para este estudio.

Otras instituciones, como CORPOICA, deberían asumir un papel más protagónico y de larga duración en esta investigación. Podrían preparar un proyecto con ese fin y gestionar su financiación ante una organización gubernamental, solicitando la participación de las universidades colombianas, del CIAT y de organizaciones de otros países; en Francia y en Venezuela, por ejemplo, hay ecólogos reconocidos internacionalmente.

Bibliografía

- Boudet G. 1991. Pâturages tropicaux et cultures fourragères. 4a. ed. En: CIRAD-EMVT. Manuels et précis d'élevage no. 4. La documentation française, París, Francia. 266 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1974. Informe anual. Cali, Colombia. p.v.
- Cochrane T. T.; Sánchez L. G.; Porras J. A.; de Azevedo L. G.; Garver C. L. 1985. La tierra en América tropical. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Cali, Colombia. 444 p.
- Daget P.; Godron M. (eds.). 1995. Pastoralisme: Troupeaux, espaces et sociétés. Universités Francophones, Hatier-au-Pelf, UREF, París, Francia. 510 p.
- Daget P.; Poissonet J. 1991. Prairies permanentes et pâturages: Méthodes d'étude. Institut de Botanique, Montpellier, Francia. 353 p.
- Decaëns T.; Lavelle P.; Jiménez J. J.; Escobar G.; Rippstein G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the eastern Llanos of Colombia. Eur. J. Soil Biol. 30(4):157-168.
- Fisher M. J.; Lascano C. E.; Vera R. R.; Rippstein G. 1992. Integrating the native savanna resource with improved pastures. En: Pastures for the tropical lowlands: CIAT's contribution. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 75-100.
- Girard M. C.; Girard C. M. 1989. Télédétection appliquée; zones tempérées et intertropicales. Masson, París, Francia. 260 p.
- Girard M.; Rippstein G. 1994. Utilisation de données SPOT HRV pour la cartographie de savannes et pâturages dans les Llanos de Colombie. En: Société Française de Photogrammétrie et Télédétection. Boletín no. 133. p. 11-19 y 47-48.
- Guinochet M. 1973. Phytosociologie. Masson, París, Francia. 227 p.
- Smith J.; Cadavid J. V.; Rincón A.; Vera, R. Land speculation and intensification at the frontier: Aseeming paradox in the Colombian savanna. Agriculture Systems. (En impresión.)

Apéndice

APÉNDICE 1

Claves Sinópticas Ilustradas para Identificar Especies de Gramíneas Comunes en la Altilanura de los Llanos Orientales de Colombia

G. Escobar* y G. Rippstein**

A. Descripción y Manejo

Para estudiar la composición botánica y la dinámica de la vegetación de la sabana nativa (sabana alta o Altilanura) es necesario conocer las especies nativas en su estado vegetativo, ya que éstas, generalmente, no presentan floración por tres razones principales: la dinámica de su fenología, las quemas y el manejo de la sabana con animales.

Para determinar el género y la especie de una gramínea, los especialistas emplean, como unidad taxonómica básica, la variación morfológica de las espículas, las cuales son, muchas veces, microscópicas y difíciles de observar. Las Claves Sinópticas Ilustradas (CSI) que aquí presentamos se basan, en cambio, en caracteres morfológicos de fácil observación en las gramíneas nativas halladas principalmente en las sabanas del departamento del Meta, Colombia. Estas claves se desarrollaron a partir

de la experiencia adquirida por los autores en el Centro de Investigación Agropecuaria (CI) Carimagua, situado en Meta, Colombia, y son un complemento de la Clave Estribada publicada por Escobar et al. (1993).

La principal ventaja de las CSI es que permiten “entrar” en sus tablas por las características vegetativas más evidentes de cada especie. En las gramíneas (poáceas), varias de esas características son importantes (ver **B. Características...**, Cuadro B1), aunque sólo se utilizarán algunas de ellas en las CSI.

Estructuras morfológicas determinantes

Tallos

El tallo sostiene la planta poácea y define el hábito de crecimiento de la especie a que ésta pertenece (ver **B. Características...**, Cuadro B2). Se compone de segmentos denominados entrenudos que están delimitados por los nudos. Tiene consistencia herbácea o leñosa y puede ser hueco o macizo, erguido o postrado y de tamaño variable.

Las poáceas (gramíneas) tienen tallos aéreos y subterráneos. Los

* Biólogo, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia.

** Agrónomo/Ecólogo, Programa del Trópico Bajo (antiguo), CIAT, Cali, Colombia/Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement - Département d'élevage et de médecine vétérinaire tropicale (CIRAD-EMVT), Montpellier, France.

primeros pueden ser erectos, decumbentes o rastreros. Los tallos decumbentes crecen 'recostados' sobre el suelo y pueden enraizar a partir de los nudos inferiores. Los tallos rastreros crecen en forma horizontal sobre el suelo y, como los decumbentes, pueden emitir raíces en los nudos. La planta que se desarrolle en un nudo enraizado se denomina estolón. Los tallos subterráneos pueden ser rizomas, tubérculos o bulbos.

Hojas

Las hojas de las poáceas tienen, por lo regular, tres áreas principales (ver **B. Características**, Cuadro B2, y **D. Clave 2**):

Vaina. Es la parte de la hoja que se inserta en el nudo y que rodea el tallo, en forma más o menos estrecha, uniéndose a él. Puede ser cilíndrica, aplanada o aquillada. Sus márgenes pueden parecer sobrepuestos (vaina abierta) o juntos (vaina hendida) o pueden estar unidos formando entonces una vaina entera o cerrada.

Lígula. Es un ápice membranoso o piloso que se halla entre la vaina y la lámina, en la cara superior o haz de la hoja.

Lámina. Es la superficie libre de la hoja. Normalmente es lineal y acintada en las poáceas, aunque muchas veces hay variaciones de esa forma. Es paralelinervia según la disposición de la nervadura. Presenta una cara superior (el haz) y una inferior (el envés).

Las hojas de las poáceas pueden presentar otras estructuras que permiten caracterizar muchas especies. Son las siguientes:

Aurículas. Estas estructuras aparecen en las hojas en forma de apéndice o de dilatación situada frecuentemente en la base de la lámina o en la parte distal de la vaina.

Cuello o cordón ondulado. En la zona donde la vaina se funde con la lámina foliar se observan, en el envés de ésta, una coloración de matiz diferente del entorno y una vellosidad: constituyen el cuello de la vaina. En algunos casos (*Homolepis aturensis*), el cuello presenta además (por el envés de la lámina) una pequeña estructura semicircular membranácea o pilosa.

Indicaciones para el manejo de las claves sinópticas ilustradas

Las CSI presentan gráficamente, como su nombre lo indica, las estructuras vegetales que les sirven de elementos identificadores. Para facilitar más su manejo, la Clave 1 (ver **C. Clave 1**) divide las poáceas en cinco grupos según dos características: la presencia o ausencia de indumento o pilosidad en la lámina foliar (haz, envés y márgenes) y en la vaina, y la forma de esta última (cilíndrica, comprimida o aplanada). El proceso de identificación tiene tres pasos:

- **Primer paso:** reconocer las principales características morfológicas de esa especie (ver **B. Características**, Cuadros B1 y B2).
- **Segundo paso:** definir el grupo al cual pertenece la especie de poácea (sección **C. Clave 1**).
- **Tercer paso:** entrar en la tabla que contiene la clave principal del grupo (ver **D. Clave 2**) para identificar —aplicando por contraste las demás características allí consideradas— el ejemplar que se estudia. Este se identificará, al final, como una de las 31 especies presentes en la Clave 2, que son las más comunes en la Altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia.

Cuando no hay un interés particular en conocer todas las

características morfológicas de la especie en cuestión, puede obviarse el primer paso. El grupo elegido en **B.** conduce directamente a las tablas de la sección **D.**, donde están las características más específicas del ejemplar que se desea identificar.

La presencia o ausencia de pilosidad en las hojas es importante para la identificación de una especie. Ahora bien, la pilosidad puede variar con el estado del desarrollo de la planta; por ejemplo, parte de la pilosidad puede perderse por la edad, en las hojas viejas, o también por el estrés que causa la sequía, en hojas viejas y jóvenes. La Clave 2 repite, además de las 31 especies clasificadas,

seis especies que pueden manifestar esta variación; están marcadas con un (*).

Con ayuda de las claves y por apreciación visual, es posible diferenciar varias especies según las siguientes características: la relación entre la longitud y la anchura de las hojas, la orientación de los vellos en las estructuras pilosas, y las características de los márgenes de las hojas.

El Cuadro B2 plegable (p. 253) ilustra las características usadas para identificar las poáceas; sirve también para entrar en la CSI 2 (ver **D. Clave 2**).

B. Características Usadas para Identificar las Poáceas

Características morfológicas

Las características morfológicas generales y el hábitat se usan para identificar especies de poáceas. Una descripción de estas características y las estructuras vegetales relacionadas con ellas se presentan en el Cuadro B1.

Hábito de crecimiento

El hábito de crecimiento es una característica importante para identificar especímenes de poáceas (gramíneas). El Cuadro B3 (p. 255) presenta ocho hábitos de crecimiento de especies de poáceas que crecen en la sabana nativa de los Llanos Orientales, y sirve también de ayuda para entrar en la clave sinóptica principal, CSI 2.

Cuadro B1. Características de las poáceas (gramíneas).

Características	Descripción
Hábitat:	<ul style="list-style-type: none"> - Arenoso, arcilloso o de arrecife (Altillanura, Serranía) - Altos (bancos), bajos o zonas con pendiente - Zona húmeda o seca - Zona abierta o sombreada
Hábito de crecimiento:	(ver Cuadro B2)
Ciclo de vida:	Anual, bianual o perenne
ECE^a:	Raíz principal; rizoma, estolón, nudo radicante


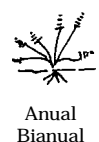





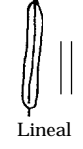




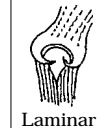












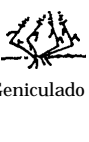
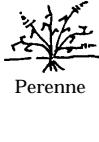
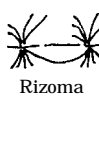




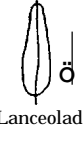

















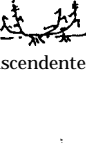
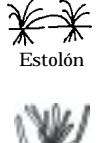



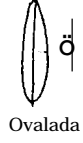

















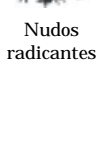
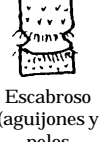













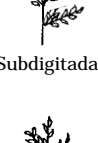


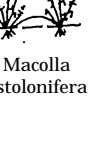
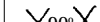





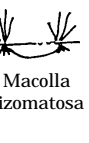
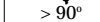



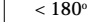



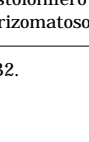

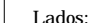


(Continúa)

Cuadro B1. (Continuación).

Características	Descripción
Culmo (tallo):	Liso, escabroso (con pelos retrorsos, con aguijones retrorsos)
- Según forma:	Cilíndrico, comprimido, aplanado
- Nudos del tallo:	Glabros claros, glabros oscuros, pubescentes (pilosos), geniculados, volubles
Lámina foliar:	
- Según forma:	Lineal, lanceolada, ovalada, rómbica
- Según perfil:	Expandida (plana), ondulada, corrugada, plegada en V (ángulos desde 45° hasta < 180° y con lados rectos o encurvados), plegada en U, enrollada, convoluta, involuta, carinada
- Según ápice:	Acuminada, aristada, redondeada, aquillada, truncada, acicular
- Según base:	Cordada, angosta, auriculada
- Según rel. V/L^b:	V > L, V = L, V < L
- Según haz:	Glabra, pilosa, escabrosa
- Según envés:	Glabra, pilosa, escabrosa
- Según margen:	Pubescente, escabrosa, lisa, lisa doble, escabroso-pilosa
- Según PRO^c:	Basal, caulinar
- Según PRT^d:	Erecta, divergente, reflexa
Vaina:	
- Según forma:	Cilíndrica, comprimida, aplanada
- Según envés:	Glabra, pilosa, escabrosa
- Según AM^e:	Abierta, en V, cerrada, superpuesta
- Según dorso:	Lisa (simple), carinada
Cuello:	Ausente, vestigial, pronunciado
Aurículas:	Laminares, de la vaina
Lígula:	
- Según tipo:	Ciliada (pilosa), de cilios cortos, membranosa (simple, ciliada, franjeada o truncada, con corona de pelos largos)
- Según forma:	Triangular, cimbiforme (aquillada), ovada, oblonga (transversalmente angosta), con mechones laterales de pelos
Sinflorescencia:	
- Según ejes:	Solitaria, conjugada (pareada), digitada, subdigitada, racemosa
- Según espícula:	Sésil, pedicelada, lisa, pilosa, aristada, triaristada, alada
- Según UE^f:	Espiga (esp. sésil), racimo (esp. pedicelada), seudoespiga (esp. sésiles y pediceladas), panícula laxa (abierta, pedicelada), panícula contraída





- a. ECE = estructura caulinar enraizante.
- b. V/L = relación vaina/lámina.
- c. PRO = posición o disposición de la lámina (hoja) respecto al origen.
- d. PRT = posición o disposición de la lámina (hoja) respecto al tallo.
- e. AM = abertura del margen.
- f. UE = unión de la espícula (al raquis); esp. = espícula. (Panícula = panoja).

Cuadro B2. Ilustración de las características morfológicas de las poáceas (gramíneas), que se emplean para identificar especies de esa familia en la segunda Clave Sinóptica Ilustrada, CSI 2.

Hábitat	Hábito de crecimiento ^a	Forma de vida	Raíz y estructura caular	Culmo (Tallo)		Disposición de las hojas		Lámina de la hoja							Vaina				Lígula		Sinflorescencia					
				Forma	Nudos	Respecto al origen	Respecto al tallo	Forma	Perfil	Base	Apice	Relación vaina-lámina	Aurículas	Cuello	Haz	Envés	Margen	Forma	Envés	Margen (Abertura)	Dorso	Tipo	Forma	Ejes (no.)	Según disposición espículas	Espícula
Arenoso	 Erecto	 Anual Bianual	 Raíz principal		 Glabro claro	 Basales	 Erecta	 Lineal	 Plano	 Cordada	 Acuminado	 V > L	 Laminar	Ausente	 Glabro	 Glabro	 Pubescente	 Cilíndrica	 Glabro	 Abierto	 Liso (simple)	 Ciliada (pilosa)	 Triangular	 Solitaria	 Espiga (esp. sécil)	 Sésil
Arcilloso	 Geniculado	 Perenne	 Rizoma		 Glabro oscuro	 Caulinares	 Divergente	 Lanceolada	 Ondulado	 Angosta	 Aristado	 V = L	 De la vaina	Vestigial	 Piloso	 Piloso	 Escabroso	 Comprimida	 Piloso	 En V	 Carinado	 De cilios cortos	 Cimbiforme (aquillada)	 Conjugada (pareada)	 Racimo (pedicelada)	 Pedicelada
Altos (Banco)	 Ascendente		 Estolón		 Pubescente		 Reflexa	 Ovalada	 Plegado	 Auriculada	 Redondeado	 V < L	 Pronunciado (por el haz)	 Escabroso	 Escabroso	 Liso	 Aplanada	 Escabroso	 Cerrado	 Membranosa	 Ovada	 Digitada	 Seudoespiga	 Lisa		
Bajos	 Postrado		 Nudos radicantes		 Escabroso (agujones y pelos retrorsos)				 En V		 Aquillado						 Liso doble		 Superpuesto	 Membranosa ciliada	 Oblonga	 Subdigitada	 Panoja laxa (abierta)	 Pilosa		
Pendiente	 Macolla								 En V 45°											 Membranosa ciliada	 Oblonga	 Subdigitada	 Panoja laxa (abierta)	 Pilosa		
Zonas húmedas	 Macolla estolonifera								 En V 90°												 Membranosa franjeada (truncada)	 Con mechón lateral	 Racemosa	 Panoja contraída	 Aristada	
Zonas secas	 Macolla rizomatosa								 En V > 90°												 Con corona (pelos largos, detrás)			 Triaristada		
Abierto	 Macolla rizomatosa								 En V < 180°		 Acicular						 Escabroso piloso							 Alada		
Sombreado	 Cespitoso: estolonifero o rizomatoso								 En U																	
									 Enrolladas:																	
									 Convolutas																	
									 Involutas																	

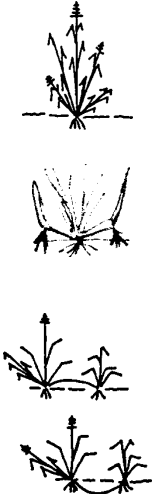
a. Ver Cuadro B2.

Cuadro B3. Hábitos de crecimiento de las poáceas y su asociación con las características morfológicas y la frecuencia de floración de esa familia.

Hábito	Ilustración	Se observa en especies con:	
		Características	Floración ^a
1 Erecto		Poáceas (gramíneas) de un solo culmo, generalmente ortogonal y erguido desde el sustrato. Dominancia apical completa. No emiten ramas laterales vegetativas.	Monocárpicas
2 Geniculado		Poáceas (gramíneas) homocaulales de varios culmos. Con ramas extravaginales dobladas en la base.	Monocárpicas
3 Decumbente (Ascendente)		Poáceas (gramíneas) homocaulales o heterocaulales de varios culmos. El culmo principal o las ramas extravaginales se apoyan en las plantas adyacentes.	Monocárpicas o Policárpicas
4 Postrado		Poáceas (gramíneas) homocaulales o heterocaulales de varios culmos. Tiene ramas intravaginales o extravaginales más o menos adheridas al sustrato.	Monocárpicas o Policárpicas




(Continúa)

Cuadro B3. (Continuación).

Hábito	Ilustración	Se observa en especies con:	
		Características	Floración ^a
5 En macollas Subtipos: <ul style="list-style-type: none"> • Macolla homocaula <ul style="list-style-type: none"> - simple - con nudos radicantes • Macolla heterocaula <ul style="list-style-type: none"> - estolonífera - rizomatosa 		<p>Poáceas (gramíneas) homocaulas o heterocaulas con numerosas ramas intravaginales y, a veces, también ramas extravaginales.</p> <p>Porte más o menos erecto formando un conjunto denso y homogéneo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Constituida por culmos. <ul style="list-style-type: none"> - emite solamente culmos; - tiene nudos radicantes: los nudos enraizan pero no forman plantas independientes (si lo hicieran serían parte de estolones). Ej., <i>Paspalum plicatulum</i>. • Constituida por culmos y estolones o rizomas. <ul style="list-style-type: none"> - emite estolones (al menos, temporalmente). - emite rizomas (al menos, ocasionalmente). 	Policárpicas

(Continúa)

Cuadro B3. (Continuación).

Hábito	Ilustración	Se observa en especies con:	
		Características	Floración ^a
6 Cespitoso		<p>Poáceas (gramíneas) hetero-caules de culmos herbáceos que tienen generalmente poca altura y rematan en una <i>sinflorescencia</i>.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los céspedes estoloníferos presentan estolones y culmos. - Los céspedes rizomatosos tienen rizomas y culmos. 	Policárpicas
7 Arundinoideo		<p>Poáceas (gramíneas) bambusiformes hetero-caules y arborescentes.</p> <p>Presenta rizomas leptomórficos y culmos leñosos o semileñosos no ramificados.</p>	Policárpicas
8 Bambusoideo		<p>Poáceas (gramíneas) bambusiformes hetero-caules y arborescentes.</p> <p>Presenta rizomas paquimórficos y culmos leñosos o semileñosos claramente ramificados.</p>	Monocárpicas o Policárpicas

- a. La frecuencia de la floración y la fructificación (florecen una o más veces durante su ciclo de vida) de las especies establece una de dos categorías: monocárpica = florece una vez y muere (especies anuales, bienales y algunas perennes); policárpica = florece varias veces y no muere después de fructificar la primera vez (especies perennes y las provistas de rizomas, bulbos o tubérculos).

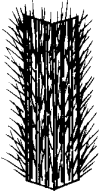




FUENTE: Adaptado de Fariñas 1986.

C. Clave 1: Ubicación de la Especie en Grupo de Pilosidad Foliar

La presencia (= estructura pilosa) o la ausencia (= estructura glabra) de pilosidad o indumento en la hoja y en su vaina permiten ubicar una especie nativa de la Altilanura plana del CI Carimagua en uno de los cinco grupos


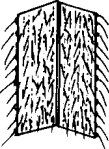
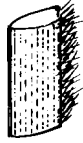
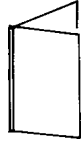


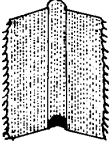



de poáceas que contiene esta Clave Sinóptica Ilustrada (CSI 1). Cada grupo se subdivide en dos o tres subgrupos según la forma de la vaina (cilíndrica, comprimida o aplanada).

Clave 1. Grupos de especies nativas según la pilosidad (presencia o ausencia) de la hoja (haz, envés y vaina) y según la forma de la vaina (cilíndrica, comprimida o aplanada).^a


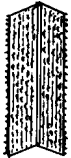


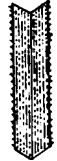
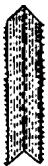
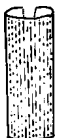
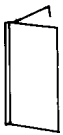
Grupo	Lámina de la hoja		Vaina	Especies pertenecientes
	Haz	Envés		
<p>1</p> <p>Haz piloso + Envés piloso + Vaina pilosa</p>			 Cilíndrica	<i>Trachypogon vestitus</i> <i>Panicum rudgei</i> <i>Paspalum pectinatum</i> <i>Paspalum carinatum</i> <i>Paspalum contractum</i> <i>Leptocoryphium lanatum</i>
			 Comprimida	<i>Paspalum convexum</i> <i>Mesosetum loliiforme</i> <i>Paspalum clavuliferum</i> <i>Thrasya petrosa</i> <i>Axonopus aureus</i> <i>Elyonorus candidus</i>
			 Aplanada	<i>Andropogon leucostachyus</i> <i>Axonopus chrysolepharis</i>

(Continúa)

Clave 1. (Continuación).

Grupo	Lámina de la hoja		Vaina	Especies pertenecientes
	Haz	Envés		
<p>2</p> <p>Haz piloso + Envés piloso + Vaina glabra</p>			 Comprimida	<i>Homolepis aturensis</i>
			 Aplanada	<i>Axonopus purpusii</i>
			 Cilíndrica	<i>Leptocoryphium lanatum</i>
<p>3</p> <p>Haz piloso + Envés glabro + Vaina glabra</p>			 Cilíndrica	<i>Aristida riparia</i> <i>Imperata brasiliensis</i> <i>Panicum campestre</i>
			 Comprimida	<i>Paspalum plicatulum</i>
			 Aplanada	<i>Setaria geniculata</i> <i>Aristida capillacea</i>

Clave 1. (Continuación).

Grupo	Lámina de la hoja		Vaina	Especies pertenecientes
	Haz	Envés		
<p>4</p> <p>Haz glabro + Envés glabro + Vaina pilosa</p>			 Aplanada	<i>Andropogon leucostachyus</i>
			 Comprimida	<i>Homolepis aturensis</i> <i>Otachyrium versicolor</i>
<p>5</p> <p>Haz glabro + Envés glabro + Vaina glabra</p>			 Cilíndrica	<i>Trachypogon plumosus</i> <i>Andropogon bicornis</i> <i>Panicum laxum</i> <i>Sporobolus indicus</i> <i>Eragrostis maypurensis</i>
			 Aplanada	<i>Axonopus purpusii</i> <i>Axonopus chrysoblepharis</i> <i>Paspalum conjugatum</i> <i>Setaria geniculata</i> <i>Andropogon selloanus</i> <i>Schizachyrium hirtiflorum</i>






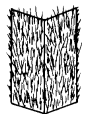














a. Los dibujos corresponden a una sola de las especies contenidas en cada grupo. Son un ejemplo representativo de las características consideradas y no se aplican *exactamente*, como se ven aquí, a todas las especies del grupo (ver la Clave 2).

D. Clave 2: Características Vegetativas Agrupadas para Identificar Especies de Poáceas

Se escogió la pilosidad de la hoja (haz y envés) y de la vaina de las poáceas (gramíneas) para entrar en las cinco tablas (ver **C. Clave 1**) en que se ha dividido esta segunda Clave Sinóptica Ilustrada, CSI 2. Estas y otras características elegidas conducen a la identificación, al final de las tablas, de


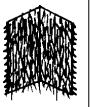



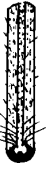


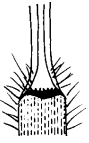





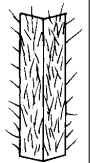
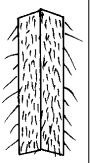



las 31 especies de poáceas consideradas en esta clave y a su clasificación en los cinco grupos antes mencionados. Una descripción ilustrada de las características sobresalientes de las poáceas se aprecia en la sección **B. Características** (p. 251).

Tabla 1. Hoja con haz y envés pilosos; vaina pilosa. Identifica 14 especies de poáceas de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia y las reúne en el Grupo 1 (ver C. Clave 1).

Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
				Glabros claros	En macolla (a veces rizomatosa)	Basales y caulinares	<ul style="list-style-type: none"> - Lineales o rómbicas (o ambas) - Planas - Finamente acuminadas 	)↔('Paja peluda'	<i>Trachypogon vestitus</i>
				Glabros claros	En macolla	Caulinares	<ul style="list-style-type: none"> - Ovaladas (estrechas) o truladas - Planas - Acuminadas 	Vaina hispida, punzante al tacto.	<i>Panicum rudgei</i>
					En macolla	Basales	<ul style="list-style-type: none"> - Lineales u ovaladas - Planas u onduladas - Acuminadas 	)↔(<i>Paspalum pectinatum</i>
				Ligeramente glabros o ligeramente pilosos	En macolla	Basales	<ul style="list-style-type: none"> - Lineal-lanceoladas -  - Acuminadas 		<i>Paspalum carinatum</i>

(Continúa)

Tabla 1. (Continuación).

Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
		 (mitad puede ser glabra)			En macolla	Caulinares	<ul style="list-style-type: none"> - Lineales u ovaladas - Planas u onduladas - Acuminadas 	Pilosidad abundante. Aspecto grisáceo.	<i>Paspalum contractum</i>
					En macolla	Basales	<ul style="list-style-type: none"> - Lineales a lanceoladas (estrechas) - Involutas - Aciculares 	Hojas filiformes y muy fuertes. (Ver Grupo 2)	<i>Leptocoryphium lanatum</i>
				Glabros claros 	En macolla (macolla rizomatosa)	Basales y caulinares	<ul style="list-style-type: none"> - Lineal-lanceoladas - Planas - Acuminadas 	Pilosidad abundante, blanca, larga y suave. Forma manchones.	<i>Paspalum convexum</i>
					Postrada (Ascendente) Estolonifera Nudos radicantes	Basales y caulinares	<ul style="list-style-type: none"> - Ovaladas - Expandidas o plegadas en 'V' - Acuminadas 	Rastrera, forma manchones. 'Colchón de pobre'	<i>Mesosetum loliiforme</i>

(Continúa)

Tabla 1. (Continuación).

Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
				Pilosos o pubescentes 	En macolla	Basales (muy cortas)	- Lineales - Planas - Acuminadas (aquilladas)	Anual. Lámina pilosa, suave, blanca y brillante. Lígula (de café a morada).	<i>Paspalum clavuliferum</i>
			 1-3 mm	Pilosidad (blanca y brillante) 	En macolla	Caulinares	- Lineales u ovaladas - Planas o plegadas en 'V' - Aciculares	Lámina, a veces, con manchas. Nervio central destacado. Lígula color café. Inflorescencia en hoz al secarse.	<i>Thrasya petrosa</i>
			 < 1 mm	Pilosidad color café Base de lámina cordata	En macolla Rizomas cortos.	Caulinares	- Lineales o lanceoladas - Planas o plegadas en 'V' - Acuminadas	Forma manchones. Sinflorescencia dorada (similar a <i>A. chrysoblepharis</i>).	<i>Axonopus aureus</i>
			 < 1 mm		En macolla	Basales	- Lineales - Planas - Acuminadas (aquilladas) 	Parecida a <i>A. leucostachyus</i> , pero con hojas mentoladas e inflorescencia solitaria (1 eje).	<i>Elyonorus candidus</i>

(Continúa)

Tabla 1. (Continuación).



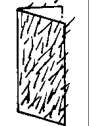


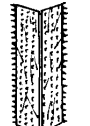
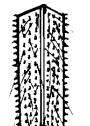


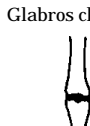

Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
			< 1 mm 		Ascendente Rizomas cortos	Caulinares	- Ovaladas - Planas o plegadas en 'V' - Acuminadas	Forma manchones. Sinflorescencia dorada. Hojas más anchas que <i>A. aureus</i> . (Ver Grupo 5)	<i>Axonopus chrysoblepharis</i>
			≤ 1 mm 	Glabros claros 	En macolla	Basales	- Lineal-lanceoladas - Planas o plegadas en 'V' - Acuminadas (aquilladas) 	Pilosidad de la lámina larga y algodonosa. Lígula con haz de vellos. Inflorescencia blanca y algodonosa. (Ver Grupo 4)	<i>Andropogon leucostachyus</i>

Tabla 2. Hoja con haz y envés pilosos; vaina glabra. Identifica 3 especies de poáceas de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia y las reúne en el Grupo 2 (ver C. Clave 1).

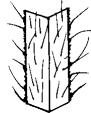
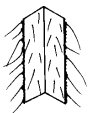
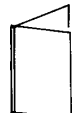




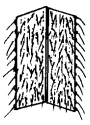
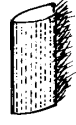

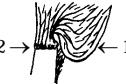
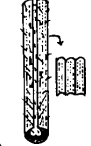
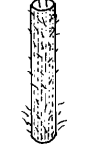
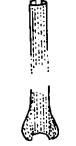










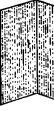






Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
					En macolla	Basales y caulinares	- Lineales o lanceoladas - Plegadas en 'V' - Redondeadas 	Vaina y lámina carinadas. En suelos compactos. (Ver Grupo 5) 	<i>Axonopus purpusii</i> *
				Glabros, lisos	Postrada (Ascendente) Estolonífera Nudos radicantes	Basales y caulinares	- Oval-lanceoladas - Planas o plegadas en 'V' - Acuminadas	 1. Aurículas laminares. 2. Cordón ondulado. (Ver Grupo 4)	<i>Homolepis aturensis</i> *
					En macolla	Basales	- Lineales (estrechas) a lanceoladas - Involutas - Aciculares	Hojas filiformes muy fuertes. (Ver Grupo 1)	<i>Leptocoryphium lanatum</i> *

Tabla 3. Hoja con haz piloso y envés glabro; vaina glabra. Identifica 6 especies de poáceas de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia y las reúne en el Grupo 3 (ver C. Clave 1).

Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
				Glabros, lisos	En macolla	Basales y caulinares	<ul style="list-style-type: none"> - Lineales o lanceoladas (o ambas) - Planas - Aciculares 	Borde de lámina engrosado en el envés. Vaina más ancha que la lámina. Parece auriculada.	<i>Aristida riparia</i>
					En macolla (macolla muy rizomatosa)	Basales	<ul style="list-style-type: none"> - Lineales, lanceoladas u ovaladas - Plegadas en 'V', planas o convolutas - Acuminadas 	Lígula color café. Vaina carinada. Rizomas muy largos formando manchones. Pilosidad suave.	<i>Imperata brasiliensis</i>
				Glabros, lisos	En macolla Rizomas cortos	Basales y caulinares	<ul style="list-style-type: none"> - Lanceoladas - Planas - Aquilladas (aculeadas) 	Inflorescencia terminal en panícula abierta muy grande.	<i>Panicum campestre</i>
				Glabros	En macolla Nudos radicantes	Basales y caulinares	<ul style="list-style-type: none"> - Lineal-lanceoladas - Planas - Aquilladas (escabrosas) 	Hojas glabras o pilosas. Conocido como 'Pasto negro'	<i>Paspalum plicatulum</i>

(Continúa)

Tabla 3. (Continuación).

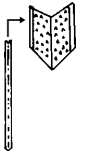




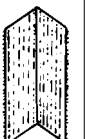


Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
			< 1 mm 	Glabros	En macolla (macollas de porte bajo)	Basales y caulinares	- Lineal-lanceoladas - Plegadas en 'V' - Aciculares o aquilladas (escabrosas)	Anual (de época seca). 'Paja navidad' 'Paja pesebre'	<i>Aristida capillacea</i>
				Glabros, color café	En macolla (geniculada)	Basales y caulinares	- Ovaladas - Planas - Aquilladas (escabrosas)	Sinflorescencia en forma de cepillo para limpiar frascos. Maleza de cultivos. (Ver Grupo 5)	<i>Setaria geniculata</i>

Tabla 4. Hoja con haz glabro y envés glabro; vaina pilosa. Identifica 3 especies de poáceas de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia y las reúne en el Grupo 4 (ver C. Clave 1).







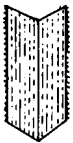

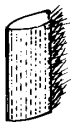

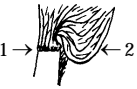

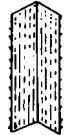

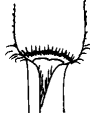

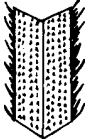

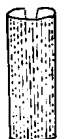

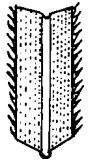
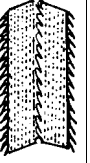



















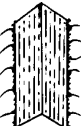



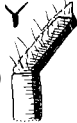
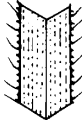
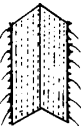








Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
			 ≤ 1 mm	Glabros 	En macolla	Basales	- Lineal-lanceoladas - Planas o en 'V' - Acuminadas (aquilladas) 	Parecida a <i>E. candidus</i> , pero la inflorescencia con más de 4 ejes. Aspecto sedoso. (Ver Grupo 1)	<i>Andropogon leucostachyus</i> *
				Glabros	Postrado (Ascendente) Estolonífero Nudos radicantes.	Basales y caulinares	- Ovaladas o lanceoladas - Planas o plegadas en 'V' - Acuminadas	1. Cordón ondulado. 2. Lámina auriculada. (Ver Grupo 2) 	<i>Homolepis aturensis</i> *
				Glabros	En macolla Rizoma corto.	Caulinares	- Lanceoladas u ovaladas - Planas o plegadas en 'V' - Acuminadas	Base de lámina cordata y desigual.  Vaina glabrescente	<i>Otachyrium versicolor</i>

Tabla 5. Hoja con haz glabro y envés glabro; vaina glabra. Identifica 11 especies de poáceas de la sabana nativa de los Llanos Orientales de Colombia y las reúne en el Grupo 5 (ver C. Clave 1).

Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
			> 5 mm 	Glabros	En macolla Rizomas cortos	Caulinares	- Lineal-lanceoladas - Planas - Aciculares	Común en suelos arenosos y en Serranía. Lámina escabrosa. 'Paja lisa'	<i>Trachypogon plumosus</i>
		Carinada 	1-2 mm 	Glabros 	En macollas de porte alto	Basales y caulinares	- Lineal-lanceoladas - Planas - Acuminadas	Envés con nervio central aserrado. Vaina carinada. Área ligular con corona de pelos largos hialinos. 'Rabo de zorro'	<i>Andropogon bicornis</i>
		Carinada 	< 1 mm 	Glabros	En macolla	Caulinares y basales	- Lanceoladas u ovaladas - Planas - Acuminadas	Base de la lámina cordata. Collar piloso en zona ligular. 	<i>Panicum laxum</i>
			< 1 mm 	Glabros geniculados 	En macolla	Basales y caulinares	- Lineal-lanceoladas - Plegadas en 'V' - Aciculares	Común en zonas habitadas. Difícil de cortar. 'Espartillo' o 'Cutupén'	<i>Sporobulus indicus</i>

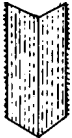
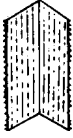










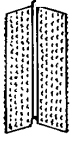





(Continúa)

Tabla 5. (Continuación).

Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie	
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b			
			< 1 mm 	Glabros, volubles 	En macolla	Basales y caulinares	- Lanceolado-ovaladas - Planas o plegadas en 'V' - Acuminadas	Anual (sólo de época seca). Base de la lámina cordata. Común en zonas de sobrepastoreo.	<i>Eragrostis maypurensis</i>	
			< 1 mm 		En macolla	Basales y caulinares	- Lineal-lanceoladas - Plegadas en 'V' - Redondeadas 	Común en suelos compactados. Lámina y vaina carinadas. (Ver Grupo 2)	 *	<i>Axonopus purpusii</i>
			< 1 mm 		Ascendente Rizoma corto	Caulinares	- Ovaladas - Planas o plegadas en 'V' - Acuminadas	Forma manchones. Sinfloroscencia dorada. (Ver Grupo 1)	*	<i>Axonopus chrysolepharis</i>
			< 1 mm 	Glabros	Cespitoso Rizomas, estolones	Basales y caulinares	- Lineal-lanceoladas - Plegadas en 'V' - Acuminadas	Sinfloroscencia conjugada. Gramma (para canchas). 		<i>Paspalum conjugatum</i>

(Continúa)

Tabla 5. (Continuación).

Hoja		Vaina	Lígula ^a	Nudos	Hábito	Hojas o láminas		Rasgo específico ^c	Especie
Haz	Envés					PRO ^a	Forma, perfil, ápice ^b		
				Glabros, color café	En macolla (macolla geniculada)	Caulinares y basales	- Ovaladas - Planas - Aquilladas (escabrosas)	Sinflorescencia en forma de cepillo. Maleza de cultivos. (Ver Grupo 3)	<i>Setaria geniculata</i>
		Muy planas 	1 mm 	Glabros 	En macolla	Basales	- Lineal-lanceoladas - Planas o plegadas en 'V' - Redondeadas 	Tallos y hojas aplanados. 	<i>Andropogon selloanus</i> *
			1-2 mm 	Glabros 	En macolla	Caulinares y basales 	- Lanceoladas - Plegadas en 'V' o planas (o ambas) - Acuminadas (aquilladas) 	Tallos y hojas aplanados. Lámina y vaina carinadas. Lígula color café. 'Pasto aguja'	<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>

a. Ver Cuadro B1.

b. En cada celda de esta columna, la primera característica describe las láminas foliares según la 'forma', la segunda según el 'perfil' y la tercera según el 'ápice' de las mismas.

c. Manchón = espacio colonizado por una sola especie que desplaza a otras (= parche); cordato(a) = cordiforme.

* Se encuentran en otra tabla cuando las condiciones del medio modifican sus características básicas de clasificación.

E. Lista de Especies Contenidas en la Clave 2

Nombre científico	Descriptor	Nombre común o local
<i>Andropogon bicornis</i>	L.	Rabo de zorro
<i>Andropogon leucostachyus</i>	Kunth	
<i>Andropogon selloanus</i>	Hack	
<i>Aristida capillacea</i>	Lam.	Paja navidad, Pajita del Niño Dios
<i>Aristida riparia</i>	Trin.	
<i>Axonopus aureus</i>	Beauv.	
<i>Axonopus chrysoblepharis</i>	(Lag.) Chase	
<i>Axonopus purpusii</i>	(Mez.) Chase	Guaratara
<i>Elyonorus candidus</i>	(Trinius) Hackel	
<i>Eragrostis maypurensis</i>	Steud.	
<i>Homolepis aturensis</i>	(Kunth) Chase	Paja comino
<i>Imperata brasiliensis</i>	Trin.	Vibora, Guayacana
<i>Leptocoryphium lanatum</i>	Nees	Rabo de mula
<i>Mesosetum loliiforme</i>	(Hochst.) Chase	Colchón de pobre
<i>Otachyrium versicolor</i>	(Doell) Henrard	Pasto blanco
<i>Panicum campestre</i>	Nees	
<i>Panicum laxum</i>	Sw.	
<i>Panicum rudgei</i>	Roem. y Schulth.	Paja tigre, Paja mona
<i>Paspalum carinatum</i>	H. y B. ex Flügge	
<i>Paspalum clavuliferum</i>	Wright	
<i>Paspalum conjugatum</i>	Berg.	Gramma
<i>Paspalum contractum</i>	Flügge	
<i>Paspalum convexum</i>	Bonpl.	
<i>Paspalum pectinatum</i>	Nees	Paja de embarre
<i>Paspalum plicatulum</i>	Michx.	Pasto negro
<i>Schizachyrium hirtiflorum</i>	Nees	Pasto aguja, Puntero del llano
<i>Setaria geniculata</i>	(Lam.) Beauv.	Limpia-frascos, Gusanillo
<i>Sporobolus indicus</i>	(L.) R. Br.	Espartillo, Cutupén
<i>Thrasya petrosa</i>	(Trin.) Chase	Paja hoz
<i>Trachypogon plumosus</i>	Nees	Paja lisa, Saeta lisa
<i>Trachypogon vestitus</i>	Anders.	Paja peluda, Saeta peluda

Referencias

- Escobar E.; Belalcázar J.; Rippstein G.
1993. Clave de las principales plantas
de sabana de la Altillanura de los
Llanos Orientales en Carimagua,
Meta, Colombia. Centro Internacional
de Agricultura Tropical (CIAT), Cali,
Colombia. 92 p.
- Fariñas J. 1986. Poaceae en el Estado de
Monagas: Morfología y taxonomía.
Tesis (M.Sc.). Universidad de Oriente,
Núcleo de Monagas, Posgrado en
Agricultura Tropical, Valencia,
Venezuela. 154 p.
- Nicora G. E.; Rúgolo E. Z. 1987. Los géneros
de gramíneas de América Austral.
Editorial Hemisferio Sur, Buenos
Aires, Argentina. 611 p.

APÉNDICE 2

Plantas de la Altilanura y Serranía de los Llanos Orientales de Colombia^a

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Acanthaceae <i>Blechum</i> sp. <i>Justicia polygonoides</i> H.B.K. <i>Ruellia geminiflora</i> H.B.K. <i>Teliostachya lanceolata</i> Nees	Generala.		Schnée (1960) Ramía (1974)	P	Pionera, hierba humilde. Hierba (50 cm). Tierra caliente. Sabanas altas y bancos.
aff. Amaranthaceae	850 especies pertenecen a esta familia; están distribuidas en todo el mundo.		Gómez y Rivera (1995)	A o P	Arbustos, subarbustos o plantas herbáceas.
aff. Compositae	15,000 especies pertenecen a esta familia, distribuidas por todo el mundo. Es, posiblemente, la más extensa en la flora apícola colombiana.		Gómez y Rivera (1995)		Arboles, arbustos, subarbustos o plantas herbáceas; son erguidas, decumbentes o trepadoras.
Amaranthaceae aff. Alternanthera		Utilizadas en jardines como plantas de cobertura para eliminar otras malezas. Son diuréticas y febrifugas.	Pérez-Arbeláez (1990)		Malezas de gran resistencia. Crecen entre las piedras de las calles o en los prados pisoteados.

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Amaryllidaceae <i>Curculigo scorzoneraefolia</i> Baker			Ramia (1974)	P	Hierba (10-30 cm). Bancos y sabanas altas.
Anacardiaceae <i>Spondias mombin</i> L. [Sin: <i>Spondias lutea</i> L.] <i>Tapirira guianensis</i> (Aubl.)	Jobo, Marapa, Caimito, Ciruela. Hobo blanco. Jobillo, Tapaculo, Jobo liso, Cedrillo, Corazón colorado. Patillo, Cazabe, Cazabito, Cedrito, Canuto de paloma.	Fruto: mesocarpio carnoso y comestible. Se usa para postes en los cercados de alambre. Fruto: exocarpio carnoso y comestible.	Schnée (1960) Pérez-Arbeláez (1990) Pittier (1971) Schnée (1960)		Arbol grande. Especie indígena de América tropical y de África occidental. Arbol pequeño. Especie de regiones tropicales de América del Sur.
Annonaceae <i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart. aff. <i>Crematosperma</i> aff. <i>Guatteria</i>	Fruta de burro, Fruta del capuchino, Guaruchi, Malagueta. Guanabanillo.		Schnée (1960) Pittier (1971)		Arbol de tierra caliente, en sitios húmedos. Arbol.
Apocynaceae <i>Himatanthus</i> aff. <i>articulatus</i> (Vahl.) Woodson					
Araceae <i>Anthurium anthrophyoides</i> <i>Caladium macrotites</i> Schott	Ocumillo.		Ramia (1974)		Hierba rizomatosa. En bancos y médanos.
Araliaceae <i>Schefflera morototoni</i> (Aubl.) B. Maguire					
Aristolochiaceae <i>Aristolochia acutifolia</i> Duch. <i>Aristolochia nummularifolia</i> H.B.K.					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Asclepiadaceae <i>Asclepias</i>					
Bignoniaceae					
<i>Jacaranda obtusifolia</i> H.B.K.	Abey, Arbol de roseto, Amuscu.		Pittier (1971) Schnée (1960)		Arbol del Orinoco y del Llano. (8-10 cm).
<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	Tulipán africano, Caoba de Santo Domingo.	Puramente ornamental, no tiene nada en común con la caoba.	Pittier (1971)		Arbol de mediano porte.
Sin: <i>Sparthodea campanulata</i> Beauv.	Gallito.		Schnée (1960)		Oriundo de Africa occidental. En regiones tropicales.
<i>Spathodea campanulata</i> s.c. Beauvais	Cedro negro, Caobo, Pipí.	Corteza se emplea como astringente en las diarreas y disenterías.	Pérez-Arbeláez (1990)		
<i>Tabebuia</i> sp.					
Blechnoideae					
<i>Blechnum</i> sp.					
Bombacaceae					
<i>Pseudobombax</i> sp.					
Boraginaceae					
<i>Cordia</i> aff. <i>apurensis</i> Agostini					
<i>Cordia tetrandra</i> Aublet					
<i>Tournefortia hirsutissima</i> Billb. ex Beurl	Nigua, Nigüito (sus nombres vulgares le vienen probablemente de la apariencia de la semilla).	No se le conoce uso.	Pittier (1971) Schnée (1960)		Frútice medio rastroero. Tierra caliente. De América tropical.
Burmanniaceae					
<i>Burmannia bicolor</i> Mart.					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Burseraceae					
<i>Protium</i> sp. (Ernst)	Icicagua.		Pittier (1971)		Arbol de la región de Coro, Venezuela. Identidad dudosa.
Sin:					
<i>Protium</i> sp.					
<i>Protium</i> aff. <i>Buenaventurensis</i> Cuatr.					
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aublet) Marchand	Tacamahaco, Currucai.	Resina (similar a elemi).	Pittier (1971)		Arbol (5-20 cm) de tierra caliente.
Sin:					
<i>Icica heptaphylla</i> Aubl.					
<i>Protium insigne</i> (Triana et Planchon) Engler;					
<i>P. microphyllum</i> H.B.K.					
Currucay.					
Anime blanco, Guacamayo, Incienso, Elemi, Guacharaco, Crispin, Barsino.					
Una de las más importantes resinas del mundo.					
Schnée (1960)					
Pérez-Arbeláez (1990)					
Cecropiaceae					
<i>Cecropia telealba</i> Cuatr. (Moraceae?)					
Chrysobalanaceae					
<i>Hirtella racemosa</i> Lam.	Jicaco, Jicaquillo.		Schnée (1960)		Arbusto o árbol pequeño (1-4 m). Especie neotrópica.
Clusiaceae					
<i>Clusia</i> sp.					
Cochlospermaceae					
<i>Cochlospermum vitifolium</i> (Willd.) Spreng.	Bototo, Botuto, Carnestolendas.	Semilla oleaginosa. Se usa como poste vivo.	Pittier (1971)		Arbol pequeño de tierra caliente.
Raíz macerada para cataplasma y en infusión como calmante de inflamación de intestinos.					
Sin:					
<i>Cochlospermum hibiscoides</i> Kunth.					
Santocristo, Majagua. Flechero.					
Hojas curan ictericia.					
Raíz tintórea.					
Schnée (1960)					
Pérez-Arbeláez (1990)					
Combretaceae					
<i>Combretum</i> sp.					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Commelinaceae					
<i>Commelina diffusa</i> Burm. f.	Canutillo, Canutillo difuso, Coneja, Coyuntura, Coyuntura de pollo, Hierba de pollo, Mangona, Orejita de ratón, Panameña, Quesadilla, Santa Lucía azul, Sare-Sare.	Cobertura valiosa para proteger suelo de la erosión; sembrada en los surcos entre las líneas de cafetos. Medicinal. Planta de importancia apícola.	Gómez y Rivera (1995) Escobar et al. (1993)	A	Planta herbácea de 5-15 cm. Tiene la apariencia de una gramínea. Suelos húmedos. Maleza. Planta postrada.
Compositae					
<i>Elephantopus mollis</i> H.B.K.	Lengua de vaca. Chicoria, Hierba de caballo, Suelda, Suelda\ consuelda, Suelda chicoria, Suelda espigada.	Hojas emolientes. Infusión contra la bronquitis y el catarro pulmonar. Tónico y sudorífico. Antirreumática, astringente, antisifilítica. Cura elefantiasis.	Schnée (1960) Gómez y Rivera (1995)	P	Hierba (40-100 cm). De América tropical y subtropical. En Venezuela está ampliamente distribuida. Maleza.
	Suelda espigada.	Externamente se usa como cataplasma. Propiedad medicinal para curar con emplastos las quebraduras o hernias de los caballos.	Pérez-Arbeláez (1990)		Sobrevive a las quemaduras.
<i>Elvira biflora</i> DC.					
<i>Emilia sonchifolia</i> (L.) DC. ex Wight	Borlita, Brochila, Clavel chino, Clavelillo, Diente de león rojo, Pincelillo.	Medicinal: propiedades ebrifugas, antiasmáticas y oftálmicas.	Gómez y Rivera (1995)	A	Planta dicotiledónea herbácea de 20-60 cm. Maleza.
<i>Eupatorium</i> sp.	Anime morado.	Son tenidos como sudoríficos.	Pittier (1971)		Arbusto erecto de 2-3 m. En sabanas.
	Reciben los nombres vulgares de: Almoraduz, Salvia amarga, Pulisa, Jarilla, Chilco, Amarguero, Carrasposa.		Ramia (1974)		Se conocen 600 especies de <i>Eupatorium</i> .
<i>Ichthyothere terminalis</i> (Spreng.) Malme	Galicosa, Bandolera, Jarilla, Dictamo real.	Produce una resina que se usa para 'embarbasca' los peces. Su raíz es depurativa y curativa de la sífilis y enfermedades de la piel.	Pittier (1971)	P	Planta herbácea. En sabanas.

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Compositae (cont.)					
<i>Pseudelephantopus spiralis</i> (Less) Cronq. <i>Stilnopappus pittieri</i> Gleason	Jarilla blanca, Jarilla morada. Jarilla.		Schnée (1960) Ramia (1974)		Frecuente en tierra caliente (25-100 cm). Crece en sabanas arenosas y en el piedemonte.
<i>Synedrela nodiflora</i> (L.) Gaertn. <i>Tagetes</i> aff. <i>sonchifolia</i>	Cerbatana, Espinillo, Flor amarilla, Sarbatana, Sinedrela, Venturosa, Yerba de gallinazo, Yuyo espinillo.	Medicinal, emenagogo, cataplasma que cura varices y úlceras varicosas.	Gómez y Rivera (1995)	A	Hierba (30 cm). En sabanas secas. Planta dicotiledónea; herbácea de 30-50 cm. Terrenos sombreados y húmedos.
Convolvulaceae					
<i>Ipomoea hirta</i> <i>Ipomoea schomburgkii</i> Choisy <i>Maripa</i> aff. <i>Operculina</i> Ramiltoni <i>Merremia aturensis</i> (H.B.K.) Hallier f.	Puya de raya.	Ingerida por los porcinos.	Ramia (1974)		Hierba de sabanas inundables.
Cucurbitaceae					
<i>Momordica charantia</i> L. Sin: <i>M. zeilanica</i> Tournef. <i>M. Balsamina</i> Desc. no L. <i>Cucumis africanus</i> Lindl.	Cundeamor, Acochilla, Archucha, Andai-mi, Yerba de culebra, Melón de satón, Chico carilla, Pepinillo, Subí-cogé, Balsamino, Sorosi, Pepino, Mavillo.	Medicinal. El fruto se usa a veces como condimento. El arilo de las semillas es de sabor dulce y agradable. Fruto comestible. Melífera, antihelmíntica y purgativa, antiirreumática. Pulpa del fruto útil contra tumores y forúnculos. El cocimiento del fruto se emplea como febrífugo y vomitivo. Los campesinos a veces emplean sus frutos como alimento.	Pittier (1971) Schnée (1960) Gómez y Rivera (1995) Pérez-Arbeláez (1990)	A	Bejuco trepador, común de tierra caliente y parte inferior de tierra templada. Especie pantrópica. Herbácea. Bejuquillo que crece con gran abundancia en clima caliente.

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Cyperaceae					
<i>Bulbostylis conifera</i> (Kunth) A.A. Beetle.			Ramia (1974)	P	Hierba de 40 cm. Común en los altos de los Llanos (Centro y Oriente).
<i>Bulbostylis paradoxa</i> Nees Sin: <i>Oncostylis paradoxa</i> Nees] <i>Bulbostylis paradoxa</i> (Spreng.) Lindman	Cagada del señor, Hierba sin cabeza, Tusillo. Tusilla.		Schnée (1960)	P	Hierba baja (10-25 cm). Típica de sabanas secas y mesas áridas del oriente y sur de Venezuela.
<i>Cyperus flavescens</i> Thw.			Ramia (1974)	A	Hierba no mayor de 20 cm. En bajos.
<i>Cyperus flavus</i> (Vahl) Nees Sin: <i>C. cayennensis</i> (Lam.) Britton <i>Cyperus haspan</i> L.	Coquito, Cortadera, Coyolillo, Paja cortadera.	Planta melífera.	Gómez y Rivera (1995)	P	Planta monocotiledónea rizomatosa (15-40 cm); entre 500 y 1700 msnm. Suelos húmedos. Hierba (50 cm). En médanos y sabanas secas.
		Corocillo.	Ramia (1974)		
			Ramia (1974)	P	Hierba de 50 cm. Sitios húmedos como morichales y orillas de lagunas. Sabanas bajas.
<i>Cyperus laxus</i> Lam.					
<i>Cyperus luzulae</i> (L.) Retz.	Salvaje, Corocillo.	Maleza muy agresiva. Forraje de baja calidad. Importancia apícola.	Schnée (1960)	P	Hierba (20-50 cm). Especie neotrópica. En Venezuela se encuentra a orillas de quebradas y ríos, en sitios húmedos, sabanas. Se puede encontrar en diversos ambientes.
<i>Cyperus sesquiflorus</i> (Torr.) Mattf. & Kukenth [Sin: <i>Kyllinga odorata</i> Vahl]	Coquito, Cortadera, Cabezoncillo, Paja Cortadera, Naranjuela. Gengibrillo.	Estilo bífido.	Gómez y Rivera (1995)	P	Hierba (10-40 cm). Común en Venezuela, en lugares húmedos. Especie neotrópica. En bancos y médanos.
	Corocillo de médano.		Ramia (1974)		
<i>Cyperus strigosus</i> Linn.					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Cyperaceae (cont.)					
<i>Dichromena ciliata</i> Vahl	Granadillo.	Aromática. Medicina popular algunas veces.	Pittier (1971)	P	Especie común en sabana.
	Caravana, Pata de zamuro, Pata de gallina, Corocillo blanco, Tijereta.		Schnée (1960)		Hierba (10-60 cm).
	Botoncillo, Cuita depájaro, Estrella blanca, Flor de grama, Estrellita, Estrellita del Japón, Flor de sabana.	Melífera. Medicinal: expectorante, usada contra tos y bronquitis.	Gómez y Rivera (1995)		Monocotiledónea. Herbácea (20-70 cm).
	Cruceta, Pata de Perdiz.		Ramía (1974)		Hierba de 30 cm, común en bancos y sabanas.
<i>Eleocharis retroflexa</i> Urb.	Junco.		Ramía (1974)		Los <i>Eleocharis</i> son hierbas semi-acuáticas. Propias de esteros y lugares húmedos.
<i>Fimbristylis complanata</i> (Retz.) Link			Ramía (1974)	P	Hierba (50 cm). Sabana baja y morichales.
<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl	Arrocillo, Cortadera, Coquito, Coyolillo, Namu.	Maleza.	Gómez y Rivera (1995)	P	Planta monocotiledónea, herbácea (50-70 cm).
			Ramía (1974)	A	Temperaturas superiores a 17.5 °C. Ramía dice que es "generalmente" anual.
Sin: <i>F. diphylla</i> (Retz.) Vahl					
<i>Kyllinga sesquiflora</i> Tor	Cortadera, Fosforito.	Maleza.	Gómez y Rivera (1995)	P	Planta monocotiledónea, herbácea (10-20 cm). Lugares húmedos y pantanosos.
<i>Lipocarpha sellowiana</i> Kunth			Escobar et al. (1993)		Planta de 4 a 60 cm.
<i>Rhynchospora barbata</i> (Vahl) Kunt			Ramía (1974)	P	Hierba (30 cm). Morichales y depresiones de sabanas arenosas.
<i>Rhynchospora blepharophora</i> (J. & C. Presl) H. Pfeiff.					
<i>Rhynchospora confusa</i> (Nees) C.B. Clarke					
<i>Rhynchospora corymbosa</i> (L.) Britton			Ramía (1974)	P	Hierba alta (80 cm). Crece en morichales.

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Cyperaceae (cont.)					
<i>Rhynchospora globosa</i> (H.B.K.) R. & S.			Ramia (1974)	P	Hierba mediana (30-80 cm). Crece en morichales.
<i>Rhynchospora holoschoenoides</i> (L.C. Rich.) Herter			Ramia (1974)	P	Hierba (40 cm). En balsares.
<i>Rhynchospora podosperma</i> (Rich.) Herter			Ramia (1974)	P	Hierba (15-30 cm). Orilla de lagunas.
<i>Rhynchospora pubera</i> (Vahl) Boeckel.			Ramia (1974)	P	Hierba (15-30 cm). Orilla de lagunas.
<i>Scleria distans</i> Poir.			Pittier (1971)	P	
<i>Scleria hirtella</i> Sw. Sin: <i>S. natans</i> Kth.	Curívano, Gengibrillo.	Rizomas oleo-aromáticos, tienen aplicación en la medicina popular.	Pittier (1971)	P	
<i>Hipoporium hirtellum</i> Nees	Gengibre morichalero. Malojillo, Gengibrillo de sabana.		Ramia (1974) Schnée (1960)		Planta de sabana, bastante común. En morichales. En lugares algo húmedos.
	Aljofar, Raíz de resfrío, Jengibrillo, Cortadera.		Pérez-Arbeláez (1990)		En regiones tropicales y subtropicales.
Dilleniaceae					
<i>Curatella americana</i> Linn.	Carne de fiambre, C. asado, Chaparro colorado, Curata, Paricá, Chaparro, Chaparro de sabana.	Corteza tónica. Alimento para pájaros.	Pérez-Arbeláez (1990) Pittier (1971) Schnée (1960)		Abunda en sabanas y playones.
	Chaparro sabanero. Curata, Chaparro totumo, Chaparro curata.		Ramia (1974)		Arbol de sabana y tierra caliente.
<i>Davilla aspera</i> (Aublet) Benoist	Chaparrillo, Chaparrito.		Schnée (1960)		Especie neotrópica. Chaparrales llaneros.
					Arbusto trepador. De tierra caliente.
Eriocaulaceae					
<i>Eriocaulon humboldtii</i> Kunth					
<i>Syngonanthus caulescens</i> (Poir.) Ruhl.			Escobar et al. (1993)		Planta de 8 a 20 cm.
<i>Syngonanthus gracilis</i> Ruhl.					Planta (hasta 6 cm).

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Erythroxylaceae					
<i>Erythroxylum cataractarum</i>					
Spruce ex Peyr.					
<i>Erythroxylum daphnipes</i> Mart.					
Euphorbiaceae					
Aff. <i>Caryodendron</i>					
<i>Capronia palustris</i> (L.) St. Hil.			Ramia (1974)		Hierba decumbente, en sabanas bajas.
<i>Croton rhamnifolius</i> H.B.K.	Carcanapire macho, Barredera, Punta de Lanza, Salvia muñeca.		Pittier (1971)		Arbustillo o arbusto de tierra caliente.
		Ningún tipo de ganado apetece su follaje; incluso se ha señalado como venenosa.	Ramia (1974)		De 1 m. En sabanas arenosas, sitios sombreados. Planta invasora, es una mala hierba de pastizal.
<i>Croton trinitatis</i> Millsp.	Pata de paloma.		Escobar et al. (1993)		Su frútice tiene hasta 80 cm.
<i>Euphorbia</i> spp.		Se pueden considerar como ornamentales.	Ramia (1974)	A	Son hierbas anuales. Se pueden considerar como malezas de pastizal.
			Pérez-Arbeláez (1990)		Arbustos de linderos, en clima templado y caliente.
<i>Euphorbia hirta</i> Linn.	Conchalagua, Golondrina, G. erecta, G. grande, Golondrinilla, Hierba de Orzuelo, Hierba de paloma, Lechosa, Pajamona, Pimpinela.	Medicinal: antiséptica, antisifilitica, diurética, antihistamínica, vulneraria y oftálmica.	Gómez y Rivera (1995)	A	Planta dicotiledónea, herbácea (20-60 cm). Planta con principios alelopáticos.
		Protege el suelo de la erosión.	Ramia (1974)		Se ha encontrado en sabanas inundables.
<i>Euphorbia hypericifolia</i> L.	Yerba de boca. Conchalagua, Lecherito, Lechosa, Pimpinela.	Cura las boqueras y el dolor. Cataplasma en úlceras gangrenosas.	Pittier (1971) Ramia (1974)	A	Planta menuda (10-45 cm). En región tropical y subtropical.
<i>Mabea</i> sp.					
<i>Maprounea guianensis</i> Aublet					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Euphorbiaceae (cont.) <i>Phyllanthus niruri</i> L. <i>Phyllanthus</i> sp. <i>Sapium</i> sp. <i>Sebastiania</i> sp. <i>Tetrorchidum</i> sp.	Flor escondida. Chancapiedra, Balsilla, Escoba, Quino de pobre, Tamarindillo, Viernes Santo. Pascualitas, Pepita del indio.	Usada por los fakires en la India para insensibilizar el intestino. Materia prima para obtener el amargo "filantina" del comercio y las boticas.	Schnée (1960) Pérez-Arbeláez (1990) Gómez y Rivera (1995) Pittier (1971)	A	Hierba (30-60 cm). Especie pantrópica. En Venezuela se halla en tierras templadas y calientes. Crece a la sombra en tierra de cafetales.
Flacourtiaceae <i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb. <i>Casearia mariquilensis</i> H.B.K. <i>Casearia ulmifolia</i> Vahl ex Benth. <i>Casearia zizyphoides</i> H.B.K.			Pérez-Arbeláez (1990) Escobar et al. (1993)		Hoya del Magdalena Medio. Arbusto leñoso (hasta 2 m).
Gentianaceae <i>Chelonanthus bifidus</i> Gilg <i>Coutoubea</i> aff. <i>lisanthus</i> <i>Coutoubea spicata</i> Aublet <i>Irlbachia alata</i> (Aubl.) Maas <i>Irlbachia alata</i> (Aubl.) Maas subsp. <i>alata</i> Maas <i>Schultesia</i> sp.					
Gesneriaceae <i>Sinningia incarnata</i> (Aubl.) D. Dench.			Escobar et al. (1993)		Planta (hasta 80 cm).

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Guttiferae <i>Caraipa llanorum</i> Cuatr. <i>Vismia baccifera</i> (L.) Tr. & Pl. <i>Vismia ferruginea</i> H.B.K. <i>Vismia minutiflora</i> Ewan <i>Vismia</i> sp.	Onotillo, Punta de lanza. Sangrito.	Madera bastante pesada. Planta escasa.	Pittier (1971) Schnée (1960)		Arbol pequeño de tierra caliente. En alto Amazonas y regiones adyacentes.
Haemodoraceae <i>Schiekia</i> aff. <i>Orinocensis</i> (H.B.K.) Meisn. <i>Schiekia orinocensis</i> Meissn. subsp. <i>Orinocensis</i> Meissn.			Escobar et al. (1993)		Planta (hasta 50 cm).
Iridaceae <i>Cypura paludosa</i> Aubl. <i>Sisyrinchium alatum</i> Hook	Espadilla.		Schnée (1960) Escobar et al. (1993) Ramía (1974)	P	Hierba glabra (40 cm). En regiones tropicales. En Venezuela se encuentra en vegas, morichales y lugares húmedos de las sabanas.
Labiatae <i>Eriope</i> aff. <i>crassipes</i> Benth. <i>Hyptis</i> spp. <i>Hyptis</i> aff. <i>atrorubens</i> Poit [Sin: <i>Hyptis lantanaefolia</i> Poit.]	Arropadita, Botoncillo, Hierba de sapo, Mastrantillo, Peludita.	Infusión para curación de abscesos dentales. Apícola. Medicinal: tónico del estómago, astringente y antiséptica. Regulador del sistema circulatorio. Protección contra la erosión.	Ramía (1974)	P	Son hierbas o sufrútices, en su mayor parte de porte erecto o ascendente, con hojas opuestas. Planta dicotiledónea y herbácea (10-50 cm).
			Ramía (1974)		Lugares húmedos y bajos (bajíos).

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Labiatae (cont.)					
<i>Hyptis</i> aff. <i>Brachyata</i>					
<i>Hyptis capitata</i> Jacq. Sin: <i>Hyptis rhomboidea</i> Martens & Gal.	Biojo, Bolita, Botón negro, Cabeza de pollo, Coquita, Cadillo de perro, Cordón de fraile, Mastranto, Orégano de monte.	Medicinal: hemostática, antiséptica.	Gómez y Rivera (1995)	A	Herbácea dicotiledónea (30-100 cm).
<i>Hyptis</i> aff. <i>lantanaeifolia</i> Poit					
<i>Hyptis brachiata</i> Briq	Argalia blanca.		Ramia (1974)		Sufrútice (70 cm). En sabanas.
<i>Hyptis conferta</i> Pohl ex Benth.	Corrimiento.		Schnée (1960)		Sufrútice (60-120 cm). En tierra caliente.
			Ramia (1974)		Ampliamente distribuida en América tropical.
					En sabanas.
<i>Hyptis conferta</i> Pohl ex Benth. var. <i>angustifolia</i> Benth.					
<i>Hyptis dilatata</i> Benth.	Botonera, Botón.		Ramia (1974)		Sufrútice aromático (50 cm). En sabanas arenosas, en morichales.
<i>Hyptis lantanaeifolia</i> Poit Al parecer, <i>H. atrorubens</i> y <i>H. lantanaeifolia</i> son sinónimos			Ramia (1974)		
<i>Hyptis recurvata</i> Poit					
Lauraceae					
<i>Ocotea</i> sp.	Toda especie.	Madera aromática, buena para obras de carpintería; planta escasa.	Pittier (1971)		Sin identificar.
<i>Ocotea longifolia</i> H.B.K.					
Lentibulariaceae					
<i>Utricularia gibba</i> Linn.					
Loranthaceae					
<i>Phoradendron</i> sp.					
<i>Psittacanthus wamingii</i> Eichler					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Lycopodiaceae <i>(Lycopodium cernuum L.)</i> <i>Lycopodium cernum</i>	Cacho de venado, Gateadera, Colchón de pobre, Caminadera, Gusanillo.		Pérez-Arbeláez (1990)		Bosques húmedos, templados y calientes.
Lythraceae <i>Cuphea calophylla</i> Cham. & Schlecht. <i>Cuphea carthagenensis</i> (Jacq.) Macbr. <i>Cuphea micrantha</i> H.B.K. <i>Cuphea racemosa</i> (L.) Spreng.	Chupa piel, Espina de cabra, Pata de buey, Pata de cabra, Pie de venado, Sanalotodo, Hierbabuenilla. Hierbabuenilla, Moradita, Verbenilla, Yerba de fraile, Yerbabuenilla.	Medicinal: astringente, antisifilítica. Planta ornamental. Importante en apicultura. Ornamental, medicinal, importancia apícola.	Gómez y Rivera (1995) A A	A A	Herbácea (15-30 cm). Entre 1000 y 3000 msnm y entre 10 y 23 °C. Herbácea (15-50 cm). Entre 0 y 1800 msnm.
Malpighiaceae <i>Byrsonima</i> sp. <i>Byrsonima coccolobaefolia</i> H.B.K. <i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) H.B.K. <i>Byrsonima verbascifolia</i> Rich. ex Juss.	Chaparro. Manteco, Merrey. Chaparro manteca, Chaparro de chinche, Chaparro de sabana. Manteco orejón, Oreja de burro, Carambá (nombre indígena de Sur de Apure). Chaparro, Chaparrote.	Cura mordedura de serpientes venenosas. Corteza usada en la medicina popular. Manteco guaitacuco.	Pittier (1971) Ramia (1974) Pittier (1971) Ramia (1974) Ramia (1974) Schnée (1960)		Arbol de sabana. Pequeño y achaparrado. Arbusto o árbol pequeño. En sabanas y bosques claros. En chaparrales llaneros. Arbusto; en sabanas arenosas.
Malvaceae <i>Peltaea speciosa</i> (H.B.K.) Stand. <i>Sida acuta</i> Burm f. [Sin.: <i>Sida carpinifolia</i> L.f.] <i>Sida spinosa</i> Linn	Chichibé, Escoba, Escoba amarilla, Escoba barbosa, Escoba dura, Escobilla, Escobilla morada.	Melífera. Medicinal.	Escobar et al. (1993) Gómez y Rivera (1995) Ramia (1974)	A o P	Arbusto de 1 m. Dicotiledónea leñosa y arbustiva (30-100 cm). La más común de las Sida.

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Melastomataceae					
<i>Clidemia capitellata</i> (Bonpl.)					
Don var. <i>dependens</i> (Don) Maclor.					
<i>Clidemia rubra</i> (Aubl.) Mart.			Escobar et al. (1993)		
<i>Desmocellis</i> sp.					
<i>Desmocellis villosa</i> Naud.					
<i>Miconia</i> sp.					
<i>Miconia multispicata</i> Naudin					
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Tr.	Taparón, Pepita, Canillito.	Frutas pequeñas comestibles.	Pittier (1971)		Arbusto propio de vertientes soleadas y áridas de tierra caliente (1-3 m). En América tropical.
	Morichalero, Coronita, Tocino.	Fruto bacciforme.	Schnée (1960)		
<i>Miconia rubiginosa</i> (Bonpl.) DC.	Canilla de venado.		Pittier (1971)		
<i>Miconia rufescens</i> DC.	Oreja de tigre.		Pittier (1971)		Arbustillo de sabanas secas y áridas.
		Fruto bacciforme.	Schnée (1960)		De 1 a 2 m.
<i>Miconia scorpioides</i> Naud.					
<i>Miconia stenostachya</i> DC.					
<i>Miconia theazans</i> (Bonpl.) Cogn.	Ojito.		Pittier (1971)		Arbustillo de los Andes (hasta 1.5 m de altura).
	Hojito.		Schnée (1960)		En regiones tropicales de América.
<i>Miconia trinervia</i> (Sw.) D.					
Don ex Loud.					
<i>Pterogastra major</i> Triana			Escobar et.al. (1993)		Planta (40-60 cm) propia de los bajos.
<i>Tibouchina spruceana</i> Cogn.					
<i>Tococa guianensis</i> Aublet	Caujaro.		Schnée (1960)		Arbusto o árbol pequeño (1-8 m) de tierra caliente.
	Hormiguero.		Pérez-Arbeláez (1990)		En bosques amazónicos.

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Meliaceae <i>Guarea</i> sp.					
Menispermaceae <i>Cissampelos ovalifolia</i> DC.					
Monimiaceae <i>Siparuna</i> sp. <i>Siparuna guianensis</i> Aublet	Hoja de Danta.	Fruto (globoso, verdoso).	Schnée (1960)		Arbusto o árbol pequeño. En regiones tropicales de América del Sur.
Myrsinaceae <i>Cybianthus</i> sp.					
Myrtaceae aff. <i>Eugenia</i> aff. <i>Myrcia</i> aff. <i>Psidium</i> <i>Myrcia</i> sp. <i>Myrcia guianensis</i> <i>Psidium maribense</i> Mart. ex DC. [Sin: <i>Psidium crenatum</i> Bergius] <i>Psidium salutare</i> (H.B.K.) Bergius <i>Psidium</i> sp.	Guayabo blanco, Guayabo de hierro. Guayaba rebalsero, Guayabito de agua. Guayabita, Guayabo rajjana.	Fruto (subgloboso). Fruto comestible (?) Fruto comestible (?)	Pittier (1971) Ramia (1974) Ramia (1974) Ramia (1974)		Arbol de tierra caliente. Género con 700 especies. Regiones tropicales de todos los continentes. En los Llanos Orientales crecen tres <i>Psidium</i> que nos recuerdan el guayabo común. Arbustos. Arbusto (2-3 m). Crece a orilla de los ríos. Arbustito no mayor de 1 m. En sabanas.
Ochnaceae <i>Ouratea</i> sp. <i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engler <i>Ouratea polyantha</i> Engler					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Oenotheraceae					
<i>Ludwigia</i> sp. <i>Ludwigia quadrangularis</i> (Micheli) Hara					
Orchidaceae					
<i>Habenaria heptadactyla</i> Reichb. f.			Escobar et al. (1993)		Hierba erecta de 30 a 60 cm.
Palmae					
<i>Maurtiella</i> sp.					
Passifloraceae					
<i>Passiflora foetida</i> L. var. <i>elliassii</i> Killip	Parchita de montaña. Parcha de culebra, Taguatagua.	Emenagogo. Calma excesos histéricos. Con la fruta se prepara una bebida.	Pittier (1971) Schnée (1960)		Rastrera, de olor repugnante. En casi toda América tropical. En Venezuela, desde el nivel del mar hasta 1500 m.
Polygalaceae					
<i>Polygala paniculata</i> L. Folks <i>Polygala</i> spp.	Laurel de castilla. Canchalagua, Hierba de cólico, pecacuana, Lanillo, Mentol, Sarpoleta, Yerba de los ángeles.	Semillas aplicado-pubescentes. Medicinal: diurética, expectorante, antiblenorrágica y vomitiva.	Schnée (1960) Gómez y Rivera (1995) Ramia (1974)	A A	Hierba (10-30 cm) de América tropical. En Venezuela es común en sabanas, en tierra templada y fría. Existe en tierra caliente. Hierbas erectas (no más de 30 cm). En sabanas secas y arenosas y en lugares húmedos cercanos a los morichales.
Polygonaceae					
<i>Coccoloba</i> sp.					
Polypodiaceae					
<i>Adiantum tetraphyllum</i> Willd.	Culantrillo hembra.	Expectorante.	Pittier (1971) Pérez-Arbeláez (1990)		Helecho de bosque fresco de tierra caliente y templada.
Pteridophyta					
<i>Lygodium venosum</i> (?)					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Rubiaceae					
aff. <i>Alibertia</i>					
aff. <i>Palicourea</i>					
aff. <i>Psychotria</i>					
aff. <i>Ricardia</i>					
<i>Borreria</i> aff. <i>suaveolens</i> G.F.W. Meyer			Schnée (1960)		Hierba erguida (~75 cm). Frecuente en la sabana. Ampliamente distribuida en América tropical.
<i>Borreria alata</i> DC.	Borreria.	Importancia apícola.	Gómez y Rivera (1995)	A	Planta herbácea (20-50 cm), dicotiledónea. Se encuentra entre 0 y 1800 msnm, en suelos ácidos.
<i>Borreria capitata</i> (R. & P.) DC.	Botoncillo. Francisco.	Medicinal: curación de granos.	Pittier (1971) Ramía (1974)	P	Planta herbácea. Sufrútice es de 30-50 cm. En sabanas secas.
<i>Borreria laevis</i> (Lam.) Griseb.	Botoncillo, Cansa mozo, Chiquiza, Garro, Hierba del toro, Juana la blanca, Rodilla de pollo, Tabaquillo, Yerba de garro.	Apícola. Protege el suelo contra la erosión.	Gómez y Rivera (1995)	A	Herbácea de 20 a 50 cm. Se encuentra entre 0 y 1800 msnm. En suelos húmedos y áreas parcialmente sombreadas.
<i>Borreria latifolia</i> (Aubl.) Schum.			Ramía (1974)	A	Hierba postrada. En bancos.
<i>Borreria ocimoides</i> (Burm. f.) DC.	Comino, Chiquizacillo, Garro, Hierba del pajar, Hierba del toro.	Importancia apícola.	Gómez y Rivera (1995)		Planta herbácea (12-60 cm). Maleza. Se encuentra entre 0 y 1800 msnm, a temperaturas superiores a 17.5 °C.
<i>Borreria</i> spp.			Ramía (1974)	A	En sabanas altas.
<i>Declieuxia fruticosa</i> (Willd.) Kuntze			Ramía (1974)		Hierbas o sufrútices.
<i>Duroia</i> sp.					
<i>Faramea corymbosa</i> Aubl.					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Rubiaceae (cont.)					
<i>Genipa americana</i> Linn Sin: <i>Genipa caruto</i> H.B.K.	Caruto, Jagua.	Madera, uso corriente como material de construcción. El zumo de su fruto puede usarse como tinta.	Pittier (1971)		Arbol de 6 a 8 m de altura. Especie de tierra caliente.
	Genipa, Guaricha. Caruto. Caracarutoto, Bicito, Totumillo, Nandipá, Maluco, Crayo.	Alimento para el ganado. Los frutos los comen los muchachos y los animales.	Schnée (1960) Ramia (1974) Pérez-Arbeláez (1990)		Distribuida en América tropical. En sabanas y bosques.
<i>Palicourea guianensis</i> Aubl. <i>Palicourea rigida</i> H.B.K.	Chaparro bobo, Cacho de venado, Chaparrillo. Chaparro bobo, Chaparro merey, Caparrosa. Chaparro vidrio.		Pittier (1971)		Arbustillo (2-3 m) en sabanas de tierra caliente.
<i>Palicourea</i> sp.			Schnée (1960)		En sabanas secas.
<i>Psychotria</i> sp.					
<i>Sabicea villosa</i> Roem. et Schlt.					
<i>Sabicea villosa</i> R. & P.					
<i>Sipanea pratensis</i> Aubl.	Clavel de pozo, Clavel de agua.		Schnée (1960)	P	Hierba.
<i>Borreria laevis</i> (Larc.) Griseb.					
Sin: <i>Spermacoce assurgens</i> R. & P.					
<i>Spermacoce capitata</i> Ruiz & Pau.					
<i>Spermacoce densiflora</i> (DC.) A.H.					
<i>Spermacoce</i> sp.					
Sapindaceae					
<i>Cupania scrobiculata</i> Rich					
<i>Matayba</i> sp.					
<i>Matayba guianensis</i> Aublet	Zapatero, Guate pajarito, Mandingo montaño, Mandingo sabanero.		Schnée (1960)		Arbol de 10 a 15 m. Se encuentra en Guayana, Brasil y Perú.
<i>Paullinia</i> sp.					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Schizaeaceae (Pteridophyta) <i>Anemia villosa</i> (?)					
Scrophulariaceae					
<i>Buchnera pusilla</i> H.B.K.					
<i>Buchnera</i> sp.			Ramia (1974)	P	Plantas de sabanas, especialmente las secas.
<i>Buchnera spruceana</i> Philcox					
<i>Lamourouxia</i> aff. <i>virgata</i> Kunth					
<i>Lamourouxia</i> sp.					
<i>Lindernia diffusa</i> (L.) Wettst.					
<i>Schultesia</i> sp.					
<i>Scoparia dulcis</i> L.	Escoba dulce, Escobilla, Escobilla amarga, Bruscón.	Se emplea contra la blenorragia y para contener diarreas y el curso excesivo de la menstruación. Medicinal.	Pittier (1971)	A o P	Planta sufrutescente.
	Añí, Arrocillo, Culantrillo, Culantro, Culantro de pollo, Escoba amarga, Escoba dulce, Escobeta, Escobilla, Escobilla amarga, Escobilla de castilla, Escudilla, Mastuerzo, Paraguay.	Planta de importancia apícola. Medicinal: emoliente, béquica, antifebril y expectorante.	Schnée (1960)		Sitios incultos y más o menos abandonados. Especie pantrópica.
			Gómez y Rivera (1995)		
			Ramia (1974)		Hierba erecta (50 cm). Crece como maleza en los bancos y sabanas secas.
<i>Veronica</i> sp.					
Simaroubaceae					
<i>Simaruba amara</i> Aubl.	Simaruba.	Corteza medicinal. Diurética, febrífuga y antidisentérica. Peligrosa en dosis exagerada.	Pittier (1971)		Arbol decíduo.
<i>Simarouba amara</i> Aublet	Simarua, Marupá, Simarruba.	Maderable, resistente a los insectos.	Schnée (1960)		
Sin:	Marouba, Acayoa blanca.		Pérez-Arbeláez (1990)		
<i>S. guianensis</i> Rich.					
<i>S. officinalis</i> DC					
<i>Picranea officinalis</i> Lindl.					
<i>Cuassia simaruba</i> L.					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Solanaceae					
<i>Cestrum</i> sp.					
<i>Solanum</i> sp.	Yerba mora (este nombre se aplica a todas las especies de <i>Solanum</i>).				
<i>Solanum hirtum</i> Vahl	Huevo de gato, Bolegato, Berengena cimarrona.	Curación de almorranas (fruto). Cocimiento de la raíz es hemostático y antileproso.	Pittier (1971) Schnée (1960)		Planta. Arbusto (1 m).
	Ñema de gato, Cojón de gato, Coquito.	Medicina popular.	Ramia (1974)		En esteros.
<i>Solanum mammosum</i> L.	Manzana del diablo.	Crece en los repastos. Fruto muy venenoso.	Pittier (1971)		Planta herbácea.
	Manzanita. Teticas, Friegaplatos.	Diurético e insecticida.	Schnée (1960) Ramia (1974) Pérez-Arbeláez (1990)		Planta sufrutescente de tierra caliente. Bancos y bajos.
<i>Solanum torvum</i> Sw.	Coquino, Trompito.		Schnée (1960)		Arbusto erguido de 1-3 m.
Sterculiaceae					
<i>Byttneria morii</i> L.C. Bernett & L.J. Dorr					
<i>Helicteres</i> sp.					
<i>Helicteres guazumaefolia</i> H.B.K.	Tornillo.	Toda la planta es mucilaginoso y emoliente y el cocimiento se usa para aliviar las pujas.	Pittier (1971)		Arbusto o árbol hasta de 5 m de altura. De tierra caliente.
	Tornicillo. Tornillito.		Schnée (1960) Ramia (1974)		América tropical. En bancos.
<i>Helicteres pentandra</i> L.					
<i>Melochia colombiana</i> Cuatrec.					
<i>Melochia parvifolia</i> H.B.K. [Sin: <i>Melochia fasciculata</i> Bentham]			Ramia (1974)		Sabanas altas y bancos.
<i>Melochia</i> sp.	Yerba cucaracha. Especie sin identificar; así la llaman en Zulía, Venezuela.		Pittier (1971) Ramia (1974)		Sufrútices, pilosos.
<i>Melochia villosa</i> (Mill.) Fawc. et Rendl.					
<i>Melochia villosa</i> (Mill.) F. & R.					

(Continúa)

Apéndice 2. (Continuación).

Familia (y especie) ^b	Nombre común o local	Usos	Referencia	CV ^c	Hábito y hábitat
Turneraceae					
<i>Piriqueta cistoides</i> (L.) Griseb.	Celedonia.		Schnée (1960)		Hierba erguida (20-60 cm), de tierra caliente de América tropical.
<i>Piriqueta cistoides</i> (L.) Mey			Ramia (1974)		En sabanas altas y bancos.
<i>Turnera</i> aff. <i>pumila</i> L.					
<i>Turnera pumila</i> Hill			Ramia (1974)		Hierba ascendente (~20 cm), muy pubescente. En sabanas secas.
Verbenaceae					
<i>Cornutia</i> aff. <i>odorata</i> (Poepp. & Endl.)					
Poepp. ex Schauer in DC.					
<i>Lantana armata</i> Schauer					
<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (L.C. Rich) Vahl	Verbena.		Pittier (1971)	A o P	Planta herbácea o sufrutescente, de tierra caliente y templada. Altura de 1 a 2.5 m.
	Golondrina, Ocollucuy, Rabo de armadillo, Sacha.	Medicinal: presenta propiedades insecticidas. Se emplea para fabricar escobas rústicas. Importancia apícola.	Schnée (1960) Gómez y Rivera (1995)		
<i>Stachytarpheta jamaicensis</i> (L.) Vahl					
Vitaceae					
<i>Cissus</i> sp.					
<i>Cissus quadrialata</i> H.B.K.					
Xyridaceae					
<i>Xyris caroliniana</i> Walter var. <i>major</i> Walter			Escobar et al. (1993)		Planta de porte erecto (50-80 cm).
<i>Xyris laxiflora</i> Mart.					
<i>Xyris</i> sp.					
Zingiberaceae					
<i>Renealmia</i> sp.					

a. Colaboraron en este trabajo R. Serna, G. Escobar, E. Escobar, G. Rippstein, A. M. Torres, C. Núñez, C. Grollier, P. Torrijos, P. y M. V. de los Ríos.

b. aff. = afin o semejante a; Sin = sinónimo.

c. CV = ciclo de vida; A = anual; P = perenne.

Referencias

- Escobar E.; Belalcázar J.; Rippstein G.
1993. Clave de las principales plantas de sabana de la Altillanura de los Llanos Orientales en Carimagua, Meta, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 92 p.
- Gómez A. A.; Rivera P. H. 1995. Descripción de arvenses en plantación de café. Federación Nacional de Cafeteros y CENICAFE, Chinchiná, Caldas, Colombia. 2a. ed. 481 p.
- Mejía M. 1984. Nombres científicos y vulgares de especies forrajeras tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 75 p.
- Pérez-Arbeláez E. 1990. Plantas útiles de Colombia. 14a. ed. Edit. Víctor Hugo, Medellín, Colombia. 832 p.
- Pittier H. 1971. Manual de las plantas usuales de Venezuela. Fundación Eugenio Mendoza, Caracas, Venezuela. 458 p. + Suplemento (129 p.).
- Ramía M. 1974. Plantas de las sabanas llaneras. Colección Temas Venezolanos. Monte Avila Edit., Caracas, Venezuela. 287 p.
- Schnée L. 1960. Plantas comunes de Venezuela. Revista de la Facultad de Agronomía, Alcance no. 3. Maracay, Venezuela. 663 p.

APÉNDICE 3

Trabajos Publicados sobre las Sabanas de los Llanos Orientales entre 1990 y 1996

Publicaciones del Proyecto Sabana Nativa (CIAT)

- Decaëns T.; Lavelle P.; Jiménez J. J.; Escobar G.; Rippstein G. 1994. Impact of land management on soil macrofauna of the Oriental Llanos of Colombia. *Eur. J. Soil Biol.* 30(4):157-168.
- Escobar E.; Belalcázar J.; Rippstein G. 1993. Clave de las principales plantas de sabana de la Altillanura de los Llanos Orientales en Carimagua, Meta, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira y CIRAD-EMVT, Cali, Colombia. 92 p.
- Fisher M. J.; Lascano C.; Vera R.; Rippstein G. 1992. Integrating the native savanna resource with improved pastures. En: Pastures for the tropical lowlands: CIAT's contribution. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 75-100.
- Fisher M. J.; Lascano C. E.; Thomas R. J.; Ayarza M. A.; Rao I. M.; Rippstein G.; Thornley J. H. M. 1993. An integrated approach to understand soil-plant-animal interactions on grazed legume-based pastures on tropical acid soils. Proceedings. XVII International Grassland Congress, Palmerston North, New Zealand/Queensland, Australia. p. 1903-1904.
- Friesen D.; Thomas R.; Volverás B.; Carmen H.; Delgado H.; Alarcón H. F.; Jiménez J. J.; Owen E.; Rippstein G.; Lavelle P.; Moreno A. 1995. Sustainable crop rotation and ley farming systems for the tropical acid-soil savannas. Trabajo presentado a la 87st Annual Meeting of ASA, CSSA, SSSA, celebrada en St. Louis, MO, E. U., octubre-noviembre 1995.
- Girard C. M.; Rippstein G. 1994. Utilisation de données SPOT HRV pour la cartographie de savanes et pâturages dans les Llanos de Colombie. *Bulletin no. 133. Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, París, Francia. p. 11-19; 47-48.
- Mesa E.; Rippstein G. 1995. Uso de índices de diversidad para describir y caracterizar comunidades vegetales. Trabajo presentado en el Simposio Internacional de Estadística en Agricultura y Medio Ambiente, Santa Marta, Colombia, junio 1995.
- Rippstein G. 1990. Manejo de sabanas nativas mejoradas. En: Informe Anual 1990, Programa de Pastos Tropicales. Documento de trabajo no. 89. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 17.1-17.12. (Disponible también en inglés.)

- Rippstein G. 1991. Management of native savanna on Colombia's Eastern Plains. En: Annual Report 1978-1991, Tropical Pastures Program. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 16.1-16.57. (Disponible también en español.)
- Rippstein G. 1994. Management of native savanna on Colombia's Eastern Plains. En: Biennial Report 1992-1993, Savannas Program. Documento de trabajo no. 134. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 87-117.
- Rippstein G. 1995. Projet TP01: Prototype sustainable cropping system. En: Annual Report 1995, Tropical Lowland Program. Documento de trabajo no. 151. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 25-37.
- Rippstein G.; Girard C. M. 1994. Utilización de los datos radiométricos espacial y terrestre para el estudio e inventario de la vegetación de los Llanos Orientales de Colombia. Pasturas Tropicales 16(2):2-9.
- Rippstein G.; Escobar E.; Toledo J. M.; Fisher M.; Mesa E. 1994. Caracterización de comunidades vegetales en relación con el suelo de la sabana de la Altillanura de los Llanos Orientales, en Carimagua, Meta, Colombia. Trabajo presentado en la XV Reunión de la Asociación Colombiana de Herbarios, celebrada en Montería, Córdoba, Colombia, agosto de 1994.
- Rippstein G.; Lascano C.; Decaëns T. 1995. La production fourragère dans les savanes d'Amérique du Sud. Fourrage (Francia), julio 1995.
- Rippstein G.; Broekhuijsen J. K.; Peters A. G. E.; Escobar G. 1995. Vegetation and ecology of the "serranía" native pastures of the Eastern Plains of Colombia (Llanos). En: CIAT Annual Report 1994, Tropical Lowlands Program. Documento de trabajo no. 148. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 76-103.
- Rippstein G.; Peters A. G. E.; Broekhuijsen J. K.; Escobar G. 1995. Native pasture management: A sequential burning and rotational grazing of the native pastures of the plains (Altillanura) of the Llanos. En: CIAT Annual Report 1994, Tropical Lowlands Program. Documento de trabajo no. 148. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. p. 104-126.
- Allard G. 1995. Etude du comportement alimentaire des bovins et capacité d'exploitation de la savane colombienne. Mémoire de Stage de D.E.S.S., Université Paris XII Val de Marne, UFR de Sciences. 80 p.
- Biojó-Villegas L. 1997. Evaluación estadística para determinar la influencia de la biomasa aérea disponible en la ganancia de peso del ganado en Carimagua, Llanos Orientales de Colombia. Tesis. Universidad del Valle, Cali, Colombia. 97 p.
- Broekhuijsen J. 1994. The botanical and chemical composition of the "serranía" grasslands in the Llanos Orientales of Colombia. Tesis (Grassland Science). Department of Agronomy, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Holanda. 106 p.
- Cavache E. M.; Pérez J. J. 1997. Evaluación estadística del efecto de las hormigas en la vegetación en los Llanos Orientales de Colombia. Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Corbin J. 1994. Etude d'un système d'exploitation de la savane des Llanos Orientales de Colombie par la rotation des brûlis. Mémoire de Fin d'Etudes. ISTOM/Institut d'agro-développement international, Cergy-Pontoise, Francia. 55 p.

Trabajos e Informes de Estudiantes que Hicieron Investigación en el Proyecto Sabana Nativa (CIAT)

- Daza-Robles M. F.; Jaramillo-Pérez E. 1997. Evaluación estadística de los efectos de los diferentes sistemas de manejo de sabanas nativas en la dinámica de la vegetación de la Altillanura plana de los Llanos Orientales de Colombia. Trabajo de Grado. Universidad del Valle, Cali, Colombia. 82 p.
- Decaëns T. 1993. Impact des pratiques agricoles sur la macrofaune des sols dans quelques pâturages et cultures des Llanos Orientaux de Colombie. Mémoire de Stage de D.E.S.S., Université Paris XII Val de Marne, UFR de Sciences. 55 p.
- Escobar-Berón M. 1995. Degradación de pasturas mejoradas por presencia de especies no deseadas en Carimagua, Llanos Orientales, Meta (Colombia). Tesis (Zootecnia). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, Valle, Colombia. 90 p.
- Gil-Murcia A. P.; Pérez-Florez M. 1997. Análisis estadístico de diferentes usos de la tierra en la dinámica de la macrofauna del suelo de los Llanos Orientales de Colombia. Tesis. Universidad del Valle, Cali, Colombia. 97 p.
- Grollier C. 1995. Caractérisation des savanes d'une région des Llanos Orientaux de Colombie. Mémoire de Fin d'Etudes. ISTOM/École d'agro-développement international, Cergy-Pontoise, Francia. 67 p.
- Michel A. 1996. Les thèmes, coûts et retombées des travaux des chercheurs français détachés au CIAT entre 1989 et 1996. Mémoire de Stage de D.E.S.S., Relations Internationales de l'Université des Sciences Humaines et Sociales de Strasbourg (USHS).
- Peters L. 1994. Vegetation dynamics and liveweight changes in the Llanos Orientales of Colombia: A study of a proposed management system. Tesis (Grassland Science). Department of Agronomy, Wageningen Agricultural University, Wageningen, Holanda. 80 p.
- Roumeas M. 1995. Dynamique de la végétation des savanes des Llanos Colombiens sous différentes charges et différents temps de repos après feux. Mémoire de Stage de D.E.S.S., CIRAD-EMVT/INA-PG, École National Vétérinaire Alfort, Museum Histoire National de Paris. 71 p.
- Torrijos-Otero P. 1996. La quema y la sucesión secundaria de la vegetación en sectores de la estación biológica Carimagua, Llanos Orientales. Trabajo de grado (Biología). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Bogotá, Colombia. 116 p.

APÉNDICE 4

Acrónimos, Abreviaturas y Terminología Técnica

Acrónimos

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiation	ICA	Instituto Colombiano Agropecuario
CAB	Commonwealth Agricultural Bureau	ICRAF	International Centre for Research in Agroforestry, Kenia (sistema del GCIAD)
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (Costa Rica)	INRA	Institut National pour la Recherche Agricole (Francia)
CI	CIA: Centro de Investigaciones Agropecuarias (de CORPOICA)	ISTOM	Institut des sciences tropicales d'outre-mer
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Francia)	LAC	Cobertura de Areas Locales (Local Area Cover)
CNI	Centro Nacional de Investigaciones (del ICA; hoy CIA)	MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería (Ecuador, Costa Rica)
CORPOICA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria	NDVI	Indice Normalizado de Diferencias en la Vegetación (Normalized Difference Vegetation Index)
EMVT	Élevage et médecine vétérinaire (programa del CIRAD)	NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (E. U.)
GAC	Cobertura de Areas de Dimensión Global (Global Area Cover)	OLR	Emisión de Radiación de Onda Larga (Output Longwave Radiation)
GTZ	Sociedad de Cooperación Técnica Internacional (Alemania)	ORSTOM	Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération
GVI	Indice Global de Vegetación (Global Vegetation Index)	SSSA	Soil Science Society of America (E. U.)
		UCR	Universidad de Costa Rica

UNESCO Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

Abreviaturas

Acad.	Academia
An.	animal
CAP	circunferencia (del árbol) a la altura del pecho
C.R.	Comptes rendues (Academia francesa)
DAP	diámetro (del árbol) a la altura del pecho
E.L.	época lluviosa
E.S.	época seca
GPD	ganancia de peso diaria
ind.	individuos
IR	infrarrojo
meq	miliequivalente(s) gramo
Mg	megagramo (= 10 ⁹ g)
M.O.	materia orgánica
M.S.	materia seca
m.s.n.m.	metros sobre el nivel del mar (altitud)
MSS	Multi-Spectral Scanner
M.V.S.P.	Multi-Variate Statistical Package
nm	nanómetro (= 10 ⁻⁹ m)
p.e.	por ejemplo
pF	punto de marchitamiento
P.V.	peso vivo
Sci.	Sciences (ciencias)
TM	Tematic Mapper
TS	Ts: temperatura de la superficie terrestre
UA	Unidad Animal (p.e., UA/ha)

Términología Técnica

anécico	hábito de lombrices que consumen hojarasca superficial y suelo, duran mucho y se adaptan bien para sobrevivir
bajo	en la Orinoquia, depresión de la sabana inundable, rodeado de bancos y cubierto siempre de vegetación
banco	en la Orinoquia, parte alta de la sabana bien drenada en una zona de acumulación aluvial
béquico	que alivia la tos
bioma	comunidad biótica de plantas y animales caracterizada por la uniformidad fisonómica de la climax vegetal y por los animales influyentes
carga (animal)	número de unidades animales que pastorean un área determinada (1 ha, generalmente)
ecotono	transición angosta y alargada entre comunidades diversas (p.ej., entre bosque y pradera) que actúa como zona de unión o de tensión
fisonomía	(= fisionomía): apariencia de la vegetación, que resulta de la estructura del bioma y de características y fenómenos funcionales del entorno total (como exuberancia o sequedad)
forrajeo	pastoreo o consumo de vegetación herbácea por los animales
pixel	'picture element': elemento pictórico elemental de una imagen digital procesable (depende del tipo de sensor y de escala de imagen)

reflectar	relacionar la energía radiante reflejada por un cuerpo y la energía incidente sobre él (la reflectancia espectral se mide en longitud de onda)	sural	(= zural): en la Orinoquia, microrrelieve constituido por 'zuros' o montículos de 10 a 150 cm de diámetro, con zanjas entre ellos que se erosionan
sobrepastoreo	pastoreo excesivo (= 'overgrazing')	transecto	franja lineal y alargada de vegetación usada como unidad de muestreo (para estudio cuantificable de la biodiversidad) que presenta, a intervalos regulares, muestras de vegetación variable según el ambiente y el uso de la tierra
subxerofítico	(= subxerófilo): en Ecología, propio de regiones semiáridas y áridas en que la vegetación dispone de poca humedad varios meses del año		
sucesional	propio del proceso de sustitución de una sinecia por otra (sinecia = agrupación homogénea, según la morfología, de plantas que viven reunidas)		

Publicación CIAT No. 322
Proyecto PE-4: Manejo de Tierras y
Sistemas de Información Geográfica

y

Unidad de Comunicaciones

Edición: Francisco Motta
Gladys Rodríguez (asistente editorial)

Producción: Artes Gráficas, CIAT
Oscar Idárraga (diagramación)
Julio C. Martínez (diseño de carátula)

Impresión: Feriva S.A.
