

CAMBIOS EN LA FERTILIDAD QUÍMICA DE UN SUELO DE SABANA LUEGO DE DIEZ AÑOS DE SU AFORESTACIÓN CON *Acacia mangium*

Lenny Romero¹, Ismael Hernández-Valencia²

¹Escuela de Biología, UCV, Apdo. Postal 20513, Caracas 1020-A, Venezuela, lenny.romero@gmail.com ²Laboratorio de Ecología del Paisaje y Agroecología IZET-UCV, Apdo. Postal 20513, Caracas 1020-A, Venezuela, ismael.hernandez@ciens.ucv.ve

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar cambios en la fertilidad química de un suelo de sabana, pasados diez años de su aforestación, se realizó un análisis comparativo entre una sabana de *Trachypogon spicatus* y un bosque de *Acacia mangium*. Se cuantificó el contenido de materia orgánica, fósforo disponible, nitrógeno total, pH, cationes intercambiables, porcentaje de saturación de base y capacidad de intercambio catiónico efectiva, así como las variables físicas: textura, capacidad de campo y densidad aparente. Los resultados indicaron que la presencia de *A. mangium* acidificó el suelo significativamente, alcanzando valores de pH más bajos que los reportados para sistemas forestales con mayor tiempo de establecimiento. Esto parece ser consecuencia de la extracción de nutrientes por la vegetación boscosa y el aumento de la cantidad de materia orgánica y aluminio superficial. Por su parte, el P disponible disminuyó mientras que nitrógeno total aumentó, cambios esperados dada la actividad simbiótica de acacia.

Palabras clave: bosques de compensación de CO₂, cambio de vegetación, pérdida de fertilidad, acidificación de suelos.

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, el establecimiento de sistemas forestales en Venezuela ha tenido como fin último el mercado maderero y la fabricación de papel (**Rondón y col., 2006**). Sin embargo, la problemática global generada por la realidad climática mundial ha obligado a todos los sectores a generar herramientas mitigantes al aumento del CO₂ atmosférico, incluyendo la implementación de técnicas de reforestación y aforestación, con fines de mantener e incrementar el carbono almacenado en los sistemas boscosos (**IPCC, 2007**). Bajo este lineamiento, la industria petrolera venezolana ha venido desarrollando planes de aforestación (transformación de un sistema no boscoso a un sistema forestal) con el fin de crear bosques de compensación de CO₂ que permitan subsanar la emisión de este gas por sus actividades. La leguminosa de origen australiano *Acacia mangium* ha sido utilizada en otros países con estos fines, ya que además de su relativa alta producción de materia orgánica, es capaz de rehabilitar suelos degradados, restaurar la fertilidad y biodiversidad del suelo, reducir el riesgo por plagas, facilitar el establecimiento de especies vegetales no tolerantes a las altas temperaturas y promover el secuestro de carbono (**Kelty, 2006; Macedo y col., 2008; Yang y col., 2009**). Estos beneficios se atribuyen en parte a su asociación con organismos fijadores de nitrógeno, lo que le permite un rápido crecimiento y alta acumulación de materia orgánica. Sin embargo también se ha reportado que la presencia de *A. mangium* empobrece los suelos y los acidifica, dado que su rápido crecimiento agota los cationes básicos y promueve la saturación de aluminio del complejo de intercambio del suelo (**Yamashita y**

col., 2008). La pérdida de fertilidad de los suelos producto del cambio de vegetación y el establecimiento de monocultivos forestales de pinos y eucaliptos ha sido bien documentada en territorio venezolano (López-Hernández y Pomenta, 1985; Campos 1999, Hernández-Valencia y Bautis, 2005), además del efecto alelopático reportados para estas especies (Cecon y Marínez-Ramos, 1999). El uso de *A. mangium* en planes forestales pretende ser una alternativa menos perjudicial para la calidad de los suelos venezolanos, debido principalmente a la baja toxicidad de sus compuestos químicos (Seigler, 2003), a la mayor calidad de sus residuos vegetales (Garay y col. 2004), y al potencial enriquecimiento del suelo con nitrógeno y carbono, además de la utilidad comercial de su madera y derivados. Con el objetivo de evaluar la idoneidad de *A. mangium* en recuperar, mejorar y mantener la fertilidad de un suelo de sabana aforestado, en este trabajo se presenta una evaluación de los cambios en la cantidad de nitrógeno total, fósforo disponible, capacidad de intercambio catiónico, pH y materia orgánica, como consecuencia de la aforestación de una sabana de *Trachypogon spicatus* con esta leguminosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio fue realizado en las cercanías de la ciudad de El Tigre, estado Anzoátegui, donde PDVSA Petropiar ha transformado 111,3 ha de sabanas arboladas dominadas por *Trachypogon spicatus* en bosques forestales, siendo 47 ha ocupadas por *A. mangium*. La cohorte de acacia considerada en este estudio tiene una edad de 10 años y está ubicada a 200 metros de la sabana testigo. El muestreo se llevó a cabo en octubre de 2009, correspondiente al período lluvioso de la región. En cada área se estableció una calicata y se identificaron tres horizontes (A1, Bt1 y Bt2), cuyas profundidades fueron en la sabana (16cm, 19cm, 70cm) y en el bosque (20cm, 20cm, 65cm) respectivamente. La parcela de muestreo en cada zona fue de 1 ha, dentro de la cual se tomaron muestras de suelo, con un barreno a la profundidad intermedia de cada horizonte identificado, en 18 puntos elegidos al azar. En el laboratorio se trabajó con muestras compuestas, composición hecha al azar para un total de 6 muestras por horizonte. Se realizaron los análisis de clase textural (método de la pipeta según Gasparotto y col., 2003), densidad aparente, humedad del suelo, capacidad de campo, capacidad de intercambio catiónico efectiva, cationes intercambiables y porcentaje de saturación de bases de acuerdo con lo descrito por Anderson e Ingram, 1993, pH en agua (1:2,5) (Allen y col., 1974), nitrógeno total (oxidación de Kjeldahl; Bremner, 1965), fósforo disponible (Olsen y Sommers, 1982), y materia orgánica del suelo (digestión húmeda, Vance y col., 1987).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros físicos

La clasificación textural de los horizontes fue la misma en ambas zonas, presentando menor densidad aparente los horizontes superficiales respecto a los horizontes sub superficiales (Tabla 1). En el bosque, la superficie del suelo conserva mayor humedad que la superficie del suelo en la sabana (Fig.1), lo cual va acorde a las condiciones microclimáticas contrastantes en ambas zonas (temperatura, humedad relativa, cobertura vegetal, cantidad de hojarasca, entre otras). El suelo de ambas zonas posee una capacidad de campo similar, con un promedio general (media \pm DE) de $37,82 \pm 5,56$ mg H₂O·100g suelo⁻¹. Estos resultados permiten asegurar que se comparan dos sitios con características similares y que las diferencias observadas en otros indicadores están asociadas solo al efecto de la aforestación.

Tabla 1. Porcentajes de arena, arcilla y limo, densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) y pH (en agua 1:2,5) para cada horizonte del suelo de la sabana (S) y del suelo del bosque de *A. mangium* (B). Se incluye clase textural y promedios generales por zona.

Horizonte	Arena		Arcilla		Limo		Textura	Densidad aparente		pH		
	%	ES	%	ES	%	ES		DA	ES	ES	ES	
Bosque	A	92,64(a)	0,53	3,27(a)	0,24	4,09(a)	0,29	A	1,38(a)	0,02	4,14(a)	0,02
	Bt1	90,05(b)	0,98	5,85(b)	0,51	4,10(b)	0,58	AF	1,72(b)	0,02	3,77(b)	0,01
	Bt2	85,08(c)	1,52	9,72(c)	1,28	5,21(c)	0,31	AF	1,74(c)	0,01	3,67(c)	0,03
	Media B	89,26	0,42	6,28	0,31	4,47	0,16		1,61	0,02	3,86	0,06
Sabana	A	90,83(a)	0,21	4,46 (a)	0,11	4,74(a)	0,15	A	1,51(a)	0,02	4,66(d)	0,03
	Bt1	89,50(b)	0,20	6,55 (b)	0,13	3,95(b)	0,09	AF	1,65(b)	0,01	4,42(e)	0,04
	Bt2	81,44(c)	0,85	13,00(c)	0,68	5,56(c)	0,24	AF	1,73(c)	0,01	4,30(f)	0,04
	Media S	87,26	1,01	8,00	0,69	4,75	0,41		1,63	0,01	4,46	0,04

Letras en paréntesis indican diferencias significativas entre horizontes y entre zonas (Textura= K-W, $p<0,05$, DA y pH= Anova factorial; $p<0,05$). A=Arenosa, AF=Areno-Francosa. (ES: error estándar: Textura y PH; $n_s=18$, $n_B=18$. DA; $n_s=9$, $n_B=9$).

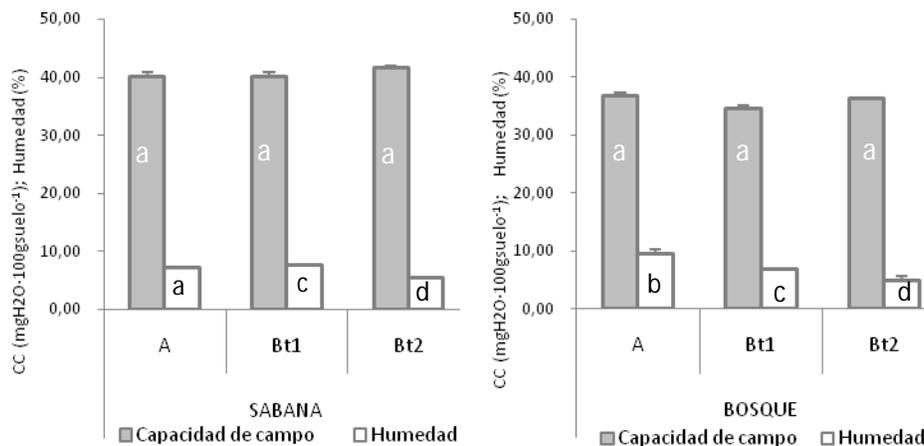


Figura 1. Capacidad de campo (CC) y porcentaje de humedad del suelo (%Hm) bajo vegetación de sabana y del suelo bajo vegetación boscosa de acacia.

Letras diferentes indican diferencias significativas (Anova factorial; $p<0,05$) entre sistemas y entre horizontes. Las barras verticales indican el error estándar de la media. $n_s=9$, $n_B=9$.

Parámetros químicos

El pH disminuye con la profundidad, siendo el suelo del bosque ($3,860\pm 0,254$) significativamente más ácido que el suelo de la sabana ($4,460\pm 0,186$). Estos valores de pH (Tabla 1) son considerados muy bajos, característicos de suelos fuertemente ácidos, e inferiores al menor valor de pH reportado para sabanas venezolanas (**Hernández-Valencia y col., 2002; López-Hernández, 2008**). La acidificación de los suelos bajo vegetación forestal ha sido reportada para bosque de *Pinus caribaea*, *Eucalyptus sp.* y *A. mangium* (**Pomonta y López- Hernández, 1985; Yamashita y col., 2007**); sin embargo, la variación neta de 0,60 unidades de pH en el intervalo obtenido para este estudio, representa una acidificación mayor a la reportada para suelos de estos bosques con mayor tiempo de establecimiento.

La cantidad de nitrógeno aumentó en el suelo luego de la aforestación con *A. mangium* (Fig. 2). Entre los horizontes de suelo del bosque no existieron diferencias significativas respecto al contenido de nitrógeno, lo cual sugiere una posible homogenización promovida por la simbiosis de *A. mangium* con organismos fijadores de nitrógeno. Ésta interacción ocurre en las raíces, de manera que hay un aporte de nitrógeno directo a los horizontes subsuperficiales. Sin embargo, no puede descartarse el aporte a través de la descomposición de la hojarasca de acacia, rica en nitrógeno dado su naturaleza de leguminosa, el cual podría traslocarse hasta horizontes más profundos dada la textura arenosa del suelo. Aún así, los valores obtenidos se corresponden con los bajos niveles nutricionales reportados para suelos de sabanas venezolanas (**Hernández-Valencia y col., 2002**). Por su parte, los contenidos de P disponible son menores en el suelo del bosque y disminuyen en ambas zonas con la profundidad (Fig. 2). Esta disminución puede responder al rápido crecimiento de acacia, lo cual genera una mayor demanda de P en comparación con las especies de la sabana. Adicionalmente, por ser acacia una leguminosa, presenta una mayor demanda de P para la fijación simbiótica de nitrógeno lo cual repercute en la disminución observada (**Brady, 1996**). Además, la solubilidad del P en suelos fuertemente ácidos puede verse reducida por su asociación con elementos como el hierro, el aluminio y el manganeso, lo cual lo hace no disponible para las plantas.

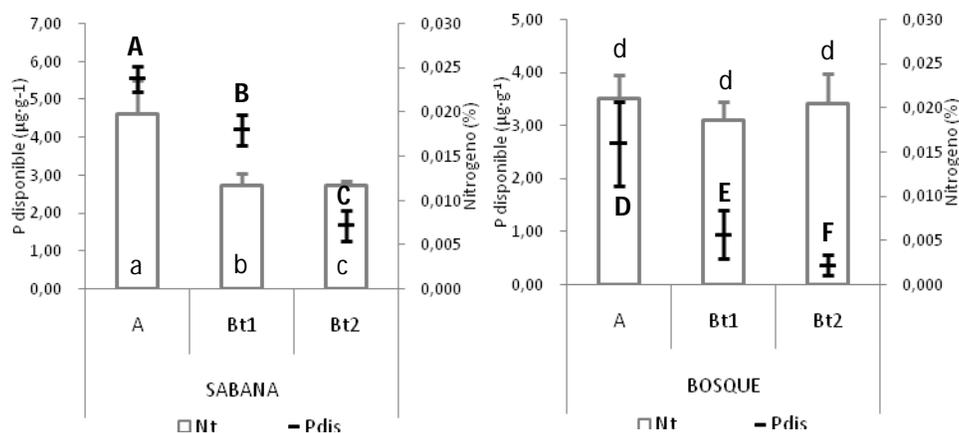


Figura 2. Nitrógeno total (Nt) y fósforo disponible (Pdis) del suelo bajo vegetación de sabana y el suelo bajo vegetación boscosa de *A. mangium*.

Letras diferentes indican diferencias significativas (K-W; $p < 0,05$) entre sistemas y entre horizontes. (mayúsculas para Pdis y minúsculas para Nt). Las barras verticales indican el error estándar de la media. $n_s=18$, $n_B=18$.

El efecto de la acidificación de los suelos puede también verse reflejado en la concentración de cationes básicos; sin embargo, la capacidad de intercambio catiónico efectiva y el porcentaje de saturación bases no resultaron diferentes entre la sabana y el bosque (Tabla 2). No obstante, la porción ocupada por cationes ácidos tales como protones y aluminio, representa un poco más del 50%, lo cual justificaría los bajos valores de pH registrados. Los resultados indican que las concentraciones de aluminio han aumentado en la superficie en el suelo del bosque, contribuyendo a la acidificación del suelo a este nivel. La variación de la cantidad de las bases cambiables puede ser atribuida a que en los horizontes más superficiales hay una mayor absorción de cationes básicos por las raíces de las plantas, de

manera que la concentración de cationes ácidos totales es mayor y el %SB menor. En el bosque, esta absorción se presume uniforme en todos los horizontes, dado que el sistema radical de *A. mangium* penetra a mayor profundidad en el suelo. La proporción de bases cambiables varía entre la sabana (Mg>Ca>Na>K) y el bosque (Ca>Mg>Na>K), manteniéndose las condiciones de poca fertilidad y representando el Ca, del total de cationes intercambiable, 42,45 % en la sabana y 37,73 % en el bosque.

Tabla 2. Capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), cationes intercambiables y porcentaje de saturación de base (SB) para los horizontes bajo vegetación de sabana y bajo vegetación boscosa de *A. mangium*.

		cmol·kg ⁻¹									
		Ca	Mg	K	Na	Σcationes básicos	Al	H	Acidez total	CICE	SB
SABANA	E1	0,18 a,A (0,01)	0,36 a,A (0,02)	0,01 a,A (0,00)	0,05 a,A (0,01)	0,61 a,A (0,04)	0,05 a,A (0,03)	0,31 a,A (0,00)	0,35 a,A (0,03)	0,96 a,A (0,03)	63,02 a,A (3,02)
	E2	0,21 a,A (0,07)	0,12 b,A (0,03)	0,03 a,A (0,00)	0,03 a,A (0,01)	0,38 a,A (0,10)	0,14 a,A (0,05)	0,39 a,A (0,06)	0,53 a,A (0,02)	0,91 a,A (0,10)	38,13 a,A (6,90)
	E3	0,17 a,A (0,05)	0,10 c,A (0,02)	0,03 a,A (0,01)	0,02 a,A (0,00)	0,31 a,A (0,08)	0,51 c,A (0,04)	0,43 a,A (0,02)	0,94 b,A (0,03)	1,25 a,A (0,10)	23,14 b,A (4,14)
	Media*	0,18 A (0,02)	0,15 A (0,02)	0,03 A (0,00)	0,03 A (0,00)	0,39 A (0,04)	0,39 A (0,04)	0,42 A (0,02)	0,81 A (0,04)	1,59 A (0,04)	24,09 A (3,40)
BOSQUE	E1	0,23 a,A (0,09)	0,08 b,B (0,01)	0,02 a,A (0,00)	0,15 a,A (0,06)	0,47 a,A (0,15)	0,40 a,B (0,05)	0,21 a,A (0,02)	0,61 a,B (0,06)	1,08 a,A (0,17)	39,21 a,A (6,90)
	E2	0,12 a,A (0,04)	0,17 b,A (0,04)	0,14 a,A (0,05)	0,06 a,A (0,01)	0,49 a,A (0,03)	0,16 a,A (0,04)	0,24 a,B (0,03)	0,43 a,A (0,02)	0,89 a,A (0,03)	54,99 a,A (1,77)
	E3	0,17 a,A (0,04)	0,15 b,A (0,03)	0,02 a,A (0,00)	0,06 a,A (0,02)	0,40 a,A (0,08)	0,19 a,B (0,10)	0,29 a,B (0,02)	0,49 a,B (0,11)	0,88 a,A (0,03)	46,49 a,A (9,65)
	Media*	0,17 A (0,02)	0,15 A (0,01)	0,04 A (0,02)	0,08 B (0,02)	0,43 A (0,04)	0,22 A (0,03)	0,27 A (0,01)	0,50 A (0,03)	1,35 A (0,04)	30,98 A (2,88)

Ca: calcio, Mg: magnesio, K: potasio, Na: Sodio, Al: aluminio, H: hidrógeno, CICE: capacidad de intercambio catiónico efectiva, SB: porcentaje de saturación de base. Letras diferentes indican diferencias significativas (mayúsculas: entre horizontes bajo vegetación diferente, minúsculas: entre horizontes bajo igual vegetación) (K-W; p<0,05). Valores en paréntesis indican el error estándar de la media. * media ponderada respecto a la profundidad de los horizontes que conforman el perfil.

La mayor cantidad de materia orgánica (MO) en el bosque y su similitud entre horizontes (Fig. 3) sugiere que los procesos de incorporación de material orgánico a los niveles sub superficiales mantienen una misma dinámica. El promedio ponderado (media ±ES) de MO para el bosque (3,60 ±0,34%) es ligeramente superior al encontrado por **Garay y col. (2004)** en Brasil, para niveles superficiales del suelo bajo vegetación de *A. mangium* (~2,5%). Además, la acumulación de MO frecuentemente puede estar asociada con la disminución de pH (**Evans y Kamprath, 1970**) debido a que los ácidos orgánicos que se generan acidifican la solución del suelo, lo cual guarda concordancia con la acidez encontrada en el suelo del bosque. Además, es importante destacar que el suelo de la sabana estudiada tiene mayor contenido de MO, comparado con los valores reportados para estudios similares (sistema de sabana y forestales) los cuales oscilan entre 0,63 y 1,6% (**Campos, 1999; Hernández-Valencia y col., 2002; Gómez, 2005; López-Hernández, 2008**). A juzgar por este parámetro, en ésta sabana el aporte de residuos al suelo ó la tasa de descomposición de la hojarasca es mayor que en otras sabanas de *Trachypogon sp.*, ello puede estar relacionado con una mayor densidad arbórea observada en la sabana estudiada, la cual se ha protegido de la quema por diez años.

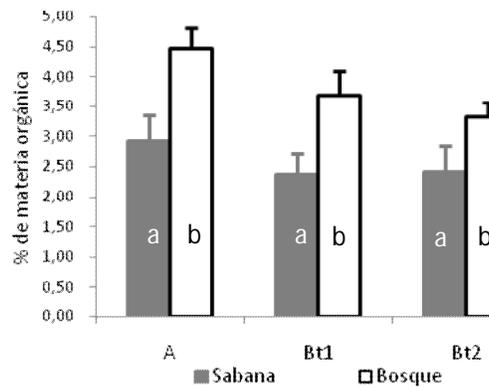


Figura 3. Contenido de materia orgánica del suelo bajo vegetación de sabana y el suelo bajo vegetación boscosa de *A. mangium*.

Letras diferentes indican diferencias significativas (K-W; $p < 0,05$) entre sistemas y entre horizontes. Las barras verticales indican el error estándar de la media. $n_s=18$, $n_B=18$.

CONCLUSIÓN

La aforestación con *Acacia mangium* modificó el pH del suelo, la cantidad de materia orgánica y el contenido de nitrógeno y fósforo. El suelo bajo vegetación boscosa es fuertemente ácido y presenta mayor cantidad de nitrógeno y materia orgánica. Por su parte, el contenido de fósforo del suelo se redujo, lo cual se asocia a la disminución de su disponibilidad en la solución del suelo como consecuencia de la disminución del pH y, a la demanda de este macronutriente en la actividad de microorganismos fijadores de nitrógeno. Aunque el aumento en la cantidad de nitrógeno puede favorecer los procesos de mineralización de carbono y la fertilidad del suelo, las limitaciones futuras en la disponibilidad de nutrientes producto del bajo pH, además de la potencial acidificación por la descomposición de la materia orgánica presente y futura, sugiere la necesidad de encalar el suelo bajo vegetación de *A. mangium*.

BIBLIOGRAFÍA

- ALLEN, S.E., GRIMSHAW, H.M., PARKINSON, J.A., QUARMBY, C. 1974. Chemical analysis of ecological materials. Black Weel. Scien. Publi. London.
- ANDERSON, J.M., INGRAM, J.S.I. 1993. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2nd edition, Wallingford UK: CAB International.
- BRADY, N. 1996. The Nature and Properties of Soils. Prentice Hall.
- BREMNER, J.M. 1965. Total nitrogen. En: Methods of soil analysis part 2. C.A. Black (ed.). Agronomy 9, Pp 1149-1178. Am. Soc. Of Agrom., Madison, Wisconsin.
- CAMPOS, A. 1999. Efecto de la siembra de *Pinus caribbea* L, en fracciones de materia orgánica de un suelo de sabana, Uverito-Edo. Monagas. Tesis de Grado. Universidad Central de Venezuela.
- CECCON, E. Y MARTÍNEZ-RAMOS, M. 1999. Aspectos ambientales referentes al establecimiento de plantaciones de eucalipto de gran escala en áreas tropicales: aplicación al caso de México. *Interciencia*. 24(6): 352-359.
- EVANS, C. Y KAMPRATH, E. J. 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34(6):893-869.

- GARAY, I.; PELLENS, R.; KINDEL, A.; BARROS, E.; FRANCO, A.A. 2004. Evaluation of soil conditions in fast-growing plantations of *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* in Brasil: a contribution to the study of sustainable land use. *Soil Ecol.* 27:177-187.
- GASPAROTTO, E., MALO, D.D, Y GELDERMAN, R.H. 2003. Impact of Organic Matter Removal on Particle Size Analysis by Pipette and Hydrometer.
- GÓMEZ, I. 2005. Parámetros microbiológicos y bioquímicos en suelos de los llanos orientales de Venezuela bajo diferente uso de la tierra y prácticas de manejo. Tesis Doctorado. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Caracas-Venezuela.
- HERNÁNDEZ-VALENCIA, I. Y LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. 2002. Pérdida de nutrimentos por la quema de la vegetación en una sabana de *Trachypogon*. *Biol. Trop.* 50(3/4): 1013-1019.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Valencia España.
- KELTY, M.J. 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest. Ecol. Manag.* 233: 195-204.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D. Y POMENTA, L.E. 1985. Cambios químicos inducidos en las sabanas de Uverito (Edo.Monagas, Venezuela) por plantaciones de *Pinus caribaea*. *Turrialba* 35(1):77-83.
- LÓPEZ-HERNÁNDEZ, D.; HERNÁNDEZ-VALENCIA, I. Y GÜERERE, I. 2008. Cambios en parámetros físicos, químicos y biológicos en el suelo de una sabana protegida de quema y pastoreo durante veinticinco años. *Bioagro* 20(3): 151-158.
- MACEDO, M.O.; RESENDE, A.S.; GARCÍA, P.C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; URQUIAGA, S.; CAMPELLO, E.F.C.; FRANCO, A.A. 2008. Changes in soil C and N stocks and nutrients dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest. Ecol. Manag.* 255: 1516-1524.
- OLSEN, S.R, Y SOMMERS L. 1982. Phosphorus. In: Methods of soil analysis, part 2. Chemical and microbiological properties. In: Page, A.L., Miller, R.H. y Keeney, D. R. (Eds.) *Agronomy Series* 9: 403-430.
- RONDÓN, M.; ACEVEDO, D.; HERNÁNDEZ, R.M.; RUBIANO, Y.; RIVERA, M.; AMEZQUITA, E.; ROMERO, M.; SARMIENTO, L.; AYARZA, M.; BARRIOS, E.; RAO, I. 2006. Carbon sequestration soil of Latin America. The Haworth Press. Inc. New York. London. Oxford.
- SINGLER, D.S. 2003. Phytochemistry of *Acacia- sensu lato*. *Biochem. Syst. Ecol.* 31: 845-873.
- VANCE, E.D., BROOKES, P.C., JENKINSON, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.* 19: 703-707.
- YAMASHITA, N.; OHTA, S.; HARDJONO, A. 2008. Soil changes induced by *Acacia mangium* plantation establishment: Comparison with secondary forest and *Imperata cylindrical* grassland soils in South Sumatra, Indonesia. *Forest Ecol. Manage.* 254: 362-370.
- YANG, L.; LIU, N.; REN, H.; WANG, J. 2009. Facilitation by two exotic *Acacia*: *Acacia auriculiformis* and *Acacia mangium* as nurse plants in South China. *Forest Ecol. Manage.* 257(8): 1786-1793.