

ALTERNATIVAS EN EL MANEJO AGROECOLÓGICO DE LOS SUELOS DE LAS SABANAS DEL NORTE DE SURAMÉRICA

ALTERNATIVES FOR THE AGROECOLOGICAL MANAGEMENT OF THE SAVANNA'S SOILS IN NORTHERN SOUTHAMERICA

Danilo López-Hernández^{1,2} y Alonso D. Ojeda¹

¹*Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Instituto de Zoología Tropical. Laboratorio de Estudios Ambientales. Apartado 47058, Caracas 1041-A. Venezuela. E-mail: aojeda@strix.ciens.ucv.ve*

²*Centro de Estudios del Desarrollo Agroecológico Tropical (CEDAT), Universidad Simón Rodríguez. Apartado Postal 47925, Caracas 1041-A. Venezuela. E-mail: dlopez@strix.ciens.ucv.ve*

RESUMEN

Las sabanas del norte de Suramérica han estado desde el arribo de los españoles sometidas a un manejo agropecuario extensivo, entre otras razones debido a la baja fertilidad natural de estos suelos; tal modalidad de explotación se ha visto modificada en los últimos decenios con la introducción de técnicas agrícolas de altos insumos asociadas a los abundantes recursos económicos de Venezuela y la política de subsidios establecida en el sector agropecuario. Bajo un régimen intensivo de fertilización, mecanización y uso de agroquímicos, fue posible sustituir el banco de germoplasma original por especies de cultivos adaptados a las condiciones mejoradas. Igualmente en lo que concierne a la actividad ganadera, en áreas con pastos cultivados, se cambió el rebaño secularmente adaptado a condiciones de pastos pobres, por semovientes de mayor potencialidad genética y exigencias zootécnicas. El paso de agricultura extensiva a intensiva no ocurrió sin un consecuente deterioro ambiental, reflejado principalmente en incrementos en la pérdida de la capacidad productiva de los suelos, por procesos de erosión, contaminación y compactación. Aunado a estos problemas, el modelo de desarrollo propuesto en los últimos años, principalmente para las sabanas del norte del Orinoco, demuestra su poca rentabilidad una vez que los fuertes subsidio gubernamentales fueron eliminados. En esta revisión se analizan los sistemas de producción agrícola tradicionalmente utilizados en las zonas de Los Llanos y su evolución a lo largo de las últimas décadas. De la información presentada resulta claro que el manejo agronómico de las sabanas esta íntimamente ligado al manejo del fósforo y de la materia orgánica, y que existe un enorme potencial de aprovechamiento agroecológico de estos ecosistemas, en el contexto de la agricultura de bajos insumos. Un mayor énfasis debe dársele al manejo apropiado de la materia orgánica en particular a los sistemas de cultivo gramíneas-leguminosas, y a la asociación de la fertilidad fosfórica y la fauna del suelo.

Palabras Clave: manejo agroecológico, sabanas, labranza conservacionista, roca fosfórica, lombrices de tierra

ABSTRACT

The savannas of the North of Southamerica have been, since the Spaniard arrival, under an extensive agricultural management as a consequence of their natural low fertility; that practice has been modified during the last decades with the introduction of high input agricultural techniques associated with the abundant economical resources that existed in Venezuela and a governmental subsidy oriented police to the agricultural sector. Under an intensive regime of fertilization, mechanization, and agrochemical use, it was possible to substitute the original germplasm bank for introduced species adaptated to a better nutritional status. Concerning the livestock activity, in areas with introduced pastures it was also possible to change the traditional herd adapted for centuries to low quality pastures for animals with more nutritional and zootechnical requirements.

The changes from extensive to intensive agriculture did not occur without a concomitant environmental disturbance which is mainly associated to loss of soil quality, erosion processes and compaction. Further, the proposed development model for the savanna's North of the Orinoco, appears as, non sustainable, once the strong governmental subsidy were eliminated.

In this revision the agricultural production systems traditionally used in the llanos and their evolution along the last decades are analyzed. From the information appeared that the agricultural management of this nutrient-depleted savannas is strongly linked to the phosphorus and organic matter management, also it is pointed out that an extraordinary agroecological potential exists in those ecosystems within the framework of the low input agriculture. Particular emphasis should be given to the appropriate management of the organic matter in particular gramíneas-leguminosea association, as well as the phosphorus fertility and soil fauna.

Key words: agroecological, management, savannas, conservation tillage, phosphate rock, earthworms.

generen prácticamente excedentes para el mercado (López-Hernández *et al.* 1997).

Manejo no Tradicional: Sistemas de Producción Intensivos

Actividad Agrícola Intensiva

A pesar de que la modernización de la actividad agrícola en Los Llanos de Venezuela se inicia en Los Llanos occidentales (colonias agrícolas de Turén) durante la década del cincuenta, (Pla 1990) estas experiencias, no son directamente comparables con la agricultura que se desarrolla aproximadamente 20 años después en las sabana de Los Llanos centrales y orientales. La principal diferencia entre ambos procesos de expansión agrícola radica en la calidad de las tierras incorporadas, así, los suelos de Los Llanos occidentales intervenidos para los asentamientos alrededor de Turén eran de calidad agrícola excepcional (molisoles) sin prácticamente carencias nutricionales y de muy buena estructura, mientras que los suelos de las sabanas orientales y centrales, a los cuales nos vamos a referir principalmente en esta revisión, son altamente limitados por su baja fertilidad natural (Tabla 1), más aún, en general son de muy pobre estructura y de textura arenosa. De manera tal, que estas últimas sabanas, sólo pudieron incorporarse a la actividad agrícola en el momento en que se pudieron corregir sus deficiencias nutricionales, utilizando altas dosis de fertilizantes solubles y esquemas de producción de altos insumos, (Sánchez 1989).

Al igual que en Los Llanos occidentales, en la región centro oriental del país la agricultura se desarrolla bajo un sistema de alta utilización de maquinarias y agroquímicos para el control de plagas y vegetación indeseable, proceso estrechamente ligado a una política de subsidio que adelantó el gobierno, en particular durante la década del setenta y buena parte de los años ochentas. Los cultivos comerciales emplazados en estas sabanas son principalmente el maíz (*Zea mays*) y el sorgo

(*Sorghum bicolor*), aunque los ensayos experimentales realizados en las diferentes estaciones experimentales de FONAIAP (Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias) y otras instituciones en la zona, demuestran la potencialidad de rubros como: frijoles (*Vigna unguiculata*), soya (*Glycine max*), maní (*Arachis hipogea*), yuca (*Manihot esculenta*) y arroz (*Oriza sativa*) (Sánchez 1989, Rodríguez *et al.* 1988).

No obstante la actividad agrícola intensiva con mecanización y excesivo uso de agroquímicos, ha generado un rápido y progresivo deterioro de estos suelos, que se refleja en los cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Pla 1990).

Ganadería Intensiva

En Los Llanos de Venezuela el desarrollo de la ganadería intensiva es relativamente reciente, asociado fundamentalmente al sector capitalista del campo, sin embargo, el manejo tradicional aún se sigue realizando. No obstante, nuevas formas de manejo se han estado desarrollando en las últimas dos décadas, en las que se combina la introducción de pastos asociados con el fin de fomentar la producción de leguminosas como banco de proteínas y de gramíneas de alto valor energético (vease revisión de Mata *et al.* en este mismo volumen). La sustitución de los pastos nativos por especies de mayor valor energético, protéico y nutricional conlleva igualmente a la utilización de fertilizantes.

En los sistemas tradicionales los animales presentan altas tasas de abortos y mortalidad, con ganancias de peso 40-70 Kg animal⁻¹ año⁻¹ (Fisher *et al.* 1992), valores que son sustancialmente cambiados en los sistemas intensivos de manejo, donde igualmente a consecuencia de las mejoras nutricionales se han sustituido las razas originalmente traídas por los españoles, por genotipos adaptados y de doble propósito.

En lo que se refiere al manejo de suelos, existe

la posibilidad de degradación en aquellos que contienen niveles altos a medios de arcilla bajo un intenso pisoteo por el ganado (López-Hernández 1995), tal situación es difícil que ocurra bajo el manejo extensivo tradicional de las sabanas, aunque una cierta compactación de los suelos podría ocurrir en los potreros donde se confinan los animales. En sabanas con pastos mejorados donde la capacidad de carga animal del sistema es alta, estos riesgos de compactación son mucho mayores.

Otros sistemas de manejo de las sabanas

Plantaciones forestales en sabanas bien drenadas

La posibilidad de la utilización de superficies importantes de sabanas para fines forestales con plantaciones de pinos (*Pinus caribae*) y eucalipto (*Eucalyptus sp*) fue considerada en la década de los setenta. Esta experiencia tuvo como principal premisa, por un lado, la limitación natural de las sabanas orientales para la agricultura, sin una fuerte dependencia en fuentes externas de fertilizantes, y por el otro, por la relativa abundancia y al parecer adecuada distribución de las lluvias de la zona (más de 1000 mm). La limitación hídrica, para los cultivos, no opera igual para los pinos y eucaliptos, los cuales encontraron un medio ecológico apropiado. Mediante la ingerencia del estado se planteó la sustitución de millones de hectáreas de sabana de *Trachypogon* por plantaciones con fines madereros, en proyectos como los adelantados en otras áreas boscosas del mundo (Jordan 1987, López-Hernández 1995). Los rendimientos en madera, al igual que la productividad registrada en las plantaciones, al parecer no ha sido la esperada.

Construcción de diques modulares en sabanas inundadas

Igualmente en la década del setenta, en el caso de las sabanas inundadas de texturas más finas se ensayó otra modalidad de manejo con el fin de incrementar la baja capacidad de carga natural del ecosistema. Este manejo consistía en prolongar el

periodo de inundación, en base a un dique represador de aguas de lluvia que promueve la sustitución de la vegetación natural, de baja calidad nutricional, por especies hidrófitas de mejor palatabilidad, entre las que destacan *Lambdora* (*Leersia hexandra*) y paja de agua (*Hymenachne amplexicaulis*) de mayor productividad (López-Hernández 1995a presenta una revisión al respecto).

Los diques modulares han permitido incrementar la capacidad de carga de la sabana hasta ½ animal por hectárea, con un manejo apropiado de la compuerta que regula los niveles de agua. La implementación a mayor escala del proyecto ha sido limitada, sin embargo, por una falta de continuidad en las labores de modulación y en la actualidad estaría muy afectada por los elevados costos que demanda esta infraestructura.

ALTERNATIVAS EN EL MANEJO AGROECOLÓGICO DE LOS SUELOS DE SABANA

Al considerar las limitaciones inherentes a la explotación intensiva de los ecosistemas de sabana con fines agrícola y pecuario, surge como necesidad la búsqueda de alternativas de manejo que permitan un mejor aprovechamiento de dichos recursos edáficos y ecológicos. Estas consideraciones conllevan a un uso ventajoso de las propiedades favorables de los suelos ácidos e infértiles, como principio esencial de la tecnología de bajos insumos. La propuesta ha sido presentada originalmente por Sánchez (1977) y Sánchez y Salinas (1981) para suelos ubicados en regiones tropicales boscosas enfatizándose, que la principal justificación de la propuesta, es de naturaleza socioeconómica y no agronómica. Como fruto de estas reflexiones los autores describieron un conjunto de alternativas agroecológicas de manejo (AAM) para suelos ácidos, algunas de las cuales se presentan en la primera sección de la Tabla 2.

Entre estas alternativas, las inherentes a los

Tabla 2. Alternativas agroecológicas de manejo y sistemas de acumulación y transformación de la materia orgánica.

Alternativas agroecológicas de manejo (AAM)
Cultivos adaptados
Uso de roca fosfórica
Encalado con criterio de bajos insumos
Movimiento descendente de Ca y Mg y/o encalado profundo
Manejo del agua de lluvia y desarrollo fenológico del cultivo
Manejo de la fertilización nitrogenada con criterio de estímulo de la biofertilidad
Incremento del porcentaje de agregación mediante emulsiones asfálticas
Uso de fuentes combinadas de fósforo
Sistemas de acumulación y transformación de la materia orgánica (SATMO)
Lombricultura en sabana
Barbecho
Sistemas de labranza conservacionista
Uso de coberturas y abonos verdes.
Majadas (materia orgánica equina y bovina)
Uso de materia orgánica de origen animal semi-industrializado (porquinaza, gallinaza)
Pastos asociados

Sistemas de Acumulación y Transformación de la Materia Orgánica (SATMO) han sido menos estudiadas. Estos sistemas de producción y los procesos involucrados, a su vez, están íntimamente ligados al manejo de las propiedades química y físicas de los suelos Oxisoles-Ultisoles. El establecimiento de distintos índices sensibles a la sostenibilidad agrícola permitirá la validación a una propuesta agroecológica para sabanas.

Es bien conocido que una alta proporción de suelos tropicales y la mayor parte de los suelos de sabanas son deficientes en fósforo (P), de allí que con frecuencia este elemento se ha identificado como principal factor limitante de la producción primaria y secundaria de estos ecosistemas (López-Hernández 1991).

En los sistemas agrícolas de acumulación y transformación de la materia orgánica en sabana pueden identificarse de acuerdo a las entradas y salidas, sistemas de importación: aquellos asociados con la acumulación de excretas de origen animal (semovientes y aves) y material vegetal (abonos verdes) traídos desde áreas colindantes al sistema de producción; y sistemas establecidos: aquellos donde la materia orgánica natural o cultivada se

genera *in situ*. Entre los establecidos se incluyen, el barbecho que puede ser natural o dirigido, los sistemas de labranza conservacionista, el uso de coberturas orgánicas, abonos verdes y los pastos cultivados producidos *in situ*; mientras que los de importación incluyen: el uso de coberturas y abonos verdes de origen exógeno, además de la materia orgánica de origen animal (equina, bovina, porquina y/o avícola), traída e incorporada al sistema.

En ambos sistemas deben incluirse los organismos del suelo que participan en la transformación de la materia orgánica incorporada: bacterias, hongos, oligoquetos, actinomicetos, arácnidos, milipodos, entre otros.

Barbecho y sistemas de labranza

En los ecosistemas de sabanas, la degradación de la estructura y la erosión acelerada de los suelos son algunos de los problemas de manejo que ocurren cuando los cultivos continuos reemplazan los tradicionales sistemas de quema-rotación y barbecho. En consecuencia se ha recomendado como protección, el uso de enmiendas orgánicas y cobertura de residuos post-cosecha (Lal 1974, 1976). En lo que concierne a los sistemas de labranza, la

no labranza y la labranza mínima han sido consideradas como prácticas de labranza de conservación, al permitir una permanencia mayor de los restos post-cosecha en la superficie de los mismos. Aun cuando existe reciente información sobre la evaluación de estos sistemas de labranza conservacionista para la regiones de clima templado (Baeumer y Bakermans 1973, Moschler y Martens 1975, Stinner *et al.* 1984), existe menos información de la aplicabilidad de la técnica de no labranza en áreas del trópico.

Desde 1970 se ha practicado una agricultura intensiva en la región de Ultisoles arenosos en las sabanas del noreste de Venezuela por los que estos suelos se han visto afectados por la erosión y la consiguiente reducción de la capa arable y fertilidad. Sánchez y Salinas (1981) y Pla (1990) han indicado que en las regiones de sabana donde se cultiva maní y sorgo, es común observar que se realizan operaciones de labranza excesivamente profundas y frecuentes, dando como resultado suelos extremadamente pulverizados, que se lavan fácilmente durante lluvias intensas. En consecuencia, prácticas de manejo como la no labranza o la labranza reducida contribuirían a minimizar estos procesos.

Se han hecho pocos experimentos multidisciplinarios que describan el efecto de los sistemas de labranza sobre las características del suelo y los rendimientos agrícolas, tanto en regiones templadas como tropicales; en lo que respecta a procesos, el volumen de información existente sobre el efecto de los sistemas de labranza conservacionista sobre los ciclos del nitrógeno, y del fósforo es comparativamente menor (Fleige y Baeumer 1974, Groffman 1985, Casanova 1991, O'Halloran 1993). Ike (1987) en sabanas de Nigeria realizó un experimento de labranza para cultivos de ciclo corto. En la Tabla 3, se presentan los resultados de rendimiento del maíz obtenidos en suelos de textura media, concluyéndose que las prácticas de labranza convencional pueden ser eliminadas sin sacrificar significativamente los rendimientos.

Tabla 3. Rendimiento (Kg ha^{-1}) de maíz (*Zea mays L.*) en grano, obtenidos en un ultisol en sabanas de Nigeria sometidas a distintas variantes de labranza. (Ike 1987)

TRATAMIENTOS	Kg ha^{-1}	RM*
Labranza convencional	2353	100
No labranza	2222	94
Cero labranza	1215	52
Labranza reducida (1)	2071	88
Labranza reducida (2)	2091	89
Labranza reducida (3)	2326	99
Labranza reducida (4)	2267	96
Labranza reducida (5)	2286	97

*porcentajes de rendimientos máximos, cálculos propios. Los números entre paréntesis representan variantes de labranza reducida

Los sistemas de labranzas también pueden modificar de manera importante los componentes de la fracción liviana (raíces, materia orgánica sin descomponer) existente en suelos bajo laboreo; la Figura 1, presenta los resultados obtenidos por Ojeda (1995) del fósforo total en la fracción liviana (FL) de un Arenic paleustul, francosa gruesa, representativo de las sabanas orientales de Venezuela bajo diferentes sistemas de labranza. Los tratamientos de barbecho (B) y labranza mínima

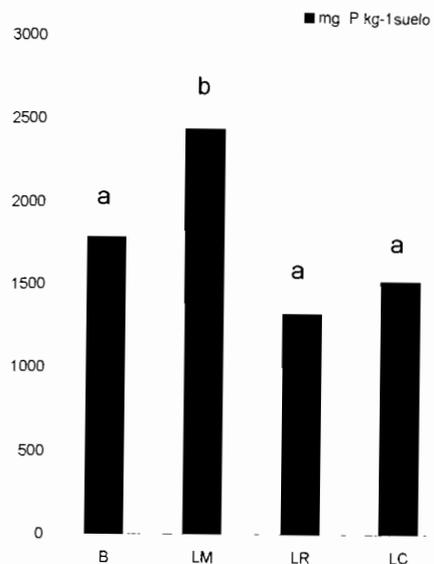


Figura 1. Fósforo total en la FL (mg de P Kg^{-1} de suelo) obtenido en suelos representativos de las sabanas orientales de Venezuela.

(LM) presentaron una tendencia similar, este último con un valor significativamente más alto de fósforo total contenido en la FL, 1780 y 2440 mg P Kg⁻¹ suelo, respectivamente, en contraste con los resultados obtenidos para los tratamientos de labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC) que presentaron valores similares entre sí pero inferiores en comparación con los tratamientos anteriores, 1320 y 1520 mg de P Kg⁻¹ de suelo, respectivamente.

La importancia de estos últimos resultados es que reflejan un efecto de la materia orgánica (m.o.), que a largo plazo puede contribuir a modificar la fertilidad fosfórica potencial en estos suelos altamente meteorizados (Ojeda y López-Hernández 1994). Autores como Guertal *et al.* (1991) han señalado que la materia orgánica podría alterar la capacidad de retención de P y distintas características mineralógicas del suelo. Cole y Heil (1981) destacan el papel de la acumulación de la materia orgánica sobre las fracciones de P biodisponibles.

Coberturas y abonos verdes

La aplicación de enmiendas orgánicas que permitan un mejor desarrollo de los cultivos ha sido una práctica agrícola implementada desde tiempos remotos. Un interés particular sin embargo le ha sido otorgado a los abonos verdes en los últimos años y su utilización forma parte de los esquemas agroecológicos. Tales enmiendas modifican la solubilidad de muchas sustancias minerales del suelo e incrementan durante su descomposición la actividad de los microorganismos. Los abonos verdes a su vez reducen en cierto grado la acidez del suelo al disminuir la movilidad del aluminio (Davelouis 1990); elevan la capacidad buffer, la retención de humedad y mejoran la estructura edáfica al crear mejores condiciones en particular en los suelos de textura arenosos (Yágodin *et al.* 1986).

Wade y Sánchez (1983) bajo las condiciones de un Ultisol con alto contenido de aluminio y baja

fertilidad, encontraron que los rendimientos obtenidos durante cinco cosechas no mostraron diferencias significativas para tratamientos con fertilización inorgánica completa en comparación con aquellos en que el kudzú (*Pueraria phaseoloides*) fue incorporado como abono verde.

Un resultado similar al de Wade y Sánchez (1983) fue obtenido por Ojeda *et al.* (datos no publicados) en sabanas de suelos ácidos-arenosos localizadas al sur del Orinoco. El experimento incluyó tratamientos de fertilización con fuentes combinadas: orgánica (*P. maximum*) e inorgánica (NPK) cuyas variantes se describen en la Tabla 4. Los resultados de rendimiento del cultivo (*Vigna unguiculata* var. Tuy) muestran la importancia de las enmiendas orgánicas frente al uso exclusivo de las fuentes inorgánicas de fertilización. Los más bajos rendimientos obtenidos en suelos sin cobertura, pueden haber estado asociados a pérdidas por lavado y a las altas temperaturas que predominaron durante el período vegetativo del cultivo.

Tabla 4. Rendimiento de frijol (*Vigna unguiculata* var. Tuy) bajo distintas alternativas de manejo de la fertilidad en sabanas al sur del río Orinoco, Venezuela (Ojeda, Lopez-Hernández 1997).

Abono verde		NPK (12-24-12)	Rendimiento (en grano) Kg ha ⁻¹
Incorporado T ha ⁻¹	En cobertura		
8	–	200	1663
5	–	300	945
4	4	200	1017
4	–	200	1288
4	–	400	1703
–	8	400	1128
–	–	600	318

NOTA: Estos rendimientos fueron obtenidos en parcelas de tamaño semi-comercial. Los valores se enmarcan dentro de los rendimientos experimentales mínimos y máximos de 1297 y 2400 Kg ha⁻¹ (Fonaiap 1994).

Tabla 5. Índice de adsorción de fósforo (mg g^{-1}) en un suelo tratado con abonos verdes de diferentes calidades (% P) (Ojeda 1995)

Tratamientos	% P	Días después de la incubación			
		2	8	32	64
Control	0,00	+5,30	+5,50	+5,30	+4,95
<i>Pueraria phaseoloides</i>	0,11	+1,72	+2,60	+2,90	+2,65
<i>Cenchrus ciliaris</i>	0,26	-2,15	-0,16	+0,83	+1,13
<i>Pennisetum purpureum</i>	0,38	-0,18	-2,10	-0,42	-0,50

Distintos autores han señalado que el uso de los restos postcosecha regula la temperatura y humedad del suelo (Lal 1988). Salau *et al.* (1992) al estudiar el efecto de coberturas plásticas, orgánicas y combinaciones entre éstas, sobre las propiedades de un Ultisol arenoso localizado al sureste de Nigeria, concluyen que la temperatura máxima promedio mensual y la succión hídrica del suelo fueron significativamente más bajas en los tratamientos con cobertura orgánica de pasto elefante (*Pennisetum purpureum*) 15 meses después de la plantación. En los tratamientos con coberturas orgánicas fueron también determinados valores superiores de pH, carbono orgánico, nitrógeno total y de K, Ca y Mg intercambiables.

Además de los efectos de carácter físico atribuidos a los abonos verdes señalados anteriormente, otros resultados indican que en los suelos arenosos de sabana con baja capacidad de adsorción aniónica y catiónica, la biodisponibilidad de fósforo es particularmente influida en presencia de dichas enmiendas. Ojeda (1995) en experimentos de incubación con abonos verdes de distintos contenidos de P, en un Arenic paleustul ácido de las sabanas Orientales de Venezuela estudió el cambio de P en solución (Tabla 5). Los resultados indican un marcado efecto de la calidad en P del abono verde en relación a los fenómenos de adsorción y el contenido de P biodisponible; en el caso del pasto Elefante (*Pennisetum purpureum*), el P incorporado al suelo es suficiente para saturar los sitios de adsorción y garantizar una mayor biodisponibilidad de este elemento, mientras que para el ensayo con Kudzú Tropical (*Pueraria phaseoloides*) con un

contenido de 0,11% P, se registran fenómenos de adsorción, tal como fue previamente demostrado por Singh y Jones (1976) para enmiendas orgánicas con bajos contenido de P.

Uso de fosfato de roca y fuentes combinadas de fósforo

El uso de la roca fosfórica en las sabanas venezolanas y colombianas, localizadas en su mayoría en áreas próximas a ejes fluviales (Mazzei 1989), constituye una opción económica a futuro, si se considera que gran parte de los recursos fluviales son navegables durante todo el año, lo cual reduciría significativamente los costos de transporte; además es de considerar las importantes reservas de fosfato de roca que ambos países poseen, en particular Venezuela que ocupa la cuarta posición mundial (Casanova 1991a).

La roca fosfórica además de fuente de P sirve como fuente encalante, de manera tal que su uso se ha sugerido para suelos ácidos de sabana donde podría incrementar su reactividad y eficiencia agronómica relativa, como fuente dual de fósforo y calcio. López *et al.* (1992) al evaluar 17541 análisis de suelos venezolanos confirman, los bajos valores de pH (menores a 5,5) y de calcio disponible para las sabanas venezolanas. Sin embargo, las deficiencias en Ca y Mg pueden ser más limitantes *per se* que el grado de toxicidad por aluminio. Por ejemplo, en el estado Amazonas, 89% del total de las observaciones de la región presentaron valores de pH por debajo de 5,5 (López *et al.* 1992), no obstante, los valores de aluminio intercambiable

Tabla 6. Uso de roca fosfórica en agroecosistemas de sabana.

Ubicación	pH	Textura	Cultivo	Autores
1. Calabozo. Edo. Guárico	4,5	FAa	<i>Andropogon gayanus</i>	López et al. (1994)
2. El Sombrero. Edo. Guárico	5,3	76% arena	<i>Sorghum bicolor</i>	Casanova (1991)
3. El Tigre. Edo. Anzoátegui	5,0	95% arena	<i>Sorghum bicolor</i>	Casanova (1991)
4. Tierra Buena. Edo. Portuguesa	5,0	Fa	<i>Zea mays</i>	Kadi et al. (1991)

fueron generalmente inferiores a 1,5 cmol kg⁻¹ de suelo, lo cual puede corregirse con pequeñas cantidades de cal agrícola (Schargel 1977). Los suelos de sabana dominados por arcillas 1:1 requieren un menor nivel de saturación de bases para una disponibilidad adecuada de Ca y Mg, que aquellos con predominio de arcillas 2:1. Ello constituye una ventaja de los Oxisoles y Ultisoles predominantes en tales ecosistemas (Sánchez y Salinas 1981).

Las características señaladas en estos ecosistemas pueden ser ventajosas también para el manejo de la fertilización fosfórica con roca fosfórica (RF). López y Nieves (1993) al estudiar el efecto de los niveles de fósforo y calcio disponibles, sobre la reactividad de la roca fosfórica en cinco suelos ácidos de las sabanas venezolanas, registran una mayor reactividad de la RF en los suelos que presentaron mayor capacidad de adsorción de P.

En la Tabla 6 se presentan las principales características de los agroecosistemas de sabana en que se han establecido ensayos con RF. La Tabla 7 contiene el resultado de los tratamientos con los valores más altos de rendimientos relativos (RR) y eficiencia agronómica relativa (EAR) obtenidos en los agroecosistemas caracterizados en la Tabla 6. Estos resultados demuestran la potencialidad que tienen tales insumos y en particular destacan (caso de estudio 1) por su incidencia en los costos, los ensayos con RF que no han recibido tratamiento previo.

Una diferencia sustancial de precios en el orden de 67% de su costo en \$ entre las fuentes de alta solubilidad y la RF exige una breve consideración económica. López *et al.* (1994) obtuvieron el mayor rendimiento neto (RN= retorno total-costo del fertilizante) al utilizar dosis de 600 y 700 Kg ha⁻¹ de RF en ultisoles ubicados en ecosistemas de sabanas del estado Guárico, Venezuela. Los autores, al comparar los resultados obtenidos con 500 Kg de

Tabla 7. Tratamientos con los más altos valores de rendimientos relativos (RR) y eficiencia agronómica relativa (EAR) en agroecosistemas de sabana

Casos Estudiados*	Fuente de Fósforo	P kg ha ⁻¹	RR %	EAR
1.	RF + Mic ¹ .	30	97	-
1.	RF	60	86	-
2.	RF MFa. (15%) ²	26	94	71
2.	RF R a. (40%) ³	26	93	67
3.	RF MF a. (15%) ²	26	-	93
3.	RF R a. (40%) ⁴	26	-	109
4.	RF R a. (40%) ⁴	26	-	126

*Agroecosistemas estudiados según orden de la Tabla 6.

¹ Microelementos, 2 y 3 Kg ha⁻¹ de ZnSO₄ y CuSO₄ respectivamente.

² RF de Monte Fresco, acidulada al 15% con ácido sulfúrico y fosfato monoamónico

³ RF de Riecito, acidulada al 40% con ácido sulfúrico

⁴ RF de Riecito, acidulada al 40% con ácido sulfúrico y fosfato monoamónico

Tabla 8. Rendimientos de frijol (*Vigna unguiculata*, var Tuy) en experimentos con Fuentes Combinadas de Fosforo, sabanas de la amazonía venezolana.

TRATAMIENTOS	FUENTES DE P (%)			Rendimientos Kg ha ⁻¹	%RM*
	P soluble	Abono verde	Roca Fosfórica		
A	20	20	60	614	70
B	30	50	20	589	67
C	60	10	30	875	100

*porcentaje de los rendimientos máximos

RF ha⁻¹ y dosis equivalentes de P aplicado como super fosfato triple obtuvieron un valor superior al retorno económico obtenido con RF. Un resultado similar es presentado por Casanova (1991a) quien obtuvo igual rentabilidad con RF aplicada en bandas, a razón de 22 Kg de P ha⁻¹ durante la primera cosecha.

También las diferentes fuentes de P (orgánicas e inorgánicas) son importantes de evaluar en un esquema de bajos insumos en sabanas. En la Tabla 8 se presentan las características principales de un experimento realizado en las sabanas de la amazonía venezolana. El ensayo incluyó distintas combinaciones de fuentes de fósforo: fosfato soluble (P sol), abono verde (A.V) y roca fosfórica (RF) en cultivo asociado de frijol (*Vigna unguiculata* var. Tuy) y yuca (*Manihot esculenta*). Los resultados demuestran la posibilidad de reducir las fuentes de P de alta solubilidad, sin sacrificar drásticamente los rendimientos, que alcanzaron 67-70% del máximo. Este experimento sintetiza las bondades ya señaladas tanto para los abonos verdes como para la roca fosfóricas.

Economía del agua de lluvia y papel de las emulsiones asfálticas en agroecosistemas de sabana

En los suelos de las sabanas la economía hídrica constituye un aspecto importante y susceptible de manejo al evaluar sus características

agroecológicas (clima, suelo y planta). Entre las alternativas ya descritas, la labranza mínima, el uso de coberturas y el encalado profundo (enraizamiento) son algunas de las prácticas estrechamente ligadas con el aprovechamiento del agua. Una adecuada sincronización del momento de siembra, del contenido de agua disponible en el suelo y de la fenología del cultivo son factores a considerar dentro de la estrategia de manejo en estos ecosistemas, particularmente en las sabanas arenosas. En la Tabla 9 se presentan los resultados de rendimiento del cultivo sorgo (*Sorghum bicolor*) obtenidos por Solorzano (1989) en base a la fecha de siembra y puede observarse que una reducción de la precipitación durante el ciclo de siembra afecta de manera considerable los rendimientos obtenidos.

Debido a las altas pérdidas por escorrentías que ocurren en los suelos arenosos de las sabanas, se ha ensayado, además de las coberturas de origen biológico para reducir el impacto de las gotas de lluvias, cubiertas artificiales para la protección del suelo. Pla *et al.* (1984) destacan que las pérdidas por escorrentia superficial de un alfisol del estado Guárico, Venezuela, fueron insignificantes al comparar los suelos con y sin cubierta de asfalto. Una mayor productividad para el cultivo ensayado, fue igualmente señalada por los autores. El uso de emulsiones asfálticas también demuestra un incremento en el porcentaje de agregados, mayores de 1 mm, estables al agua en suelos de bajo desarrollo estructural (Pla 1978).

Tabla 9. Rendimiento de sorgo (*Sorghum bicolor* L) en el estado Guárico, Venezuela, durante distintas fechas de siembra (Solorzano, 1989)

Fecha de siembra (1983)	Precipitación durante el ciclo (mm)	Rendimientos (Kg ha ⁻¹)	% del rendimiento máximo
06-06 (0)*	560 (100)**	6.640	100
14-06 (8)	432 (77,1)	5.292	80
30-06 (24)	368 (65,7)	4.919	74
15-07 (39)	360 (64,3)	2.799	42

* valores entre parentesis significan días después de la primera fecha de siembra; y

** % de reducción de la precipitación durante el ciclo del cultivo, a partir del 06-06-1983.

Manejo de la fauna del suelo en los ecosistemas de sabanas

Si bien en las últimas décadas han habido algunos tímidos intentos por hacer uso de los procesos en que interviene la fauna del suelo en el manejo agronómico de la fertilidad y estructura del suelo, son pocos los trabajos reseñados en la literatura. Particular énfasis se le ha dado en el caso de las regiones templadas al papel que juegan las lombrices de tierra, mientras que en las zonas tropicales los comejenes o termitas han sido mejor estudiados, en particular en los ecosistemas de sabanas del Africa y Australia (Lee y Wood 1971 López-Hernández 1981, Lavelle *et al.* 1994). Así, en la literatura moderna es posible ahora encontrar términos como: drilósfera y termitósfera para referirse no solo a las poblaciones de lombrices y termitas, respectivamente, sino también a los espacios y procesos en que estas poblaciones están involucradas.

En lo que concierne a las termitas algunos ensayos de la literatura plantean la utilización de sus nidos como abonos, ya que estas estructuras son por lo general mucho más ricas en nutrientes que el suelo asociado (Lee y Wood 1971, López-Hernández y Febres 1984), en particular para el caso de los grandes termiteros de *Macrotermes falciger* de las sabanas africanas (Watson 1977). Un manejo de esta naturaleza se considera de poca importancia

en el caso de las sabanas al norte de Suramérica, por el escaso volumen de las estructuras que estos organismos construyen.

En cuanto a las lombrices de tierra (LT) estas están presentes en la mayoría de los suelos, pero en particular en el trópico sus poblaciones son más abundantes en los suelos de las sabanas que en los ecosistemas de bosque (Lavelle *et al.* 1994). La producción y actividad de las LT es estimulada mediante el uso de prácticas apropiadas de manejo: enclavado, laboreo mínimo, uso de abonos verdes y manejo cuidadoso de los agroquímicos.

En los suelos arenosos de baja fertilidad y bajos contenidos de materia orgánica del Amazonía peruano Lavelle *et al.* (1994) han estudiado los efectos de las lombrices de tierra en la producción de *P. maximum*. Los resultados obtenidos demuestran un incremento de los rendimientos y altas concentraciones de nitrógeno y fósforo en las raíces de este cultivo, asociado con el aumento de la biomasa de lombrices inoculadas. Otros experimentos registran un incremento del rendimiento en grano en cultivos de arroz (*Oriza sativa* L.), maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Vigna unguiculata* L.) asociados con el efecto de las lombrices, al igual que a cambios en la densidad aparente, tasa de mineralización y régimen hídrico del suelo.

Como previamente se señaló, la información sobre el rol agronómico de la fauna del suelo para las sabanas es escaso; sin embargo conviene enfatizar que el propio manejo de la m.o. contribuiría a modificar drásticamente la población y actividad de la meso y macrofauna; observaciones preliminares sobre suelos arenosos de sabanas del Amazona venezolano indican un significativo cambio en la población de animales del suelo bajo sistemas orgánicos de producción en sabanas (Araujo 1996, López-Hernández *et al.* 1997). Tal incremento en la población de invertebrados estuvo altamente relacionada con los mayores valores de producción agrícola en estos agroecosistemas.

Ojeda (1995) al comparar los resultados de fósforo soluble en bicarbonato de sodio (Pi bic) para diferentes tratamientos (Figura 2) evidencia los efectos de la cachaza (Ccz), un residuo agroindustrial de la caña de azúcar utilizado como enmienda orgánica, y de la presencia de la lombriz (L) *Amyntas hawayanus*, en el incremento del contenido de fósforo inorgánico soluble en bicarbonato de sodio (Pi bic). Menores incrementos se obtuvieron en los tratamientos con la leguminosa, *Pueraria phaseoloides* (Kud) utilizada como abono

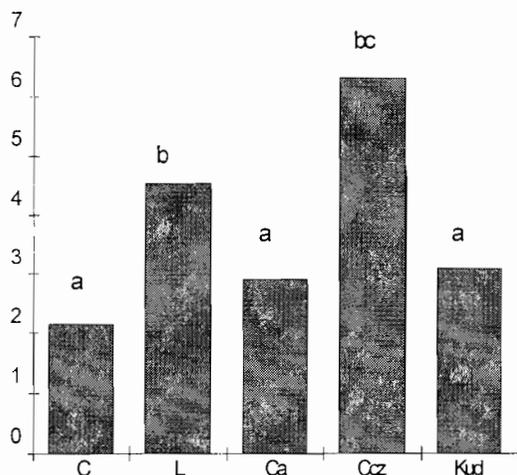


Figura 2. Fracción de fósforo inorgánico soluble en bicarbonato de sodio ($\mu\text{g P g}^{-1}$). C: Control; L: Lombrices; Ca: CaCO_3 ; Ccz: Cachaza; Kud: Kudzú Tropical (*Pueraria phaseoloides*) (Ojeda 1997).

verde y el CaCO_3 (Ca), los cuales no difieren significativamente del control (C).

La morfología y taxonomía de *Amyntas* ha sido descrita por Drachenberg (1992) y es particularmente relevante que la mayoría de los representantes de esta familia presentan un sistema excretor especializado constituido por nefridios que excretan directamente dentro del tubo digestivo y de esta forma reduce los riesgos de deshidratación en un gran porcentaje (Mill 1978). Este atributo permite que sus poblaciones tengan una gran actividad tanto en la temporada menos lluviosa como durante los meses de mayor precipitación, lo cual le brinda la capacidad de resistir bajos niveles de humedad, muy frecuentes en los ecosistemas de sabanas estacionales. Estos resultados y los atributos que caracterizan la ecología de *Amyntas hawayanus* demuestran su potencialidad como alternativa en los sistemas agrícola cuyo régimen de producción presente un patrón de acumulación de materia orgánica.

El efecto de las LT sobre los cambios de pH del suelo ha sido registrado por distintos autores (Schrader 1995, Barois y Lavelle 1986, Sharpley y Syers 1976, Ojeda 1995). Springett (1985) citado por Logsdon y Linden (1992) ha indicado incrementos del pH del suelo en un gradiente de profundidad de 20 cm, al comparar ensayos de encalado en presencia de la lombriz *A. longa* y los tratamientos control (encalado sin lombrices). Tales resultados, concuerdan con la propuesta de Sánchez y Salinas (1981) al destacar que con la baja capacidad efectiva de intercambio catiónico muy característica de los suelos arenosos de las sabanas, se puede favorecer el movimiento descendente del calcio y el magnesio aplicado hacia las capas del subsuelo, disminuyendo de esta manera las limitaciones causadas por la acidez a mayor profundidad y aumentando el desarrollo del sistema radical.

Otros resultados para pastizales templados (Mackay *et al.* 1982) demuestran un incremento de

los rendimientos de *Lolium perenne* en presencia de *Allolobophora caliginosa* y *Lubricus rubellus* fertilizados con roca fosfórica en comparación con los tratamientos en ausencia de lombrices. Los autores atribuyen dichos resultados a la mezcla íntima de la roca fosfórica con el suelo una vez que es ingerida por las lombrices. La necesidad de estudiar estos procesos bajo las condiciones de los ecosistemas de las sabanas, constituye un importante escenario para futuras investigaciones agroecológicas.

CONCLUSIONES

Las sabanas al norte de Suramérica han estado desde el arribo de los españoles sometidas a un manejo agropecuario extensivo, entre otras razones debido a la baja fertilidad natural de sus suelos; tal modalidad de explotación se ha visto modificada en los últimos decenios con la introducción de técnicas agrícolas de altos insumos asociada a los abundantes recursos económicos de Venezuela y la política de subsidios para el sector agropecuario desarrollada por el gobierno. Bajo un régimen intensivo de fertilización, mecanización y uso de agroquímicos, para el control de plagas, enfermedades y de vegetación indeseable, fue posible sustituir el banco de germoplasma original por especies de cultivos adaptados a las condiciones mejoradas. Igualmente en lo que concierne a la actividad ganadera, en áreas con pastos cultivados, se pudo cambiar el rebaño secularmente adaptado a condiciones de pastos pobres, por semovientes de mayor potencialidad genética y exigencias zootécnicas.

El paso de agricultura extensiva a intensiva no ocurrió sin un consecuente deterioro ambiental reflejado principalmente en incrementos en la pérdida de la capacidad productiva de los suelos, por procesos de erosión y compactación. Aunado a estos problemas, el modelo de desarrollo propuesto en los últimos años, principalmente para las sabanas al norte del río Orinoco, demuestra su no sostenibilidad desde el punto de vista económico y ambiental, una vez que los fuertes subsidios

gubernamentales fueron eliminados y las evaluaciones de impacto fueron realizadas.

En esta revisión se analizan los sistemas de producción agrícola tradicionalmente utilizados en las zonas de Los Llanos y su evolución a lo largo de las últimas décadas. De la información presentada resulta claro que el manejo agronómico de las sabanas está íntimamente ligado al manejo del fósforo y de la materia orgánica, y que existe un enorme potencial de aprovechamiento agroecológico de estos ecosistemas, en el contexto de la agricultura de bajos insumos. A pesar de la abundante información agronómica tradicional, sobre la respuesta de cultivos a la fertilización y otras prácticas, la dinámica de los procesos involucrados en los distintos sistemas de producción descritos en esta revisión no son bien conocidos. Bajo las condiciones de los agroecosistemas de sabanas, un énfasis particular debe darse al manejo apropiado de la materia orgánica en particular de las asociaciones gramíneas-leguminosas, al igual que a la fertilidad fosfórica y a la fauna del suelo, debido a su gran potencial como alternativas en el manejo agroecológico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ing. Agro. Frans Torres (FONAIAP-Estado Amazonas) la colaboración en la génesis e implementación de algunos de los experimentos reseñados. Este trabajo forma parte de un proyecto de investigación que sobre el efecto de las prácticas agrícolas en suelos de sabanas, adelanta el Laboratorio de Estudios Ambientales del Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela con el apoyo financiero del CONICIT (Proyecto S1-2164 y RP VII 290089).

LITERATURA CITADA

ARAUJO, Y. 1996. Estudio preliminar de las comunidades de lombrices de tierra en un sistema de agricultura orgánica en sabanas aledañas de Puerto Ayacucho.

- Estado Amazonas. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- BAEUMER, K. y W. A. BAKERMANS. 1973. Zero-tillage. *Advances in Agronomy* 25 : 77-120.
- BAROIS, I. y P. LAVELLE. 1986. Changes in respiration rate and some physicochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta). *Soil Biology Biochemistry* 18:539-541.
- CASANOVA, E. 1991a. Uso de los recursos nativos de fósforo en cultivos de importancia en Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía* 17:253-279.
- CASANOVA, E. 1991. Phosphorus dynamics in cropping systems under high and low input technology in Venezuela. p. 221-228. *In* H. Tiessen, D. López-Hernández y I. Salcedo (eds.) *Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Systems. Regional Workshop 3 South and Central America. November 28 to December 6, 1989 in Maracay, Venezuela. Proc. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.*
- COLE, C. V. y R. D. HEIL. 1981. Phosphorus effects on terrestrial nitrogen cycling. p. 363-374. *In* F. E. Clarke y T. Rosswall (Ed.) *Terrestrial Nitrogen Cycle, Processes, Ecosystems and Management Impact. Ecological Bulletin. (Stockholm)* 33.
- DAVELOUIS, J. R. 1990. Green manure applications to minimize aluminum toxicity in the Peruvian Amazon. Graduate Faculty of North Carolina State University. Department of Soil Science. Ph. D. Thesis.
- DRACHENBERG, C. E. 1992. Morfología y taxonomía de tres representantes de la familia Megascolecidae (Annelida: Oligochaeta) de Venezuela. *Memoria de Sociedad de Ciencias Naturales La Salle* 52:105-112.
- FISHER, M.J., C.E. LASCANO, R.R. VERA, y G. RIPPSTEIN. 1992. Integrating the native savanna resources with improved pastures. pp. 75-99. *In* CIAT: Pastures for the tropical lowlands. CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). CIAT' Contribution. Cali, Colombia. 238 p.
- FLEIGE, H. y K. BAEUMER. 1974. Effect of zero-tillage on organic carbon and total nitrogen content, and their distribution in different N-fractions in locssial soils. *Agro-Ecosystems* 1:19-29.
- FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS/CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. 1994. Fonaiaip su contribución al desarrollo de la agricultura venezolana. Maracay-Venezuela. Fonaiaip/Ceniap. 84 p. (Serie G-Nº 13).
- GROFFMAN, P. 1985. Nitrification and denitrification in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal* 49:329-334.
- GUERTAL, E. A., D. J. ECKERT, S. J. TRAINA y T. J. LOGAN. 1991. Differential phosphorus retention in soil profiles under no-till crop production. *Soil Science Society of America Journal* 55:410-413.
- HERNÁNDEZ-ROSAS J. I. 1996. Relaciones funcionales de las comunidades herbáceas de la región de "El Salao", sur del Estado Guárico, Venezuela. Tesis Doctoral en Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. 322 pp.
- IKE, I. F. 1987. Influence of tillage practice and nitrogen and phosphorus fertilizer rates on crop yields in tropical savanna. *Soil Science* 143: 213-219.
- JORDAN C.F. 1987. *Amazonian Rain Forest. Ecological Studies* 60. Springer, New York.
- KADI, N., M. SÁNCHEZ, J. HURTADO y R. GÓNZALEZ. 1991. Evaluación agronómica de la roca fosfórica parcialmente acidulada en suelos ácidos. *Revista de la Facultad de Agronomía* 17:449-459.
- LAL, R. 1974. No-tillage effects on soil properties and maize production in western Nigeria. *Plant and Soil* 40:589-606.
- LAL, R. 1976. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigeria. *Soil Science Society of America Journal* 40:762-768.
- LAL, R. 1988. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment* 24:101-116.
- LAVELLE, P., M. DANGERFIELD, C. FRAGOSO, V. ESCHENBRENNER, D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ, B. PASHANASI y L. BRUSSAARD. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility p. 137-169. *In* O.L. Woomer and M. J. Swift (ed.) *The Biology Management of Tropical Soil Fertility. TSBF. A Wiley-Sayce Publication.*
- LEE, K. E. y WOOD, T. G. 1971. *Termites and Soils. Academic Press, London and New York, 251 p.*
- LOGSDON S. D. y D. R. LINDEN. 1992. Interactions of earthworms with soil physical conditions influencing plant growth. *Soil Science* 154:330-337.
- LÓPEZ, I., J. GILABERT y E. GARCÍA. 1992. Características de acidez de los suelos venezolanos, vista a través de los resúmenes de análisis rutinarios. *Fonaiaip Divulga* 39:17-18.
- LÓPEZ, I., M. LÓPEZ y A. NIDIA. 1994. Efecto de dos fuentes de fósforo sobre el rendimiento del pasto *Andropogon gayanus* en cuatro suelos con propiedades físicas y químicas variables. *Agronomía Tropical* 44:67-80.
- LÓPEZ, I., M. LÓPEZ, A. SÁNCHEZ, L. NIEVES y H. WIEDENHOFER. 1994a. Respuesta del pasto

- Andropogon gayanus* a la roca fosfórica en dos suelos ultisoles del Estado Guárico. *Agronomía Tropical* 44:81-100.
- LÓPEZ, I. y L. NIEVES. 1993. Efecto de los niveles de fósforo y calcio disponibles, capacidad de adsorción de fósforo y pH del suelo sobre la reactividad de la roca fosfórica en cinco suelos ácidos de Venezuela. *Agronomía Tropical* 43:59-74.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. 1981. Los comejenes y el suelo. pp. 76-109. *In* D. Lopez-Hernandez: Tópicos sobre procesos biológicos en suelos Trabajo de Ascenso a Titular, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas 134pp.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. 1991. Phosphorus dynamics in a flooded savanna. pp. 95-105. *In* H. Tiessen, D. López-Hernández y I. Salcedo (eds.): Phosphorus Cycles in Terrestrial and Aquatic Systems. Proc. Regional Workshop 3 South and Central America. University of Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. 1995. Impact of agriculture and livestock production on tropical soils in Latin America. 405-418. *In* B. L. Turner II, A. Gómez Sal, F. González Bernáldez y F. di Castri (eds) Global land use change: A perspective from the Columbian Encounter. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid 446p.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. 1995a. Balance de elementos en una sabana inundada. Mantecal, Estado Apure, Venezuela. *Acta Biológica Venezuela* 15: 55-88.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. y A. FEBRES. 1984. Changements chimiques et granulométriques produits dans des sols de Côte d'Ivoire par la présence de trois espèces de termites. *Revue d'Ecologie et Biologie du Sols* 21(4):477-89
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D., M. P. GARCÍA-GUADILLA, F. TORRES, P. CHACÓN y M. G. PAOLETTI. 1997. Identification, characterization and preliminar evaluation of venezuelan production system in Puerto Ayacucho savanna-forest ecotone. *Interciencia* 22:307-314.
- MACKAY, A. D., J. K. SYERS, J. A. SPRINGETT y P. E. H. GREGG. 1982. Plant availability of phosphorus in superphosphate and phosphate rock as influenced by earthworms. *Soil Biology Biochemistry* 14:281-287.
- MAZZEI, S. 1989. El eje fluvial Apure-Orinoco y su función en la utilización de las rocas fosfóricas de la región suroeste. En: Memoria Primer Seminario de Fósforo en la Agricultura Venezolana. Caracas, del 25-27 de enero de 1989. pp.224-236.
- MILL, P. J. 1978. *Physiology of Annelids*. Academic Press, London.
- MOGOLLÓN L. F. y J.A. COMERMA. 1994. Suelos de Venezuela. Edit. Xlibris. 313pp.
- MOSCHLER, W. y D. MARTENS. 1975. Nitrogen, phosphorus, and potassium requirements in no-tillage and conventionally tilled corn. *Soil Science of America Journal* 39:886-891.
- O'HALLORAN, I. P. 1993. Effect of tillage and fertilization on inorganic and organic soil phosphorus. *Canadian Journal of Soil Science* 73:359-369.
- OJEDA, A. D. 1995. Transformación del fósforo orgánico en un suelo ácido de sabana, sometido a distintas alternativas de manejo agroecológico. Tesis Doctoral Postgrado en Ecología, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Caracas 164 pp.
- OJEDA, A. D. y D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ. 1994. Changes of phosphorus contents in light and heavy soil organic matter induced by different tillage systems. p. 673-678. *In* N. Senesi y T. M. Miano (ed.) Humic Substances in the Global Environment and Implications in Human Health, 6th International Meeting International Humic Substances Society, September 20-25, 1992. Istituto di Chimica Agraria, Università di Bari, Monopoli, Italy.
- OJEDA, A. D. y D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ. 1997. Cambios de biodisponibilidad de fósforo (P) a tasas de mineralización y solubilización diferencial en un ultisol de sabana. Seminario Biodiversidad, Agroecosistemas y Perspectivas de la Agricultura Sostenible: Caso Amazonas. IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente. Universidad Simón Bolívar, Caracas.
- PLA, I. 1978. Dinámica de las propiedades físicas y su relación con problemas de manejo y conservación de suelos agrícolas de Venezuela. Trabajo de Ascenso a Profesor Titular. Facultad de Agronomía de la Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela.
- PLA, I. 1990. La degradación y el desarrollo agrícola de Venezuela (ensayo) *Agronomía Tropical* 40:7-27.
- PLA, I., A. FLORENTINO y LOBO D. 1984. Uso de emulsiones de asfalto para incrementar y regular la productividad del sorgo en un Alfisol franco-arenoso de Los Llanos ondulados del norte del estado Guárico, Sector Chaguaramas. *Agronomía Tropical*. 34:49-61.
- RAMIA, M. 1967. Tipos de sabana en Los Llanos de Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales* 26: 264-288.
- RODRÍGUEZ, T., J.TENÍAS, y J. PARAQUEIMA. 1988. Comportamiento de seis cultivares de maní (*Arachis hipogea L.*) ante el encalado en suelos ultisoles y oxisoles de los llanos orientales de Venezuela. *Agronomía Tropical* 38:21-32.
- SALAU, O. A., O. A. OPARA-NADI y R. SWENNEN. 1992. Effects of mulching on soil properties, growth and yield

- of plantain on tropical ultisol in southeastern Nigeria. *Soil and Tillage Research* 23: 73-93.
- SÁNCHEZ, C. 1977. Algunas experiencias sobre el encalamiento de ultisoles de sabana. SVIA. Maracay, Venezuela, 1-45.
- SÁNCHEZ, C. 1989. Fertilización y encalamiento en suelos de las mesas de sabana de los llanos orientales venezolanos. Taller mínima labranza y uso racional de fertilizantes. Cecotup, Universidad Central de Venezuela. Caracas mimeo. 66pp.
- SÁNCHEZ, P. A. 1977. Advances in the management of oxisols and ultisols in tropical south america. *In Proc. Int. Sem. on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture* pp.535-566. Society Science Soil and Manure, Tokyo, Japan.
- SÁNCHEZ, P. A. y J. G. SALINAS. 1981. Low-input technology for managing Oxisols and Ultisols in advance in Agronomy tropical America. *Advance in Agronomy* 34:279-406.
- SARMIENTO G. y M. MONASTERIO. 1975. A critical consideration of the environmental conditions associated with the occurrence of savanna ecosystems in Tropical America. 223-250. *In* F.B. Golley y E. Medina (eds) *Tropical Ecological Systems*. Springer-Verlag, New York.
- SCHARGEL, R. 1977. Soils of Venezuela with low activity clays, characteristics and classification of selected soil profiles. Unpublished, Ph. D. Dissertation North Caroline State University. North Caroline, USA.
- SCHRADER, S. 1995. Buffer capacity of earthworm mucus. p.92-93. *In* J. Haimi and V. Huhta (eds) XI International Colloquium on Soil Zoology, Finland 10-14 August 1992. *Acta Zoologica Fennica* N° 196.
- SHARPLEY, A. N. y J. K. SYERS. 1976. Potential role of earthworm cast for the phosphorus enrichment of run-off waters. *Soil Biology Biochemistry* 8:341-346.
- SINGH, B. B. y J. P. JONES. 1976. Phosphorus sorption and desorption characteristics of soil as affected by organic residues. *Soil Science Society of America Journal* 40:389-394.
- SMITH, N.J.H. 1995. Human induced landscape changes in Amazonia and implications for development. pp. 221-251. *In* B. L. Turner II, A. Gómez Sal, F. González Bernáldez y F. di Castri (eds) *Global land use change: A perspective from the Columbian Encounter*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Madrid. 446 p.
- SOLORZANO, P. R. 1989. Efectos de las prácticas agrícolas sobre el tipo y forma de aplicación de los fertilizantes fosfatados. pp.122-144. *In* Memoria Primer Seminario de Fósforo en la Agricultura Venezolana. Caracas.
- STINNER, B. R., D. A. CROSSLEY, E. P. ODUM y R. L. TODD. 1984. Nutrients budgets and internal cycling of N, P, K, Ca and Mg in conventional tillage, no tillage and old field ecosystems on Georgia Piedmont. *Ecology*. 65:354-369.
- WADE, M. K. y P. A. SÁNCHEZ. 1983. Mulching and green manure applications for continous crop production in amazon basin. *Agronomy Journal* 75:39-43.
- WATSON, J. P. 1977. The use of mounds of the termite *Macrotermes falciger* (Gerstaecker) as soil amendment. *Journal of Soil Science* 28:664-672.
- YÁGODIN, B., P. SMIRNOV y A. PETERBURGSKI. 1986. *Agroquímica*. Tomo II. Editorial Mir, Moscú.

Recibido 05 marzo 1997; revisado 04 julio 1997; aceptado 20 octubre 1997