

PRÁCTICAS CONSERVACIONISTAS Y ROTACIÓN CON QUINCHONCHO ALTERNATIVAS SUSTENTABLES PARA LOS AGROECOSISTEMAS DE SABANAS DE GUÁRICO, VENEZUELA¹

Marisol López*, Ángela Bolívar*, Manuel Salas**
y María De Gouveia**

RESUMEN

En suelo ácido de sabanas se evaluó el efecto de prácticas conservacionistas: mínima labranza, uso de cultivares tolerantes a la acidez, uso de abonos orgánicos combinados con inorgánicos en bajas dosis y la rotación sorgo, *Sorghum bicolor* (L.) Möench, quinchoncho, *Cajanus cajan* (L.) Millsp., en la productividad del suelo, y los rendimientos en grano y biomasa aérea del quinchoncho. Las fuentes de fósforo fueron: roca fosfórica de Riecito (RFR) natural y RFR parcialmente acidulada (RFRPA) y la fuente industrial: fosfato diamónico (FDA). Los tratamientos inorgánicos: T₁ (N+0P+K), T₂ (N+P-RFR+K), T₃ (N+P-RFRPA+K) y T₄ (N+P-FDA+K). Aplicando en kg ha⁻¹ 100 de N + 80 de P + 60 de K en sorgo y 15 de N + 60 de P + 45 de K + 5,7 de S + 0,2 de Mo en quinchoncho, se aplicaron dentro de las parcelas de abonos orgánicos: SR = sin residuos y RG = residuos de gramínea. Después de 3 años de manejo conservacionista, usando bajos insumos y principios agroecológicos se evidencian incrementos en los rendimientos de quinchoncho, atribuido al aumento en la capacidad productiva del suelo por efecto combinado de abonos orgánicos e inorgánicos. Los rendimientos en grano del quinchoncho fueron aumentando progresivamente, el 1^{er} año osciló entre 672 y 882 kg ha⁻¹ y el rendimiento del vástago fue superior a 800 kg ha⁻¹, 2^{do} año, estuvo entre 700 y 863 kg ha⁻¹ y del vástago entre 750 y 890 kg ha⁻¹, el 3^{er} año los valores fueron 850 y 1 000 en SR y entre 1 000 y 1 300 en RG, correspondiendo los mayores rendimientos a las parcelas donde se combinó abono orgánico (restos de cosecha, RG con abonos inorgánicos (RFR y RFRPA).

Palabras Clave: *Cajanus cajan* (L.) Millsp; sustentabilidad; suelos ácidos; manejo conservacionista.

1 El proceso de Investigación estuvo financiado por Fonacit a través del Proyecto: S1-2002000391, a la AIEA, VEN 10962R3, N 10962R3 y el INIA.

* Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas (CENIAP). Zona Universitaria. Apdo. 4579. Maracay, estado Aragua. Venezuela. E-mail: lopezmar4@hotmail.com.

** Investigadores. INIA. CIAE Yaracuy y CIAE Guárico, respectivamente.

RECIBIDO: agosto 31, 2005.

**CONSERVACIONIST PRACTICES AND ROTATION WITH
PIGEONPEA AS A SUSTANAIBLE ALTERNATIVE
FOR THE AGROECOSYSTEMS OF SAVANNAHS
OF GUARICO, VENEZUELAN**

Marisol López*, Ángela Bolívar*, Manuel Salas
y María De Gouveia*****

SUMMARY

On an acid soil of Guarico state savannas, the effect of conservation practices such as minimum tillage, acid tolerant cultivars, organic combined with inorganic fertilizers at low rates and the rotation sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Möench, pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), on soil productivity, grain yield and aerial biomass of pigeon pea was evaluated. Phosphorus sources evaluated were natural Riecito phosphoric rock (RFR), partially acidulated Riecito phosphoric rock (RFRPA) and industrial diammonium phosphate (FDA). Inorganic treatments were T1 (N+0P+K), T2 (N +P-RFR+K), T3 (N+ P-RFRA K+) and T4 (N+P-FDA+ K). The levels of fertilizers applied on sorghum were 100 (kg ha⁻¹) of N+80 of P+60 of K and on pigeon pea 15 of N+60 of P+45 of K+5,7 of S+0,2 of Mo. Former treatments were applied within the following organic treatment plots: without residues (SR) and with gramineous residues (RG). After 3 years of conservation management, using low inputs and agroecological principles, increments in pigeon pea yields were evidenced, due mainly to an increase in soil productivity induced by the combined management of organic and inorganic fertilizers, among other practices. Pigeon pea grain yields increased progressively. During the first year grain yield oscillated between 672 and 882 kg ha⁻¹ and shoot biomass exceeded 800 kg ha⁻¹. During the second year variations in grain yield occurred between 700 and 863 kg ha⁻¹ and in shoot biomass between 750 and 890 kg ha⁻¹. Finally, during the third year, grain yield were between 850 and 1000 kg ha⁻¹ in SR and between 1000 and 1300 kg ha⁻¹ in RG. Highest yields were achieved by treatments where organic fertilizers (crop residues, RG) and inorganic fertilizers (RFR and RFRPA) were combined.

Key Words: Sustainable; pigeon pea; acid soil; conservationist management.

* Investigadores. INIA. Centro Nacional de Investigaciones Agrícolas (CENIAP). Zona Universitaria. Apdo. 4579. Maracay, estado Aragua. Venezuela. E-mail: lopezmar4@hotmail.com.

** Investigador. INIA. CIAE Yaracuy.

*** Investigadora. INIA. CIAE Guárico.

RECIBIDO: agosto 31, 2005.

INTRODUCCIÓN

La baja capacidad de sustentación animal de las especies vegetales predominantes en el nororiente del estado Guárico, es uno de los factores que ha contribuido a la expansión acelerada de áreas destinadas a la producción de cereales en la región central de Guárico (Míreles *et al.*, 1998). Ante esta situación, los productores, para alimentar la población bovina durante el período de sequía, han adoptado alternativas tales como: el uso de restos de cosecha (maíz, algodón y sorgo) y la soca de sorgo, a objeto de aumentar la oferta forrajera. Sin embargo, este tipo de uso de la tierra, constituido por los sistemas de producción mixtos: carne –cereales, ha contribuido al deterioro de los suelos (López, 2002, Torres *et al.*, 2005), debido al uso de prácticas de manejo inadecuadas.

En sus trabajos, López (2002) advierte que los sistemas de producción mixtos (ganadería–cereal) han contribuido al deterioro físico, químico y biológico de los suelos debido al uso de prácticas de manejo en monocultivos altamente mecanizados que involucra preparación del suelo seco, uso de varios pases de rastra y arado en suelos desprotegidos (sobrepastoreo) y uso de altas dosis y frecuencia de fertilizantes inorgánicos entre otros agrotóxicos. Esta problemática, hace necesario la evaluación de alternativas de manejo conservacionista que contribuyan a un uso más eficiente de insumos y energía, y que promuevan una agricultura más dependiente de procesos biológicos.

El cultivo de quinchoncho, *Cajanus cajan* (L.) Millsp., cv. *Aroita*, obtenido por selección sobre la línea Aroa con ciclo de 110 a 130 días a la cosecha, altura de 80 a 120 cm, flor púrpura, tallo con grosor de 12 mm, crecimiento determinado, vainas de 5 celdas, grano crema y con potencial de cosecha mecanizada de grano seco. Seleccionado por presentar potencial de fijación biológica de nitrógeno en experimentos previamente conducidos en condiciones de invernadero por España *et al.* (2006). Con potencialidad para contribuir a la sustentabilidad de los sistemas de producción de la zona de sabanas, por:

- a) Su alto potencial para ser utilizado como complemento en alimentación animal, pudiendo ser usado como forraje y como materia prima en la elaboración de raciones nutricionales para la alimentación del ganado en la época seca, o bien como complemento proteico o consumo directo de los animales bajo pastoreo (Higuera *et al.*, 1998; 2001; Martínez *et al.*, 2003).

b) Por su capacidad adaptativa, ya que puede contribuir al pool de nitrógeno en el agrosistema a partir de la fijación del N-atmosférico vía fijación biológica del N₂ (España *et al.*, 2006).

c) La alta capacidad de adaptación a zonas adversas manifestada a través de mecanismos fisiológicos (exudados radicales, actividad enzimática) y morfológicos (mayor longitud radical, menor diámetro y mayor cantidad de pelos radicales) permitiéndole utilizar formas de fósforo no disponible comúnmente a las plantas, (Hocking *et al.*, 1997; Ae *et al.*, 1991; McLaughlin; James, 1991; Weil, 2000).

d) Representa una fuente barata de proteína vegetal (entre 20 y 30%), siendo una alternativa para contribuir a conformar una dieta balanceada para el agricultor, su familia y la comunidad en general.

El quinchoncho es un cultivo producido en diversos países (India, Myanmar, Kenya, Uganda, República Dominicana, Puerto Rico, Venezuela) Nene y Shela (1990) bajo diferentes modalidades de siembra (Chauan, 1990). En Venezuela se localiza en toda la geografía nacional, especialmente, en patios, conucos y plantaciones bajo la modalidad de monocultivo y/o asociado en la localidad de Espino, estado Guárico. El manejo del cultivo esta basado en el conocimiento agrícola local, pudiéndose encontrar algunos sistemas de producción (SP) que incorporan referenciales tecnológicos provenientes de casas comerciales o centros de investigación.

La mayoría de los materiales genéticos utilizados provienen de semillas de materiales “locales” que los agricultores conservan de cosechas anteriores, o intercambio de semillas entre ellos. Los cultivares comúnmente utilizados son de ciclo largo (entre 200 a 240 días a cosecha), plantas de porte alto, tallo grueso (> 12 cm de diámetro), cosechado manualmente y con rendimientos bajos, siendo el promedios de 600 kg ha⁻¹, aún cuando pudieran encontrarse materiales locales de altos rendimientos. Las estadísticas del Ministerio de Producción y Comercio MPC (2001), señalan una superficie de siembra de quinchoncho de 1948 ha, con una producción de 1 475 t y rendimientos de 757 kg ha⁻¹. Su contribución a la producción nacional es baja comparada con otros granos de leguminosas. Sin embargo, este cultivo presenta potencialidades desde el punto de vista social, económico ambiental y técnico que deberían considerarse para el manejo de sistemas sustentables.

Sobre la base de lo expuesto, el cultivo de quinchoncho, combinado con prácticas conservacionistas, encierra principios agroecológicos que coadyuvan al desarrollo sustentable, el cual es conceptualizado como un proceso dinámico donde el manejo de los recursos naturales, la potencialización del ser humano, la concientización y participación ciudadana, la orientación de la economía y los principios éticos de responsabilidad ambiental, ayuden a satisfacer las necesidades básicas actuales, sin destruir la base ecológica de las que depende el desarrollo socioeconómico y la calidad de vida futura (Ramírez, 2000).

Entre las prácticas conservacionistas, el uso de abonos orgánicos es una alternativa viable no sólo por las mejoras nutricionales que ejerce sobre las plantas, sino que tiene un alcance en todos los componentes relacionados con la fertilidad y productividad del suelo agrícola. Entre los principales efectos regenerativos se encuentran: estimulación inmediata de la actividad biológica (Clement *et al.*, 1995; López *et al.*, 2001a; Barrios, 2001; España *et al.*, 2002; Thorup- Kristensen, 2003) mejoras en las propiedades físicas (Torres *et al.*, 2005; Rivas, 1993; León, 1993; Bravo y Florentino, 1999; Rivero *et al.*, 1998; Barrios, 2001), en bioquímica (España y López, 2003; España, 2003) y químicas (Franco-Viscaíno, 1997; López *et al.*, 2006).

Igualmente, el uso de fuentes de fósforo inorgánicas, tanto natural (roca fosfórica de Riecito, roca fosfórica de Riecito parcialmente acidulado, como industrial (fosfato diamónico), constituyen una de las prácticas alternativas para aumentar la capacidad productiva de suelos ácidos, cuando son utilizadas racionalmente y combinadas con fuentes orgánicas, pudiendo ambas fuentes (orgánicas e inorgánicas) representar una de las alternativas viable, técnica, ecológica y económica en la localidad (Nene y Sheila, 1990).

En el país se han realizado trabajos en suelos de los estados Guárico, Apure y Portuguesa, utilizando como cultivos indicadores, maíz, sorgo y soya, encontrándose alta eficiencia agronómica con la RFR al compararla con la roca de Monte Fresco (RFMF), siendo la RFR acidulada al 40% tan eficiente como la fuente altamente soluble (superfosfato triple); lo cual ha sido corroborado por Ramírez y López (2000) y por López *et al.* (2006), quienes encontraron una alta respuesta de cultivares de sorgo granífero tolerantes a la acidez, fertilizados con RFR. López *et al.* (2003) señalan mejoras en la fertilidad de dos suelos Ultisoles ubicados en diferentes paisajes de altiplanicie del estado Guárico, al ser sometidos a

prácticas de manejo que incluyeron uso combinado de abonos orgánicos (abonos verdes, restos de cosecha) e inorgánicos (N+P+K+S) con fuentes de P-solubles (SFT) y poco solubles (RFR y RFRPA).

Dentro de esta perspectiva, los objetivos específicos de este trabajo fueron: **1)** determinar el efecto de las prácticas conservacionistas sobre la producción de grano y biomasa aérea del quinchoncho y su potencial para ser usado en rotación sorgo-leguminosa en un suelo ácido de baja capacidad productiva y **2)** evaluar el efecto de las prácticas conservacionistas sobre la calidad del suelo, reflejada en mejoras en su capacidad productiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El experimento fue desarrollado, en un sitio representativo del paisaje de altiplanicie de mesa conservada del estado Guárico, en un suelo ácido de sabanas, clasificado taxonómicamente como Typic Paleustults, Fg, caolínica isohipertérmica. El lote experimental se encuentra entre las coordenadas geográficas 8° 25' 30" de latitud norte y 66° 05' 11" de longitud oeste.

Características edafoclimáticas del sitio experimental

La zona agroclimáticamente se caracteriza por presentar un promedio de precipitación anual de 1 176 mm con distribución en el tiempo unimodal, siendo su máximo en julio con 215,1 mm, distribuidas en 5 a 6 meses (mayo-octubre), las lluvias son erráticas, de alta intensidad y de corta duración. La temperatura oscila entre 25 y 30 °C. Vegetación típica de bosque seco tropical, de acuerdo a la clasificación de Holdridge (Ewel *et al.*, 1972).

Los suelos son de muy baja fertilidad natural, presentando limitaciones por baja disponibilidad de fósforo-Olsen ($<3 \text{ mg kg}^{-1}$), potasio-Olsen (20 mg kg^{-1}), calcio-Morgan ($<50 \text{ mg kg}^{-1}$) y magnesio-Morgan ($<20 \text{ mg kg}^{-1}$), $\text{pH}_{\text{suelo*agua:1:2,5}}$: ácido ($< 5,4$) y de textura gruesa, areno franco (aF) y franco arenoso (Fa). El drenaje, externo es lento, el interno rápido, siendo la permeabilidad moderadamente rápida y clase de drenaje: bien drenado (López *et al.*, 2006).

Genotipos usados como cultivos indicadores y abono orgánico

Se evaluó el cultivar Chaguaramas VII, de sorgo, *Sorghum bicolor* L. Möench, tolerante a la acidez del suelo, el cual pertenece la familia de las gramíneas y el cultivar Aroita, de quinchoncho proveniente de padres tolerantes a la acidez, obtenido por selección masal sobre líneas ingresadas del ICRISAT por el INIA-Yaracuy, (Remanandan 1990).

Mecanización: Se utilizó labranza mínima, la cual consistió de dos pases de rastra al incorporarse el abono verde y restos de cosecha como fuente de abono orgánico al inicio del experimento, primer año. Posteriormente, antes de la siembra de los cultivos indicadores los residuos dejados sobre la superficie en el ciclo anterior fueron incorporados, con un motocultor.

Muestreo de suelo

Al inicio del experimento, se tomaron muestras compuestas por parcela de abono orgánico o de residuos, a la profundidad de 0 a 20 cm. En los años subsiguientes, para estudiar la dinámica de los nutrimentos se realizaron muestreos de suelo a cuatro profundidades, de 0-10, 10-20, 20-30 y 30-40 cm dentro de cada microparcela de abono inorgánico (T_1 - T_4).

Cosecha y cálculo de rendimiento

Al finalizar cada ciclo del cultivo se procedió a cosechar los cultivos indicadores sorgo y quinchoncho. La biomasa vegetal tanto de grano como de vástago fue pesada para estimar el rendimiento en grano y materia seca del vástago. Se tomaron submuestras de vástago, se pesó, secándose en estufa a 70 °C hasta obtener peso constante. El rendimiento de materia seca (MS) fue calculado al multiplicar el peso seco por superficie efectiva, expresada en kg ha⁻¹.

Descripción de los tratamientos orgánicos

Abonos orgánicos: Están asociados con las prácticas conservacionistas representadas por la parcela testigo (SR), y las cultivadas con especies nativas e introducidas. Crotalaria, *Crotalaria juncea*. Leguminosa introducida para la parcela de residuos de leguminosas. Añil, *Indigofera lespedezioides*, leguminosa nativa utilizada en la parcela de residuos nativos, ver Figura 3. Sorgo sembrado en la parcela de RG (López *et al.*, 2006).

Parcelas Principales: Parcela Sin residuos (SR): Después de la cosecha, la biomasa aérea fue extraída, dejando en suelo descubierto, simulando la actividad realizada comúnmente por el productor al introducir el componente animal para pastorear los restos de cosecha y soca del sorgo simulando el sobrepastoreo (práctica muy común en la localidad).

Parcela Residuos nativos (RN): Se dejó crecer la vegetación nativo añil + ciperáceas. La leguminosa en floración fue cosechada, dejándose sobre la superficie, para incorporar antes de sembrar el cultivo indicador del próximo ciclo.

Parcela Residuos gramínea (RG): Consistió en sembrar el sorgo y al llegar el momento óptimo de cosecha, se cosechó el grano, el cual fue pesado para obtener el rendimiento. Se cosechó la biomasa aérea, para luego pesar y dejar sobre la superficie del suelo hasta el momento de ser incorporada antes de la siembra del próximo ciclo.

Parcela Residuos de leguminosa (RL): Esta parcela representó uno de los tratamientos de abono verde, la leguminosa *Crotalaria juncea*.

Parcela de barbecho (B): Testigo absoluto. Área sin alterar.

Las parcelas: SR, RN, RG y RL recibieron una fertilización inorgánica: T_1 (N+0P+K), T_2 (N+P-RFR+K), T_3 (N+P-RFRA K+) y T_4 (N+P-FDA+K) en los ciclos evaluados, antes de sembrar los cultivos de rotación (sorgo-quinchoncho y/o quinchoncho-sorgo). Para efectos de este trabajo sólo se presentan los rendimientos del quinchoncho, el cual fue evaluado únicamente en las parcelas SR y RG, así como resultados de la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, a fin de estimar cambios químicos en el suelo. Igualmente, se presentan los resultados obtenidos en las parcelas SR en contraste con las parcelas, RG, el efecto de las prácticas de manejo combinación de abonos inorgánicos y abono orgánico (restos de cosecha). Los resultados obtenidos en las parcelas SR, RG, RN, RL y B con sorgo son mostrados por López *et al.* (2006).

Descripción de los tratamientos inorgánicos aplicados

Los abonos orgánicos e inorgánicos fueron aplicados a inicio del período de lluvias en la parroquia Espino, entre el 15 de junio al 15 de julio.

N= nitrógeno, K= potasio, OP= sin fósforo. T_1 (N+0P+K), T_2 (N+P-RFR+K), T_3 (N+P-RFRA K+) y T_4 (N+P-FDA+K). **Fuentes de fósforo:**

RFR= roca fosfórica de Riecito micronizada (14% P-total; 4,36% P-soluble; 39% de CaO; EA entre 80-90%; P-soluble 9,98% P_2O_5 en citrato de amonio neutro); RFRPA = roca fosfórica de Riecito parcialmente acidulada (11,94% P-total; 5,37% P-soluble; 34, 86% de CaO; EA mayor de 90%; P-soluble: 12,29% P_2O_5 en citrato de amonio neutro); FDA = fosfato diamónico (16% N, 46% P_2O_5). **Fuentes de nitrógeno:** Sulfato de amonio (21% N, 24% S) en quinchoncho y urea-46%N en sorgo. **Fuente de potasio:** Cloruro de potasio (KCL-60 % K₂O) en sorgo y quinchoncho.

Según Diamond (1979), y Hammond y León (1983) ambas rocas: RFR y RFRPA son de alta reactividad, ya que el porcentaje de solubilidad (P_2O_5) en citrato de amonio neutro es mayor a 5,4 (Diamond, 1979) y mayor a 5,9 (Hammond y León, 1983), estos últimos autores mencionan que una eficiencia agronómica mayor a 90% es un indicador de alta solubilidad de las rocas fosfóricas.

Dosis de nutrimentos aplicados (kg ha⁻¹) en cada ciclo del cultivo.

En sorgo: 100 de N + 80 de P + 60 de K. En quinchoncho: 15 de N + 60 de P + 45 de K +5,7 de S + 0,2 Mo.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones en arreglo de parcelas divididas. Los datos obtenidos fueron homogeneizados y analizados de acuerdo a la variable evaluada utilizando los procedimientos mostrados en Herrera (2004). Para disponibilidad de nutrimentos se utilizó un análisis de parcelas subdivididas, siendo el tipo de residuo o abono orgánico (SR, RG) designado como efecto principal, la fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 y T_4) como efecto secundario y la profundidad de muestreo efecto terciario. Para el caso de rendimiento en grano y biomasa aérea, los datos fueron analizados como parcelas divididas, el efecto principal considerado representó el tipo de residuo (abono orgánico RG y SR) y el efecto secundario fue el tratamiento inorgánico (T_1 , T_2 , T_3 y T_4).

Determinaciones químicas en suelo

Metodologías utilizadas en las determinaciones químicas en suelo, análisis con fines de fertilización: Textura: distribución y tamaño de la partícula (Bouyoucos)* pH (Relación suelo agua: 1: 2,5)*; Fósforo

(Olsen, 1954)*; Potasio (Olsen,)*; Calcio (Morgan)*; materia orgánica (MO; Combustión humedad, Walkey and Black modificado)*; Aluminio intercambiable, (extraído con 0,5 M de BaCl₂ relación 1: 10)* y CE (ms/cm 25 °C conductímetro)*

*En manual de métodos y procedimiento del FONAIAP, Gilabert *et al.* (1990).

Métodos empleados en las variables físicas

La densidad aparente (Da) se determinó como criterio de evaluación de la severidad de la degradación. Esta variable fue determinada tomando muestras de suelo no alteradas con toma muestras tipo Uhland, utilizando la mesa de tensión descrito por Plá (1983) y basada en masa de suelo seco a 105 °C y al volumen total de suelo. $Da = m_{ss \text{ a } 105^{\circ}C} / Vt \text{ de suelo}$ (Mg m⁻³).

Análisis de fraccionamiento y tamaño de partículas (Day, 1965).

Nivel de productividad del suelo en el sitio experimental

Al inicio de experimento, el suelo presentó evidencias de muy baja capacidad productiva, los resultados de esta evaluación inicial son mostrados por López *et al.* (2005; 2006) y corresponden a las Cuadros 1, 2 y 3, en donde se muestran los valores de las variables físicas, y químicas, mientras que las variables bioquímicas son señaladas por España y López (2003). En estos trabajos se muestran indicadores químicos, físicos y bioquímicas que reflejan la baja capacidad productiva del suelo al inicio del experimento. Los resultados de la caracterización de suelo realizados con fines de fertilización, muestran la muy baja fertilidad del lote experimental, siendo la disponibilidad de fósforo, potasio, calcio y magnesio de 2, 22, 80 y 22 mg kg⁻¹, respectivamente. Dichos niveles, junto a los bajos contenidos de MO (7g kg⁻¹) reflejan la baja fertilidad natural del suelo al inicio del estudio, el valor de pH indica una reacción del suelo ácido (< 5,5) y el porcentaje de saturación con aluminio alto (57%), todos son factores que limitan el crecimiento de plantas susceptibles a la toxicidad de aluminio y de altos requerimientos nutricionales.

La textura del suelo es franco arenoso, reflejando un drenaje interno rápido y buena aireación, valores que se corresponden con los obtenidos por López *et al.* (2001b) en un diagnóstico realizado con fines de fertili-

zación y manejo de los suelos en los Llanos Centrales. Durante la caracterización física y clasificación taxonómica del suelo, López *et al.* (2003) señalaron valores en las variables físicas que le confieren susceptibilidad a la degradación, tal como se observó en distribución de tamaño de partículas, porcentaje total de arena, limo y arcilla, y en químicas: cationes cambiables y aluminio intercambiable (Cuadro 1).

CUADRO 1. Caracterización química del sitio experimental, Espino, estado Guárico.

Profundidad (cm)	Cationes Intercambiables (cmol kg ⁻¹)				
	Calcio (Ca)	Magnesio (Mg)	Sodio (Na)	Potasio (K)	Aluminio Intercambiable (cmol kg de suelo ⁻¹)
0-22	0,37	0,16	0,01	0,09	0,35
22-42	0,1	0,06	0,03	0,02	0,65
43-72	0,35	0,15	0,04	0,03	1,55
73-120	0,28	0,14	0,01	0,01	0,85
120-152	4,37	0,22	0,01	0,01	0,85
152+	0,37	0,24	0,02	0,01	0,50

Fuente: López *et al.* (2003).

Mientras que los valores de humedad gravimétrica del suelo al inicio del experimento correspondientes a diferentes potenciales mátricos (Kpa) en cada uno de los horizontes identificados en el perfil, se presentan en el Cuadro 2.

El porcentaje de CaCO₃ equivalente ponderado a 60 cm de profundidad fue de 0,20 y la humedad saturada de 22,83%. La distribución en el tamaño de las partículas de arena, limo y arcilla fue de 81, 10 y 9%, respectivamente. El promedio ponderado a 60 cm de profundidad para distribución de tamaño de partículas indica que es un suelo de textura gruesa, areno-franco (aF) y franco arenoso (Fa), predominando la arena en todo el perfil (Cuadro 3).

CUADRO 2. Retención de humedad (g g^{-1}) del suelo.

Profundidad (cm)	Contenido de humedad ($\%, \text{g g}^{-1}$)					
	Potencial métrico (Kpa)					
	-10	-33,33	-100	-500	-1 000	-1 500
0-22	13,84	12,15	10,06	7,92	7,06	6,02
22-42	7,6	5,78	4,86	3,52	2,51	2,39
43-72	13,47	12,1	11,14	9,53	8,1	7,74
73-120	15,48	13,06	11,90	8,45	7,52	7,04
120-152	16,08	15,05	11,25	9,33	8,16	7,90
152+	13,41	12,14	11,05	3,38	7,03	6,02

Fuente: López *et al.* (2003).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es muy baja, así como el contenido de MO, con predominio de partículas gruesas (>80% de arena). Esta baja CIC, significa que estos suelos poseen muy baja capacidad de retener por mucho tiempo en su complejo de intercambio, las bases intercambiables liberadas en él, mediante la fertilización química tanto inorgánica (fertilizantes) como orgánica (abonos verdes y restos de cosecha), lo cual hace que estos nutrientes liberados queden expuestos a procesos de lixiviación y arrastre durante el período de lluvias. El agua potencialmente aprovechable, lámina de agua almacenada (mm) a -10 y -1 500 Kpa fue de 119,52 y 54,65, respectivamente, valores muy bajos, pero en correspondencia con las características texturales de este suelo, lo cual indica que para satisfacer los requerimientos hídricos del cultivo que se va a desarrollar se requiere la aplicación de riego complementario.

Los valores de Da encontrados en todo el lote experimental son altos, de acuerdo a los niveles señalados para un suelo de clase textural 1 (arenoso-areno francoso) por Florentino (1998). La media ponderada fue de $1,71 \text{ Mg m}^{-3}$. Plá (1983), señala valores críticos de $1,6 \text{ Mg m}^{-3}$ para estos suelos y Grossman *et al.* (1997), basado en la máxima Da dentro del horizonte superficial, a los primeros 20 cm de profundidad, señalan que valores de Da mayores a $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$ en suelos con

porcentaje de arcilla menor a 15% corresponden a la clase 5, cuya limitación agrícola es muy alta. Los valores de pH obtenidos tanto en relación suelo agua 1:1 como en KCl 1:1,2, estuvieron bajos, lo que clasifica el suelo entre extremada y moderadamente ácido y el porcentaje de saturación de aluminio es alto (60%), Cuadro 3.

CUADRO 3. Características químicas y físicas del suelo ubicado en lote experimental Espino, promedio primeros 60 cm de profundidad.

Profun. (cm)	Clase Textural	% A L A			Da (Mg m ³)	MO (g kg ⁻¹)	CIC	pH		CIC (cmol kg ⁻¹)	Sat A1 %
								Agua 1:1	KCl 1:12		
0-60	aF-Fa	81	10	9	1,71	7	1,28	4,38	3,82	1,28	60,22

Fuente: López *et al.* (2003).

El sorgo presenta menor contenido de celulosa que los otros materiales usados (leguminosas, datos mostrados en López *et al.*, 2006), este componente pudiera favorecer la mineralización del material, sin embargo, el contenido de lignina también es mayor en las leguminosas que en el sorgo y este polisacárido es considerado negativo en la transformación de los residuos (Cuadro 4).

Abono incorporado: La cantidad de residuo aplicado al suelo varió entre los tratamientos orgánicos (residuos), y los tratamientos inorgánicos (T₁, T₂, T₃, T₄). El año cero, en la parcela SR fue de 0 y en RG se aplicó 1 200 kg ha⁻¹. En el año 1, se incrementó la cantidad de residuo aplicado, oscilando entre 1 041,1 y 3 370 kg ha⁻¹ de RG. En el año 2, la cantidad de residuos de quinchoncho aplicado oscilaron entre 917,5 (T₁) y 1 473 (T₃) kg ha⁻¹, mientras que los residuos de sorgo oscilaron entre 992,75 (T₁) y 3 090,75 (T₄). Sin embargo, la cantidad de residuos de sorgo y quinchoncho aplicados aún son bajos, para cada año, pero el total aplicado en los tres primeros años evaluados fue significativamente importante en la secuencia: Sorgo-sorgo-quinchoncho-sorgo (24 719,5 kg ha⁻¹), mientras que el total en las parcelas donde se siguió la secuencia sorgo-soya-sorgo-quinchoncho fue menor (7 780,16 kg ha⁻¹), debido a que se

ha señalado, que en condiciones tropicales debe aplicarse más de 20 Mg ha⁻¹ para poder obtener resultados positivos por efecto de estos abonos en el suelo (Velásquez *et al.*, 2002), valores que fueron superados en las parcelas que se aplicó 24 719,5 kg ha⁻¹.

CUADRO 4. Características de material utilizado como abono orgánico (residuos de cosecha de sorgo).

Análisis bromatológico									
Abono orgánico	Materia Seca %	Ceniza %	Proteína cruda %	FDA %	Lignina %	Celulosa %	N %	C %	C/N
Sobre base seca									
Sorgo vástago	95,59	3,13	9,72	40,11	7,68	31,67	1,56	26	16:1
Análisis nutricional									
Abono orgánico	Fósforo (P) kg kg ⁻¹	Potasio (K) kg kg ⁻¹	Calcio (Ca) kg kg ⁻¹	Magnesio (Mg) kg kg ⁻¹					
Sorgo vástago	0,22	0,5	0,4	0,28					

Los valores corresponden a promedios de cuatro repeticiones. MS = materia seca; PC = proteína cruda; FDA = fibra ácido detergente; N = Nitrógeno; C = Carbono; C/N = Relación Carbono - Nitrógeno. Fuente: López *et al.* (2006).

En las parcelas correspondientes a las leguminosas usadas como abono verde la cantidad (RN, RL, Figuras 1 y 2) de material incorporado fue mayor a 20 Mg ha⁻¹ (López *et al.*, 2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Nivel de productividad del suelo en el sitio experimental

En el primer año de evaluación, se encontró un incremento en la disponibilidad de los nutrimentos P, K, y Ca principalmente, debido posiblemente al efecto de la fertilización inorgánica inicial aplicada al sembrar los abonos verdes junto al aporte de los materiales orgánicos incorpo-

rados, ya que este incremento fue mayor en las parcelas donde se aplicó residuos (RG), lo que pudiera estar indicando un posible aporte de la fertilización orgánica (residuos de cosecha y abonos verdes). Sin embargo, estos valores de disponibilidad, aún se consideran bajos en todas las parcelas de residuos evaluadas, observándose una estratificación del fósforo, potasio y calcio en los primeros 10 cm de profundidad, estos valores disminuyeron drásticamente con la profundidad del suelo.

El pH osciló entre 4,9 y 5,4 en el primer estrato, reflejando ligeros incrementos, los cuales van desde 0,2 a 0,7 décimas. Dichos valores muestran tendencia a una disminución de la acidez, sin embargo, el suelo sigue manteniendo una reacción ácida, que amerita hacer monitoreos del efecto de las prácticas en esta variable. El porcentaje de saturación de aluminio es bajo en los primeros 10 cm de profundidad, pero incrementa en el segundo estrato después de los 10 cm, reflejándose problemas de alto contenido de este elemento en la zona de mayor desarrollo radical.

En el segundo año de evaluación, se observa un mayor efecto del manejo combinado del abono orgánico e inorgánico (Cuadro 5).

La disponibilidad de fósforo, calcio, azufre, valor de pH y contenido de aluminio fueron afectados por la fertilización orgánica e inorgánica, encontrándose respuestas altamente significativas con respecto a los tratamientos de residuo (RG), tratamientos inorgánicos (T_2 , T_3 y T_4), profundidad de muestreo y las interacciones fertilización orgánica por fertilización inorgánica (Forg*Finorg), fertilización orgánica por profundidad (Forg*prof), fertilización inorgánica por profundidad (Finorg * Prof) y fertilización orgánica por fertilización inorgánica y por profundidad (Forg*Finorg*Prof). Las interacciones encontradas indican el efecto positivo de aplicar conjuntamente fertilizantes orgánicos (F org) e inorgánicos (Finorg), así como las diferencias de estos en la profundidad (prof). Esto pudiera estar sugiriendo que no se debe separar el uso de fertilizantes orgánicos e inorgánicos, ya que se obtendrían otros resultados menos promisorios.

Se evidencian cambios favorables en los indicadores químicos y biológicos atribuidos al manejo conservacionista. Con relación a las variables químicas, se ha encontrado aumentos en la disponibilidad de los nutrimentos, tales como fósforo (15-40 mg kg⁻¹), calcio (hasta 130 mg kg⁻¹), potasio (40-120 mg kg⁻¹) y azufre (hasta 14 mg kg⁻¹) y una disminución del aluminio intercambiable (< 0,5 cmol kg⁻¹).



FIGURA 1. Crotalaria (*Crotalaria juncea*).

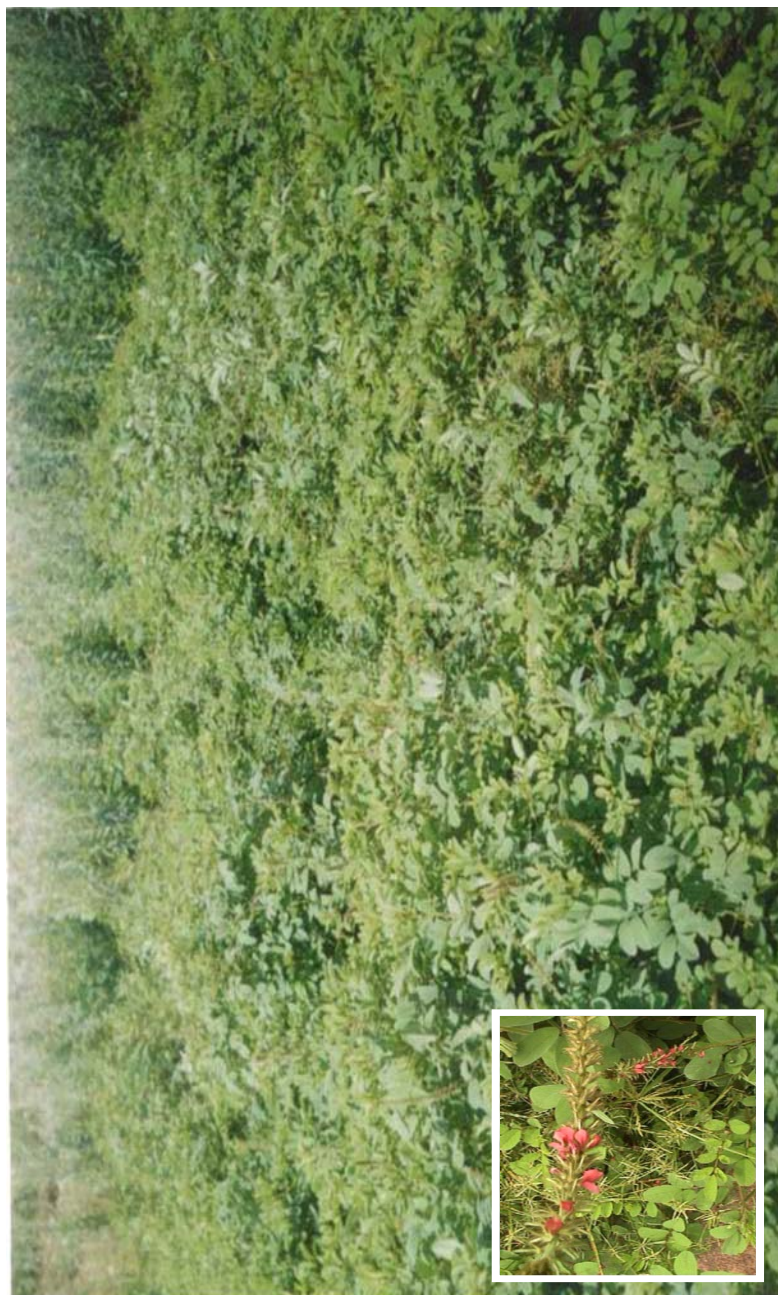


FIGURA 2. Añil (*Indigofera lespedicioides*).

CUADRO 5. Resumen del análisis de varianza de los resultados de suelo con fines de fertilización obtenidos del lote experimental de tres profundidades. 2do año.

Variables	Causa de Variación							CV (%)		
	Forg	Finorg	Forg* Finorg	Prof	Forg* Prof	Finorg* Prof	Forg*Fin org*Prof	A	B	C
P (mg kg ⁻¹)	**	**	**	**	**	**	**	23,328	33,530	30,311
K (mg kg ⁻¹)	NS	NS	NS	**	**	NS	NS	25,064	16,215	26,440
Ca (mg kg ⁻¹)	**	**	**	**	**	**	NS	18,051	16,396	23,772
Al ³⁺ (cmol kg ⁻¹)	NS	**	NS	**	**	**	NS	14,788	17,535	31,252
pH (relación)										
Suelo-Agua 1:2,5)	**	NS	NS	NS	**	NS	NS	21,055	15,518	7,897
S (mg kg ⁻¹)	**	**	**	**	**	NS	**	30,531	33,67	40,128

** Altamente significativo 0,001 * significativo 0,05. CV = Coeficiente de variación.

A = parcela principal; B = parcela secundaria; C= parcela terciaria.

En las variables biológicas, se ha incrementado el contenido de MO (hasta 15 g kg⁻¹). En este mismo lote experimental, Toro *et al.* (2002), indicaron ligeros incrementos en el porcentaje de raíz micorrizada (2-20%), los cuales son significativos comparando con los valores obtenidos al inicio del experimento, al realizar la caracterización del suelo desde el punto de vista químico, físico, biológico y bioquímico, encontrando valores de MO alrededor de 10 g kg⁻¹ y de porcentaje de raíz micorrizada entre 0 y 10 (muy bajo).

Con respecto a las variables bioquímicas, España y López (2003) han encontrado incrementos significativos en este lote experimental sobre la actividad de la enzima deshidrogenasa, lo cual pudo estar asociado al incremento en el carbono orgánico, siendo significativamente superior en la parcela RG al ser comparada con la parcela sin residuo SR. Debido a que esta enzima es intracelular, estos incrementos en la deshidrogenada indican mayor actividad biológica del suelo, demostrado así, la necesidad de incorporar abono orgánico en estos suelos. En el caso de la fosfatasa ácida hubo una disminución significativa en la rizosfera de sorgo, en los tratamientos que generaron mayor disponibilidad de P en el suelo.

En todas las parcelas de residuos donde el fósforo se incrementó hasta alcanzar valores de disponibilidad de medios a altos, constituyó un

indicador de la calidad del suelo, ya que la actividad de fosfatasa ácida osciló entre 0,16 y 0,41 $\mu\text{molPNF gs}^{-1} \text{ h}^{-1}$ y la de deshidrogenasa (enzima intracelular, usada como indicadora de la actividad biológica) logró valores mayores a 3,15 $\text{mgTFF gs}^{-1} 24\text{h}^{-1}$, en las secuencias de las parcelas RG + sorgo, y RG + quinchoncho, en donde la actividad de esta enzima estuvo alrededor de 3 $\text{mgTFF gs}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$; mientras que, en la secuencia SR + quinchoncho, estuvo alrededor de 2 $\text{mgTFF gs}^{-1} 24 \text{ h}^{-1}$ en las parcelas donde se incorporó abono orgánico (Figura 1, 2 y 3), lo cual es un indicador del aumento en la actividad biológica por efecto del uso combinado de abonos orgánicos e inorgánicos.

El incremento en la disponibilidad de P puede ser considerado importante, debido a que corresponde al efecto residual después de cosechar los cultivos indicadores, sorgo y quinchoncho, y antes de fertilizar y sembrar el cultivo del ciclo siguiente. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por Mokolobate y Haynes (2002), quienes encontraron incrementos en P, K, N y Ca después de aplicar abonos orgánicos. Todas las fuentes de P, tanto de RFR, RFRPA y SFT contribuyeron a incrementar la disponibilidad de este elemento en el suelo; sin embargo, la mayor o menor contribución de la fuente de P en la disponibilidad del elemento estuvo influenciada por la secuencia de los cultivos (López *et al.*, 2006), siendo las secuencias residuo nativo (RN)-Sorgo y residuo leguminosa (RL)-Sorgo las rotaciones que mayor P-residual disponible dejaron en el suelo, lo cual pudo estar relacionado con la calidad y cantidad de residuos aplicados (López *et al.*, 2006).

En las parcelas de residuos de gramíneas (RG), Figura 3 este incremento fue menor comparado con el encontrado en el mismo lote experimental por López *et al.* (2006) en residuos nativos (RN) y residuos de leguminosa (RL) pudiendo ser debido a la muy baja cantidad de residuos aplicado (menos de 10 Mg ha^{-1}), durante los dos primeros años de evaluación, ya que investigadores como Velásquez *et al.* (2002) señalan la necesidad de aplicar residuos de cosecha y abonos verdes mayores a 20 Mg ha^{-1} para obtener resultados favorables, tanto por mejoras en la fertilidad química, física, biológica y bioquímica como por su mayor efecto en proteger y reducir la erosión. Estos resultados, también pueden ser atribuidos a un proceso de transformación del P, el cual puede estar predominando en otras formas no disponibles, como ha sido señalado por Cavigelli y Thien (2003). Los resultados obtenidos en nuestra investigación, son indicadores del incremento en la calidad del suelo.



FIGURA 3. Distribución de parcelas con abonos orgánicos utilizados. RG= sorgo; RL= *Crotalaria juncea*; RN= *Indigosphaera lespedicioides*.

El primer año de evaluación se encontró diferencias altamente significativas ($P < 0,01$) para rendimiento en grano y vástago para todas las causas de variación, residuos (RG, SR), tratamiento inorgánico (T_1 , T_2 , T_3 , T_4), y la interacción residuo o abono orgánico y abono inorgánico. Los rendimientos oscilaron entre 672 y 880 kg ha^{-1} (Figura 4).

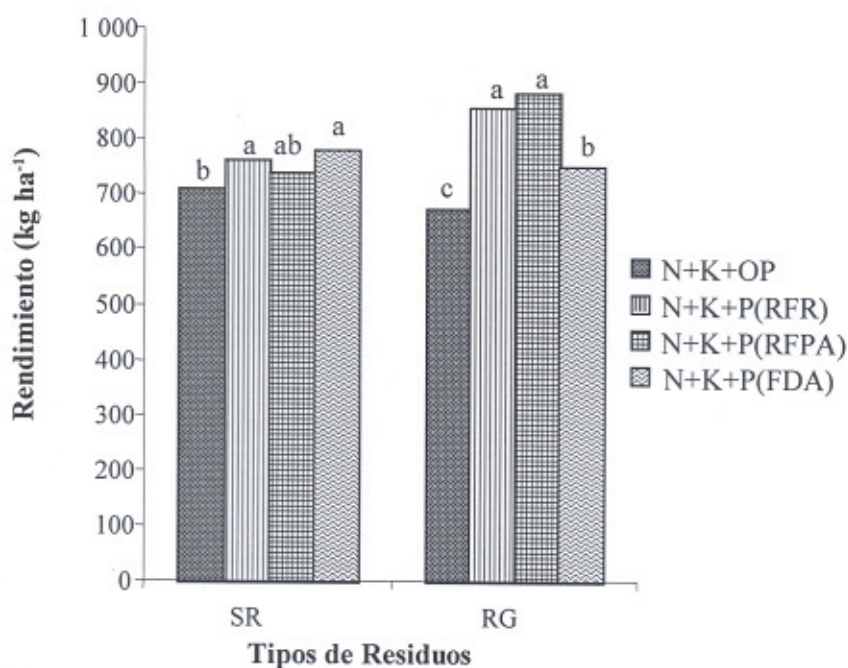


FIGURA 4. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento en grano de *Cajanus cajan*. Año 1. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Tukey, $P \leq 0,05$).

Dentro de la parcela SR (sin residuos), se encontró iguales y mayores rendimientos en grano con las fuentes de fósforo P-RFR- T_2 y P-FDA- T_4 , seguido del tratamiento P-RFPA- T_3 y los rendimientos más bajos fueron obtenidos con el testigo, sin fósforo (OP- T_1). Mientras que con RG (restos de cosecha de sorgo) los mayores rendimientos fueron con

las fuentes de P de menor solubilidad (RFR y RFRPA). Estos resultados, muestran el mayor efecto en los rendimientos obtenidos con las fuentes de fósforo naturales, tanto micronizada (RFR) como acidulada (RFRPA), lo que pudiera estar indicando un efecto positivo, además del P y del calcio proveniente de estas RF. También se observa mejores rendimientos en la parcela que se incorporó los residuos de gramínea (RG), lo cual, pudiera estar indicando efecto de la descomposición de los residuos sobre la disponibilidad del P y Ca proveniente de las RF (Cuadro 6).

CUADRO 6. Resumen del análisis de varianza realizado para rendimiento en grano y de materia seca (MS) del vástago en *Cajanus cajan* en las parcelas SR, RG, Año 1.

Variables	Causa de Variación			CV (%)	
	Res	Trat	Res*Trat	A	B
Grano (kg ha ⁻¹)	**	**	**	0,699	2,410
Vástago (kg ha ⁻¹)	**	**	**	1,860	3,429

** Altamente significativo 0,001. * significativo 0,05. CV = Coeficiente de variación. A= parcela principal, B= parcela secundaria.

En SR, el rendimiento del vástago fue significativamente mayor con RFRPA seguido de RFR y por último FDA y el testigo (T). Igualmente en la parcela RG los mayores rendimientos fueron con RFRPA, seguido de RFR, lo cual puede estar confirmando las hipótesis y supuestos señalados al discutir los resultados de rendimiento en grano (Figura 5).

El segundo año, se obtuvo diferencias altamente significativas en las causas de variación al igual que el primer año. Los mayores rendimientos correspondieron con las fuentes de fósforo de menor solubilidad (T² y T₃) seguido de FDA (T₄), Figuras 6 y 7. En la parcela SR la respuesta del quinchoncho para rendimiento en grano fue mayor con la fuente de P soluble (FDA-T₄), seguido del tratamiento que incluyó RFR-T₂ y significativamente inferior con OP- T₁. Igualmente para el rendimiento del vástago, los mayores valores en MS fueron obtenidos con la fuente soluble de P (FDA-T₄) en la parcela SR, mientras que en la parcela con abono orgánico (RG) se encontró respuesta altamente significativa con

la fuente de P menos soluble (RFR), lo cual es coincidente con el primer año de evaluación y demuestran un posible efecto de los residuos aplicados en la solubilización de la RFR (Cuadro 7).

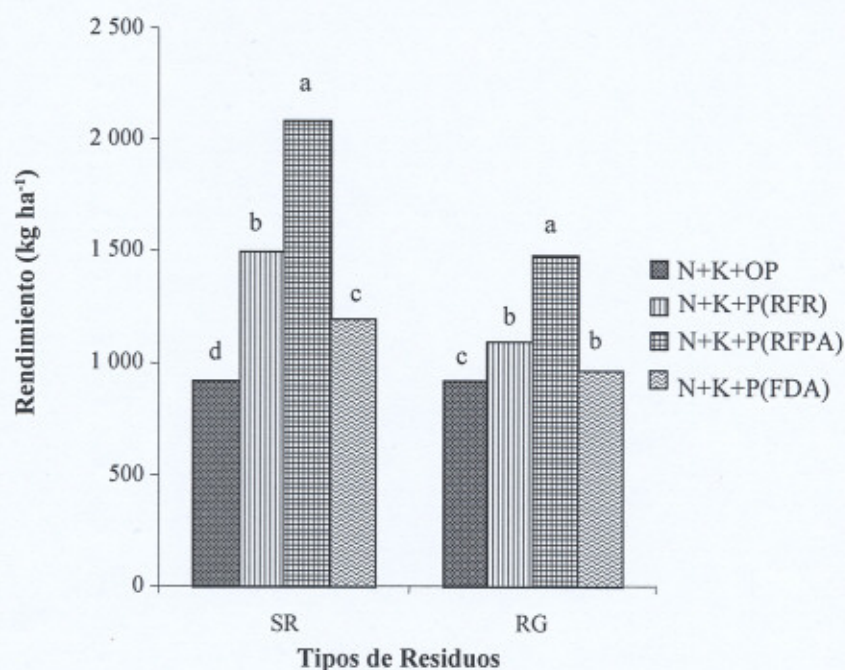


FIGURA 5. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento en rebrotes de *Cajanus cajan*. Año 1.

En la parcela RG, estos residuos de sorgo pudieran estar contribuyendo a la formación de condiciones que favorecen la disolución de la RFR. Pero en la parcela SR los mayores rendimientos fueron con la fuente de P-FDA soluble. Con respecto al rendimiento en vástago, la mayor respuesta fue obtenida con el tratamiento P-FDA.

Hubo un incremento en el rendimiento del quinchoncho significativamente mayor en las parcelas donde se aplicó RG, en comparación con los rendimientos obtenidos donde no se aplicó SR. El rendimiento

en grano del quinchoncho en el tercer año, fue mayor que los obtenidos el primer ($672-883 \text{ kg ha}^{-1}$) y segundo ($700-863 \text{ kg ha}^{-1}$), año, lo cual parece estar relacionado con el aumento en la fertilidad integral del suelo (química y biológica) y con la mejor distribución y cantidad de lluvias registradas. Durante el tercer año, de evaluación, una mejor distribución y cantidad de lluvias durante el ciclo del cultivo, pudo haber favorecido los procesos biológicos y las condiciones químicas de la zona radicular, favoreciendo la mayor disponibilidad de nutrimentos, así como la absorción y uso por parte de la planta (Cuadro 8, Figura 8).

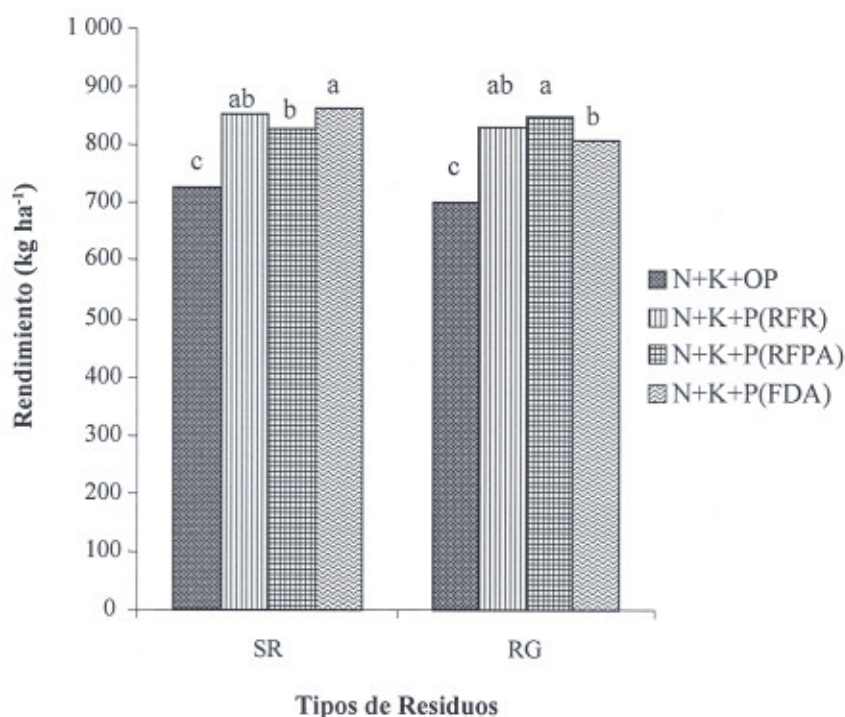


FIGURA 6. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento en grano de *Cajanus cajan*. Año 2.

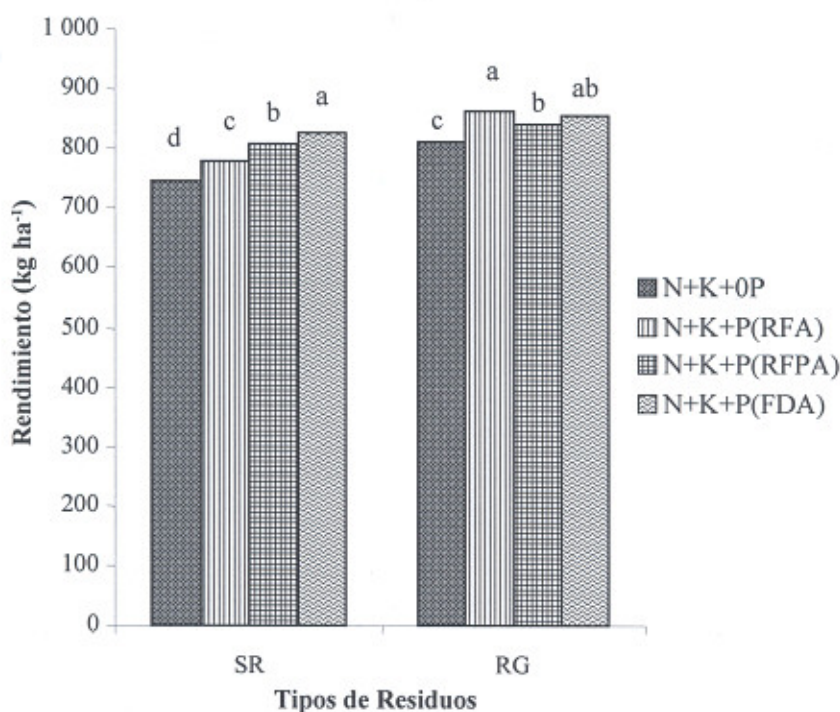


FIGURA 7. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento del vástago de *Cajanus cajan*. Año 2.

Estos resultados obtenidos, tanto rendimiento en grano como en vástago, puede estar indicando, por una parte, expresión de mecanismos fisiológicos del cultivar de *Cajanus cajan* (Aroita) para aprovechar fósforo proveniente de las RF; mecanismo sustentado en numerosas investigaciones, entre ellas, las señaladas por Hocking *et al.* (1997); Ae *et al.* (1991); McLaughlin y James (1991); Weil (2000), quienes han encontrado que el *Cajanus cajan* presenta estrategias fisiológicas (exudados radicales, actividad enzimática) y morfológicas (cambios radiculares) en suelos deficientes en fósforo.

Otras de las razones puede ser debida al requerimiento nutricional del quinchoncho, el cual pudiera estimular la expresión de mecanismo, para aprovechar el calcio de las RF. Esto pudiera estar contribuyendo a cubrir

la demanda nutricional de este elemento, ya que el suelo donde se desarrolló el experimento tiene muy baja disponibilidad de Ca ($< 50 \text{ mg kg}^{-1}$) en el año cero (0) antes de sembrar los abonos verdes e iniciar las evaluaciones correspondientes.

CUADRO 7. Resumen del análisis de varianza realizado para rendimiento en grano y del rebrote de *Cajanus cajan* en las parcelas SR y RG. Año 2.

Variables	Causa de Variación			CV (%)	
	Res	Trat	Res*Trat	A	B
Grano (kg ha^{-1})	**	**	**	0,931	1,951
Vástago (kg ha^{-1})	**	**	**	0,742	1,041

** Altamente significativo 0,001; * Significativo 0,05; CV = Coeficiente de variación.
A= Parcela principal, B= Parcela secundaria.

En el primer año, aún cuando se encontraron incrementos en la disponibilidad de calcio, este se mantuvo bajo, entre 50 y 90 mg kg^{-1} en la parcela de barbecho (testigo absoluto), entre 48 y 65 mg kg^{-1} en la parcela de SR y entre 50 y 114 mg kg^{-1} en la parcela donde se incorporó residuos de cosecha de sorgo (RG). En esta última parcela, los valores de calcio incrementaron hasta valores medios en los primeros 10 cm de profundidad.

CUADRO 8. Resumen del análisis de varianza realizado para rendimiento en grano y del vástago de *Cajanus cajan* en las parcelas SR y RG. Año 3.

Variables	Causa de Variación			CV (%)	
	Res	Trat	Res*Trat	A	B
Grano (kg ha^{-1})	**	**	**	1,657	2,882
Vástago (kg ha^{-1})	N.S.	N.S.	N.S.	8,798	14,703

** Altamente significativo $< 0,01$; * significativo $< 0,05$; NS no significativo; CV= Coeficiente de variación; A= parcela principal; B= parcela secundaria.

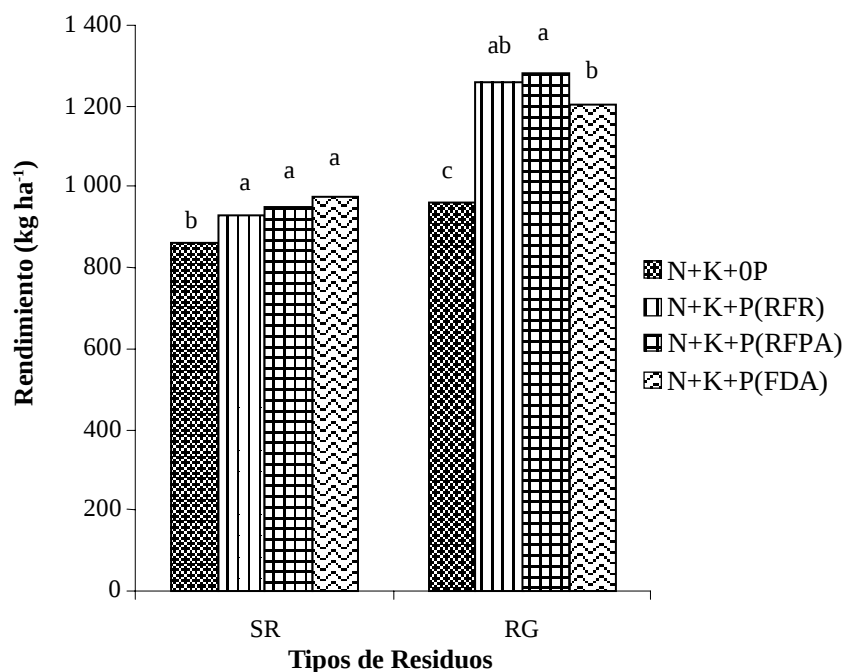


FIGURA 8. Efecto del tipo de fertilización inorgánica (T_1 , T_2 , T_3 , T_4) dentro de cada parcela de residuo (SR, RG) sobre el rendimiento de granos de *Cajanus cajan*. Medias seguidas por la misma letra no son significativamente diferentes entre sí (Duncan, $P \leq 0,05$). Año 3.

En este sentido, los trabajos de Weil (2002) señalan que las leguminosas para mantener el balance iónico interno (catión-anión) exudan protones (H^+), los cuales acidifican la rizosfera y pueden hacer disponible P y Ca a partir de fuentes de fósforo cálcicas, como las RF. El investigador antes referido encontró que entre los exudados radiculares de quinchoncho, predominó el ácido piscídico, el cual actúa sobre formas de P ligado al Fe y hace disponible el P a la planta. Estos procesos son facilitados cuando las plantas están micorrizadas con hongos micorrícicos arbusculares (HMA), los cuales han sido encontrados en la rizosfera de los cultivos indicadores (sorgo y quinchoncho) por Toro *et al.* (2002) en estas condiciones de manejo y en el mismo lote experimental. Además, pueden estar interactuando microorganismos solubilizadores de fósforo

como las bacterias solubilizadoras de fosfato cálcico: *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus circulans*, indentificadas por Toro *et al.* (2002) en el lote experimental.

Estos resultados, hacen suponer, que bajo estas condiciones de manejo conservacionista, las interacciones de microorganismos simbióticos y asimbióticos (asociativos), junto a la habilidad del quinchoncho para adaptarse a estas condiciones adversas, pudieran estar contribuyendo a promover procesos físicos-químicos -biológicos que permiten a la planta acceder a P y Ca de fuentes de poca disponibilidad, tanto proveniente de los fertilizantes inorgánicos naturales (RFR, RFRPA) como de las formas retenidas que existen en suelos ácidos (P-Fe, P-Al), y que pudieran ser explicadas a través de trabajos previos y complementarios desarrollados en estas condiciones de manejo durante el proceso de investigación que se lleva a cabo (Toro *et al.*, 2002; España y López, 2003, López *et al.*, 2004).

Dichas investigaciones han demostrado el efecto positivo del manejo combinado de abonos orgánicos (abonos verdes, residuos de cosecha) con abonos inorgánicos, principalmente con las fuentes de P-RFR, tanto natural como acidulada, encontrándose que los residuos de cosecha y abonos verdes mejoran la calidad del suelo, tanto por el tipo de organismos, actividad y comportamiento de estos en determinadas condiciones, como por las mejoras desde el punto de vista integral en la fertilidad del suelo, incrementando así, la capacidad productiva de los suelos ácidos de sabana de muy baja fertilidad natural.

Por otra parte, los resultados también reflejan la reactividad de las RF utilizadas (RFR, RFRPA) en suelos ácidos y sustentan la hipótesis de que estos fertilizantes fosfatados son una importante alternativa para fertilizar suelos bajos en P y con problemas de acidez. La respuesta importante obtenida con los tratamientos de RF micronizada (RFR) y la parcialmente acidulada (RFRPA), puede estar relacionada como fue explicado antes con la suplencia de calcio proveniente de este fertilizante inorgánico, ya que estos suelos son bajos en este elemento y las leguminosas requieren de este catión para cubrir sus requerimientos y realizar el proceso de fijación de nitrógeno.

En este sentido, López *et al.* (2005) y España *et al.* (2006) en estas mismas condiciones agroecológicas y usando N15 y la técnica del valor A, evaluaron la eficiencia de recuperación de N del fertilizante y la

fijación biológica de nitrógeno (FBN) utilizando quinchoncho, cultivar Aroita y la RFRPA como fuente de fósforo, encontrando que el quinchoncho aprovechó 3% de los 15 kg ha⁻¹ al aplicar como fertilizante (sulfato de amonio), lo cual significa que de aproximadamente 49 kg ha⁻¹ de N acumulado en la planta del quinchoncho, provino del proceso de FBN y que esta fijación fue de aproximadamente 79% del total presente en la planta, siendo esta eficiencia de fijación de N alta comparada con la obtenida por Mafongoya *et al.* (2004) y Gathumbi *et al.* (2002) quienes han señalado valores de FBN en *Cajanus cajan* de 62 en el primer caso y entre 55 y 67% en el segundo caso, lo cual demuestra la potencialidad del cultivar Aroita para ser usado en rotación de cultivos en suelos ácidos de baja capacidad productiva y bajo manejo conservacionista y de bajos insumos.

En general, los rendimientos de quinchoncho fueron significativamente superiores en las parcelas donde se aplicó RG (abono orgánico) combinado con abono inorgánico (T₁-T₄), en comparación con los rendimientos obtenidos en la parcela SR, la cual solo recibió fertilización orgánica.

CONCLUSIONES

- La susceptibilidad a la degradación que presentan los ecosistemas en la región natural de los Llanos Centrales de Venezuela, en altiplanicie de mesa conservada, caso Parroquia Agrícola de Espino, estado Guárico, debido entre otras causas a las características propias del trópico, condiciones climáticas, edáficas, topográficas y de flora y fauna y las prácticas de manejo inadecuadas de los sistemas de producción, hacen necesario implementar alternativas de manejo conservacionistas que promuevan la sustentabilidad de estos agrosistemas.
- El Quinchoncho, *Cajanus cajan*, cv Aroita, es una leguminosa de grano con alto potencial para ser usado en agrosistemas susceptibles a la degradación, presentando mecanismos de adaptación a suelos ácidos al contribuir significativamente en el desarrollo sustentable de la región cuando es utilizada en prácticas de manejo conservacionistas.
- En suelos ácidos de muy baja fertilidad y fragilidad estructural, las prácticas de manejo que combinan abonos inorgánicos (fuentes

naturales de P, RFR, RFRPA y fuentes industriales (N, P, K, en dosis bajas) y orgánicas (abonos verdes, residuos de cosecha), son una alternativa viable técnica, ecológica y económica, que contribuye a aumentar la calidad del suelo y por ende su capacidad productiva.

- Los abonos inorgánicos naturales, tales como la RFR y la RFRPA, representan la fuente de fósforo y calcio alternativa para suelos ácidos con prácticas de manejo conservacionista, los cuales al aportan P y Ca al suelo, mejoran sus condiciones químicas, e incrementan la disponibilidad de P y Ca en el suelo y proveen a los cultivos indicadores de estos macronutrientes esenciales.
- Incrementos en la disponibilidad de los nutrientes Ca, P, K, S y N, en la MO del suelo, disminución en el Al^{+3} y los ligeros incrementos en el pH del suelo; así como los aumentos en los rendimientos del quinchoncho, son indicadores de mejoras en la calidad del suelo y aumentos en su capacidad productiva. Dichas características se convierten en elementos claves para visualizar la tendencia de agrosistemas con suelos ácidos a lograr su sustentabilidad ecológica y económica a mediano plazo al mantener prácticas conservacionistas como las evaluadas en el presente estudio (rotación cereal-leguminosa, uso de cultivares tolerantes a la acidez del suelo, manejo combinado de abonos orgánicos e inorgánicos, labranza mínima y uso racional de insumos).

AGRADECIMIENTO

Al productor Sr. Carlos Bastardo y su honorable familia por el apoyo, confianza y amistad durante el desarrollo de este experimento, permitiéndonos utilizar espacios de su unidad de producción de forma incondicional.

BIBLIOGRAFÍA

AE, N., J. ARIHARA and OKADA. 1991. Phosphorus uptake mechanisms of Pigeonpea grown in alfisol and vertisols. ICRISAT. International Crops Research Institute for the Semi Arid Tropics 1991. Phosphorus nutrition of grain legumes in the semi arid tropics (Johansen, C., Lee, K. K. And Sahwat, K. L., eds) Patancheru A. p. 502-324.

BARRIOS, E. 2001. Calidad de recursos orgánicos, descomposición, disponibilidad de nutrientes y respuesta de los cultivos. **In:** Resumen XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Varadero-Cuba.

BRAVO, C. y A. FLORENTINO. 1999. Nivel de cobertura, conservación de suelos y agua bajo diferentes sistemas de labranza. *Rev. Fac. Agron.* 25:57-74.

CAVIGELLI, M. A. and J. THIEN STEVE. 2003. Phosphorus Bioavailability following incorporation of green manure crop. *Soil Science Society of America Journal*.67:1 186-1 194.

CHAUHAN Y.S.1990. Pigeonpea: Optimum agronomic management Chapter 11. 257 - 278p.*In:* Nene. Y .L.; S D Hall y V. K. Sheila (Ed). The pigeonpea. CAB International Wallinford UK. 490p.

CLEMENT, A., J. K. LADHA and F. P. CHALIFOUR. 1995. Crop residue effects on nitrogen mineralization, microbial biomass, and rice yield in submerged soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:1 595-1 603.

DAY, P. R. 1965. Particle fractionation and size analysis. **In:** *Methods of Soil Analysis*", Monograph No 9. Am.Soc. Agron., Madison, WI. pp. 545-567.

DIAMOND, R. B. 1979. Views on marketing of phosphate rock for direct application. **In:** IFDC, ed. Seminar on phosphate rock for direct application Special Publication SP-1. Muscle Shoals, USA, IFDC.

ESPAÑA, M. 2003. La influencia del sistema de manejo en la microbiología de los suelos de sabanas en Venezuela. **In:** memorias del "Taller Internacional Sobre Manejo Sostenible de las Sabanas Tropicales Suramericanas". P. Procitropicos, IICA, CIAT, Corpoica.

ESPAÑA, M. y M. LÓPEZ. 2003. Actividad de la deshidrogenasa del suelo bajo diferentes tipos de residuo en sabanas ácidas de Venezuela. Dehydrogenase activity the soil with different type of residue in acid savannahs of Venezuela. En el suelo como sistema viviente-Simposio. **In:** V Congreso Venezolano de Ecología. Isla Margarita-Venezuela.

ESPAÑA M., E. CABRERA-BISBAL and M. LÓPEZ. 2006. Study of nitrogen fixation by tropical legumes in acid soil from Venezuelan savannas using ¹⁵N. *Interciencia.* 31:197-201.

ESPAÑA, M., B. RODRÍGUEZ, E. BISBAL y B. CECCANTI. 2002. Actividades enzimáticas y contribución de los residuos de cosecha de maíz al N del suelo en diferentes sistemas de labranza, en los llanos centrales, Venezuela. *Terra* 20 (1):81-86.

EWEL, J. 1972. Zonas de vida de Venezuela: Memória explicativa sobre el mapa geológico. Primera edición. Caracas. Venezuela. 265 pp.

FLORENTINO de A., A. 1998. Guía para la evaluación de la degradación del suelo y de la sostenibilidad del uso de la tierra: Selección de Indicadores Físicos. Valores Críticos. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. 12 p.

FRANCO-VIZCAÍNO. 1997. Comparative soil quality in maize rotations with high or low residue diversity. *Biol. Fertl Soils*. 24:32-38.

GATHUMBI, S. M., G. CADISCH and K. E. GILLER. 2002. 15N natural abundance as a tool for assessing N₂-fixation of herbaceous, shrub and tree legumes in improved fallows. *Soil Biology and Biochemistry*. 34:1 059-1 071

GILABERT de BRITO, J., I. LÓPEZ de ROJAS y R. ROBERTI. 1990. Análisis de suelo para diagnóstico de fertilidad. **In:** Manual de métodos y procedimientos de referencia. FONAIAP-CENIAP. Maracay. Capítulos. 4.1-5.1. (Serie. D. Nº 26).

GROSSMAN, R. B., D. S. HARMS, G. B. MUCKEL and C. D. FRANKS. 1997. Aspects of Evaluation of Soil Quality Proposed for the U.S. Soil Survey. USDA. Natural Resources Conservation Service, Lincoln, Nebraska, USA. 10 p.

HAMMOND, L. L. and L. A. LEON. 1983. Agronomic effectiveness of natural and altered phosphate rocks from Latin America. **In:** IMPHOS, ed. 3rd International Congress on Phosphorus Compounds. Brussels. p 503-518.

HERRERA S, L. A. 2004. Análisis conjunto de experimentos en parcelas subdivididas. Trabajo de ascenso. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. Instituto de Ingeniería Agrícola. 86 pp.

HIGUERA, A., L. CASTILLO, C. GARCÍA, I. SOTO, L. SANDOVAL y R. LOBO. 1998. Efecto de la frecuencia y altura de corte sobre el rendimiento y calidad de forraje de diferentes variedades de quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Rev. Fac. Agron. LUZ 15:188-198.

HIGUERA, A., O. FERRER, D. BOSCÁN, A. CANELÓN, M. MONTIEL y C. CASTRO de R. 2001. Efecto de la altura y tiempo de corte sobre el contenido mineral de hojas y tallos de tres variedades de quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp con fines de alimentación animal. Rev. Cientif. FCV-LUZ XI (6): 491-500.

HOCKING, P. J., G. KEERTHISINGHE, F. W. SMITH and P. J. RANDALL. 1997. Comparison of the ability of different crop species to access poorly-available soil phosphorus. T. Ando *et al.* (Eds). Plant nutrition for sustainable food production and environment.305-308.

LEÓN, M. 1993. Efecto de sistemas de labranza conservacionista con uso de leguminosa en un alfisol de la zona maicera de Yaracuy. Tesis Msc Cs. Maracay. Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 147 p.

LÓPEZ, M. 2002. Muestreo de suelo y fertilización eficiente en sorgo”. **In:** Memorias: IV curso sobre producción de sorgo: ASOPORTUGUESA CIAE-PORTUGUESA. P (113-122). 187 pp.

LÓPEZ, M., H. MENA y A. BOLÍVAR. 2001a. Contribución de abonos verdes y Roca fosfórica en la fertilidad de un suelo ácido de Guárico, Venezuela. **In:** XV Congreso Latino americano y V Cubano de la Ciencia del suelo. Memorias. Editada en formato electrónico (CD-ROM). 5 p.

LÓPEZ, M., E. CABRERA de B., M. ESPAÑA, A. FLORENTINO, M. TORO y N. ALFONZO. 2003. Desarrollo de Estrategias para el Manejo Sostenible de Sabanas Ácidas de Venezuela. Tercer Informe de Avance de Resultados. Convenio: INIA-AIEA-FAO-Contrato N° 10962R1. 72 p.

LÓPEZ, M., E. CABRERA de B., M. ESPAÑA, A. FLORENTINO, M. TORO y N. ALFONZO. 2004. Desarrollo de Estrategias para el Manejo Sostenible de Sabanas Ácidas de Venezuela. Informe Final. Convenio: INIA-AIEA-FAO-Contrato VEN N° 10962R0R3. 103 p.

LÓPEZ, M., M. ESPAÑA y E. CABRERA de B.. 2005. Aportes de nitrógeno por FBN en la rotación *Sorghum bicolor-Cajanus cajan*, usando ¹⁵N en un suelo ácido del estado Guárico-Venezuela. **In:** Memorias del XVII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. Maracay-Venezuela del 17 al 19 de mayo de 2005. 4 p.

LÓPEZ, M., N. ALFONZO, S. CANACHE, S. GUERRERO y L. BRICEÑO L. 2001b. Caracterización de suelos ácidos del Nororiente de Guárico y centro Norte de Cojedes. IV Jornadas Técnicas del CENIAP realizadas en el marco de los 50 años del Centro. Maracay del 12 al 14 de septiembre de 2001. En memorias. Formato electrónico CD.

LÓPEZ, M., N. ALFONZO, A. FLORENTINO y M. PÉREZ. 2006. Dinámica del Fósforo y Reducción del Aluminio Intercambiable en un Suelo Ultisol Sometido a Manejo Conservacionista en Venezuela; *Interciencia*, 31: 293-299.

MAFONGOYA, P., K. E. GILLER, D. ODEE, S. GATHUMBI, S. K. NDUFA and S. M. SITOMPUL. 2004. Benefiting from N₂-fixation and managing rhizobia. **In:** Van Noordwijk; G. Cadisch and C.K. Ong (eds). Below-ground interactions in tropical agroecosystems. Concepts and models with multiple plant component. CAB-International. Wallingford, UK. 16 p.

MARTÍNEZ, J., L. LEONTE, G. CASTELLANO y A. HIGUERA. 2003. Evaluación de 25 líneas de quinchoncho *Cajanus cajan* (L.) Millsp con fines de selección para uso como leguminosa arbustiva forrajera. *Rev. Científica. FCV-LUZ*. XIII (3):173-181.

McLAUGHLIN, Y. and T. R. JAMES. 1991. Effect of phosphorus supply to the surface roots wheat on root extension and rhizosphere chemistry in an acidic subsoil. *Plan and Soil*. 134:73-82.

MÍRELES, M., J. COMERMA y F. QUINTERO. 1998. Tipos de Usos de la Tierra en el Nororiente de Guárico. Maracay, Ven. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. 34 p. (Serie C. Nº 11).

MOKOLOBATE M., S. and R. J. HAYNES. 2002. Comparative liming effect of four organic residues applied to an acid soil. *Biology Fertility Soil*. 35:79-85.

NENE, Y. L. and V. K. SHEILA. 1990. Pigeonpea: Geography and Importance. Chapter1. 1-14p. **In:** Nene. Y. L.; S. D. Hall y V. K. Sheila (Ed) 1990. The pigeonpea. CAB International Wallingford UK. 490 p.

PLÁ, I. 1983. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Revista Alcance. Maracay, Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. No 32.

RAMÍREZ, L. 2000. Ventanas de Sostenibilidad: un modelo para la promoción del desarrollo sostenible. IIICA-GTZ Cota Rica material de consulta técnica pp. 1-15.

RAMÍREZ, R. y M. LÓPEZ. 2000. Agronomy effectiveness of phosphate rock and superphosphate for aluminum tolerant and non-tolerant *sorghum cultivars*. Communication in Soil Science and Analysis. 31(9 y 10): 1 169-1 178.

REMANANDAN, P. 1990. Pigeonpea: Genetic Resources. Chapter 4. 89 a 115 p. **In:** Nene Y. L.; S. D. Hall y V. K. Sheila (Ed) 1990. The pigeonpea. CAB International Wallingford UK. 490 p.

RIVAS, E. 1993. Efecto de la labranza mínima y prácticas agronómicas asociadas sobre las propiedades físicas del suelo y el rendimiento de maíz de los Llanos altos del estado Monagas. Tesis de maestría. Maracay. Ven. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía. 105 pp.

RIVERO, C., D. LOBO y A. LÓPEZ. 1998. Efectos de la incorporación de residuos orgánicos sobre algunas propiedades físicas de un alfisol degradado. Revista Venesuelos. 6 (1y 2): 9-33.

THORUP-KRISTENSEN, K. 2003. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zonas. Adv. Agrn.79:228-302.

TORO, M., M. LÓPEZ y D. LÓPEZ-HERNÁNDEZ. 2002. Primer informe de avance del proyecto: “Efecto de las prácticas agrícolas sobre el funcionamiento de las micorrizas arbusculares y su incidencia en el desarrollo sostenible de agroecosistemas” S1-2000000649. Caracas. 30 p.