
EFECTO DEL CAMBIO DE BOSQUE A PASTIZAL SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE ALGUNOS SUELOS EN LOS LLANOS OCCIDENTALES DE VENEZUELA

Ana Francisca González-Pedraza y Nelda Dezzeo

RESUMEN

Se evaluó el efecto de la conversión de bosques a pastizales sobre algunas características de los suelos, tales como densidad aparente, contenido de humedad, pH, materia orgánica total (MOT), fósforo total (PT) y cationes intercambiables. El estudio se realizó en los Llanos Occidentales de Venezuela, en tres sitios cercanos entre sí: un bosque seco (B) con dominancia de árboles caducifolios, un pastizal joven de 5 años (PJ) y un pastizal viejo de 18 años (PV). Los pastizales provenían de la tala y quema del bosque primario, y estaban cubiertos por pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* L.). En cada sitio se tomaron 12 muestras de suelo a 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, y 30-40 cm de profundidad. Para comparar las variables analizadas entre los sitios se aplicó análisis de covarianza usando el porcenta-

je de arcilla como covariable, debido a diferencias estadísticas registradas entre los sitios con relación a esta variable, que usualmente no se altera con el cambio de uso de la tierra. Se encontró que PJ presentó un porcentaje de arcilla significativamente ($p < 0,05$) más alto que B y PV. Asimismo, PJ presentó los valores más altos de MOT, PT, cationes intercambiables y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE). CICE mostró una correlación positiva con MOT en los tres sitios. Se concluye que el cambio de bosque a pastizal no produjo efectos negativos en las propiedades del suelo. Por lo tanto, para conservar los niveles de fertilidad en esos suelos se sugiere seleccionar pastizales productivos y prácticas de manejo adecuadas.

Introducción

El cambio de uso de la tierra en regiones tropicales ha traído como consecuencia un aumento en la tasa de deforestación, lo cual ha resultado en una serie de efectos negativos sobre la biodiversidad, el almacenamiento de agua y nutrientes en el suelo (Hartemink *et al.*, 2008) y las emisiones de gases con efecto invernadero (Fearnside, 2000). En ese sentido, el cambio de uso de la tierra es un tema de interés, particularmente para la comunidad científica relacionada con los ciclos biogeoquímicos, los cambios climáticos globales y la biodiversidad.

La conversión de bosques tropicales en tierras agrícolas y pecuarias causa importantes

cambios en las propiedades de los suelos, incluyendo pérdidas de materia orgánica, aumento en la densidad aparente y disminución en los cationes intercambiables y la saturación de bases (Lepsch *et al.*, 1994; Neill *et al.*, 1997; Dominy *et al.*, 2002; Yimer *et al.*, 2008), lo cual afecta la fertilidad de los suelos. Después de la tala de los bosques, uno de los principales usos de la tierra es el establecimiento de pastizales (Raun y Peterson, 1986; Wassenaar *et al.*, 2007). Algunos autores han indicado que la sustitución de bosques por pastizales afecta negativamente las propiedades físicas y químicas de los suelos (Ohta, 1990; Luizão *et al.*, 1992; Desjardins *et al.*, 1994; Veldkamp, 1994), mientras que otros han demostrado

lo contrario (Neill *et al.*, 1997; Tarré *et al.*, 2001).

En el trópico, la mayor parte de los estudios sobre los efectos del cambio de uso de la tierra han sido realizados en regiones de bosque húmedo, mientras que para el bosque seco existe poca información, aún cuando este último ha sido considerado como uno de los ecosistemas terrestres más amenazados del planeta (Janzen, 1988; Maass, 1995). En Venezuela, el bosque seco representa la zona de vida más importante en términos de la superficie que ocupa, e incluye extensas superficies como los Llanos Occidentales, que estuvieron cubiertos por exuberantes bosques secos estacionales. Esos bosques han sido convertidos en su mayor parte en áreas dedica-

das a la producción agropecuaria, particularmente durante los últimos 40 años (Luna, 1996). Para esa importante región del país no existe información detallada sobre los cambios ocurridos en los suelos una vez que los bosques han sido talados y convertidos en pastizales. Sin embargo, esa información es necesaria para poder predecir las consecuencias de la deforestación en esa región, así como para concebir un manejo efectivo de los pastizales.

En ese sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar como la conversión del bosque seco estacional a pastizales ha afectado la densidad aparente, el contenido de humedad del suelo y algunas características químicas como materia orgánica total, fósforo total, pH, ca-

PALABRAS CLAVE / Bosque Seco Tropical / Cambio de Uso de la Tierra / Conversión de Bosque a Pastizal / Llanos de Venezuela / Propiedades del Suelo /

Recibido: 05/05/2010. Modificado: 24/12/2010. Aceptado: 04/01/2011.

Ana Francisca González-Pedraza. Ingeniera Agrónoma, Universidad del Zulia, Venezuela. Magíster en Manejo de los Recursos Agua y Suelo, Universidad Nacional Experimental de los Llanos. Doctora en

Ciencias en Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Profesora, Universidad Nacional Experimental Sur del Lago "Jesús María Semprum". Dirección: Avenida Universidad, Hacienda

La Glorieta. Código Postal 5148. Santa Bárbara, Estado Zulia, Venezuela. e-mail: gonzalezan@unesur.edu.ve

Nelda Dezzeo. Ingeniera Forestal, Universidad de Los Andes, Venezuela. Doctora en Ciencias Forestales, Universidad de Göttingen, Alemania. Investigadora, IVIC, Venezuela. e-mail: ndzzeo@ivic.gov.ve

SUMMARY

The forest conversion to pasture effect on some soil characteristics, such as bulk density, soil moisture content, pH, total organic matter (SOM), total phosphorous (PT), and exchanged cations was evaluated. The study was carried out in the western Llanos of Venezuela, in three closely located sites: a tropical dry forest (B) with dominant deciduous trees, a 5-year-old pasture (PJ), and an 18-year-old pasture (PV). In this area, the forest was converted to pasture by slash-and-burn, and Estrella grass (*Cynodon nlemfuencys L*) is grown for cattle. At each site, 12 soil samples were taken at 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, and 30-40 cm depths. Covariance analysis was used to compare va-

riables between sites. The clay percentage was used as the co-variable to adjust the data, because some statistic differences were found between sites in relation to this variable. Soil clay content was significantly higher ($p < 0.05$) in PJ than in B and PV. At the same time, PJ showed the highest SOM, PT, exchangeable cations and effective cation exchange capacity (CICE). CICE showed a positive correlation with SOM in the three sites. The change from forest to pasture did not produce negative effects on soil properties. Therefore, selecting productive pastures and management practices would preserve the fertility levels in the soil.

EFEITO DA MUDANÇA DE BOSQUE PARA PASTIÇAL SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS SOLOS NAS PLANÍCIES OCIDENTAIS DA VENEZUELA

RESUMO

Avaliou-se o efeito da conversão de bosques para pastizações sobre algumas características dos solos, tais como densidade aparente, conteúdo de umidade, pH, matéria orgânica total (MOT), fósforo total (PT) e cations intercambiáveis. O estudo se realizou nas Planícies Ocidentais da Venezuela, em três locais próximos entre si: um bosque seco (B) com dominância de árvores caducifólios, um pastizal jovem de 5 anos (PJ) e um pastizal velho de 18 anos (PV). Os pastizações se originavam da poda e queimada do bosque primário, e estavam cobertos por grama estrela (*Cynodon nlemfuensis L*). Em cada local foram coletadas 12 amostras de solo a 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, e 30-40 cm de profundidade. Para comparar as variáveis analisadas entre os locais se aplicou análise de covariância usando a por-

centagem de argila como covariável, devido a diferenças estatísticas registradas entre os locais com relação a esta variável, que usualmente não se altera com a mudança de uso da terra. Encontrou-se que PJ apresentou uma porcentagem de argila significativamente ($p < 0,05$) mais alto que B e PV. Da mesma forma, PJ apresentou os valores mais altos de MOT, PT, cations intercambiáveis e capacidade de intercâmbio catiônico efetiva (CICE). CICE mostrou uma correlação positiva com MOT nos três locais. Conclui-se que a mudança de bosque para pastizal não produziu efeitos negativos nas propriedades do solo. Portanto, para conservar os níveis de fertilidade nesses solos se sugere selecionar pastizações produtivos e práticas de manejo adequadas.

tiones intercambiables, capacidad de intercambio catiónico y porcentaje de saturación de bases del suelo.

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la hacienda El Mangón, ubicada al sureste del estado Barinas, en los Llanos Occidentales de Venezuela. De acuerdo con la clasificación de Holdridge (1957), la zona de vida corresponde al bosque seco tropical. La vegetación natural del área es el bosque semidecídulo, compuesto en su mayoría por leguminosas (Ewel *et al.*, 1976; Huber y Alarcón, 1988). En este tipo de bosques las especies principales pierden sus hojas parcial o totalmente por efecto de una

estación seca definida. La distribución de estos bosques a nivel regional está determinada principalmente por factores edáficos, geomorfológicos y climáticos (Sarmiento *et al.*, 1971; Huber y Alarcón, 1988; Huber y Riina, 2003). Según Luna (1966), en los últimos 40 años ha habido un incremento significativo de la deforestación de esos bosques para la siembra de cultivos agrícolas y establecimiento de pastizales.

La precipitación media anual (1998-2008) en la región es de 1244mm, con un período lluvioso de abril a diciembre y un período seco de enero a marzo. Los suelos se han desarrollado a partir de la deposición de sedimentos de origen aluvial provenientes en su mayor parte de la erosión de

rocas ígneas y metamórficas del núcleo cristalino de la Cordillera de los Andes durante el Holoceno y el Pleistoceno tardío (COPLANARH, 1975; Vivas, 1984). La naturaleza del material de origen y la dinámica de sedimentación le confieren a estos suelos una heterogeneidad espacial importante. En general, los suelos han sido descritos como profundos, medianamente fértiles y con texturas finas (franco, franco arcillosas y franco arcillo limosas) (Schargel y Strebin, 1970). Los principales órdenes de suelos en la zona corresponden a los Inceptisoles y Vertisoles, entre ellos Tropaquepts, Usterts y Aquerts (Loyola y García, 1949; Mogollón y Comerma, 1994; MARN, 2005).

Métodos

Las áreas seleccionadas para el estudio fueron un bosque primario (B), un pastizal joven de 5 años (PJ) y un pastizal viejo de 18 años (PV). Los pastizales fueron establecidos después de la tala y quema del bosque primario, y se encontraban cubiertos por pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis L*). Ninguno de esos pastizales ha sido sometido a fertilización, pero han sido cortados anualmente con rotativa para controlar malezas y fomentar el crecimiento de pastos. La distancia entre el bosque y los pastizales varió aproximadamente entre 1-3km. En cada sitio se tomaron 12 muestras de suelo en una parcela de 600m² (20x30m), 0-5, 5-10,

10-20, 20-30, y 30-40cm de profundidad (60 muestras por sitio).

La textura se determinó por el método del hidrómetro (Gee y Bauder, 1986), removiendo previamente la materia orgánica del suelo con peróxido de hidrógeno. La densidad aparente se determinó mediante el método del cilindro (Blake y Hartge, 1986) y el contenido de humedad por el método gravimétrico (Gardner, 1986). La materia orgánica total (MOT) se determinó según el método de Walkley y Black (1934). El pH se midió en agua usando el método electrométrico en una relación 1:2 (McLean, 1982). El fósforo total (PT) se extrajo mediante digestión con ácido sulfúrico concentrado y oxidación con peróxido de hidrógeno, y se determinó por el método de azul de molibdeno (Murphy y Riley, 1962). Los cationes intercambiables fueron extraídos con acetato de amonio 1N (Thomas, 1982). La capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) se calculó sumando los cationes intercambiables. El porcentaje de saturación de bases (%SB) se calculó dividiendo la suma de las bases intercambiables entre la CICE.

Para comparar las variables entre los tres sitios se aplicó un análisis de covarianza (ANCOVA) usando el porcentaje de arcilla como covariable, debido a ciertas diferencias estadísticas entre los sitios con relación a esta variable, que usualmente no sufre modificaciones con el cambio de uso de la tierra. Cuando el análisis resultó significativo ($p < 0,05$), se aplicó una prueba de Tukey. Cuando fue necesario, los datos se transformaron para homogenizar las varianzas, y cuando no se cumplió este supuesto ($p > 0,05$) se aplicó la prueba no-paramétrica de Mann-Whitney. Para establecer la intensidad de asociación entre dichas variables se utilizó un análisis de correlación lineal simple. El análisis estadístico fue desa-

TABLA I
COMPARACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO ENTRE EL BOSQUE Y LOS PASTIZALES

Propiedad del suelo	Profundidad (cm)	B	PJ	PV
Da ($g \cdot cm^{-3}$)	0-5	1,2 \pm 0,1 Aa	1,1 \pm 0,2 ACa	1,1 \pm 0,1 Aa
	5-10	1,3 \pm 0,1 Ba	1,3 \pm 0,1 Ba	1,4 \pm 0,1 Ba
	10-20	1,2 \pm 0,1 ACa	1,2 \pm 0,1 BCa	1,3 \pm 0,1 Bb
	20-30	1,3 \pm 0,1 BCa	1,2 \pm 0,1 Cb	1,4 \pm 0,1 Cc
	30-40	1,4 \pm 0,1 Ca	1,2 \pm 0,1 Cb	1,4 \pm 0,1 BCa
% humedad	0-5	31,4 \pm 3,4 Aa	37,9 \pm 5,9 Ab	33,9 \pm 3,0 Aab
	5-10	25,2 \pm 2,3 Ba	29,8 \pm 2,5 Bb	27,0 \pm 2,5 Ba
	10-20	20,3 \pm 1,8 Ca	23,4 \pm 1,9 Cb	20,1 \pm 1,8 Ca
	20-30	19,7 \pm 1,8 Ca	21,5 \pm 1,8 Cb	18,8 \pm 1,7 Ca
	30-40	22,3 \pm 2,0 Ca	20,8 \pm 1,7 Ca	14,5 \pm 1,2 Db

Valores promedios \pm desviación estándar. Letras minúsculas distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre los sitios a una misma profundidad. Letras mayúsculas distintas señalan diferencias estadísticas con la profundidad del suelo en cada sitio. B: bosque, PJ: pastizal joven, PV: pastizal viejo.

rrollado con la ayuda del paquete STATISTICA para Windows 6.0 (Statistica, 2001).

Resultados y Discusión

Textura, densidad aparente y contenido de humedad

Todos los suelos evaluados presentaron textura fina, con particular predominio de limo (Tabla I), lo cual concuerda con la información reportada para la zona de estudio por Schargel y Strebin (1970), quienes describieron numerosos perfiles de suelo con altos

contenidos de limo, pertenecientes a los grupos texturales franco, franco arcillosos y arcillo limosos.

En la Tabla I se observa también que el bosque (B) y el pastizal viejo (PV) presentaron contenidos de arcilla y arena estadísticamente similares, mientras que el pastizal joven (PV) presentó contenidos de arcilla significativamente más altos (hasta 18%) y contenidos de arena significativamente más bajos (hasta 13%; $p < 0,05$) que los encontrados en B y PJ, en casi todas las profundidades del suelo. El contenido de

limo presentó algunas diferencias entre los sitios en ciertas profundidades del suelo.

En general, las diferencias en el contenido de arcilla, limo y arena encontradas entre B, PJ y PV no deberían representar un aspecto que pueda influir significativamente en el comportamiento de otras propiedades del suelo, puesto que los grupos texturales en los tres sitios son relativamente similares entre sí, presentándose suelos arcilloso limosos, franco arcillosos, franco arcilloso limosos y franco limosos (Tabla I). La textura es difícilmente alterada debido al cambio de uso de la tierra, excepto en los casos donde ocurra una fuerte erosión y se pierda la capa superior del suelo. En el presente caso no se observaron evidencias de erosión de suelos, probablemente debido a que el manejo dado a los pastizales ha sido con mínima labranza. Por lo tanto, las diferencias texturales encontradas entre los sitios estudiados pueden deberse al hecho que estos suelos provienen de material sedimentario de origen aluvial. Es bien conocido que la variabilidad espacial de los suelos aluviales es alta, y depende de las características de la inundación, del tipo de sedimento depositado y de la posición relativa en el paisaje (Leopold *et al.*, 1992).

La densidad aparente (Da) es una propiedad que varía según la cantidad de agua en el suelo, la textura, el contenido de materia orgánica y las condiciones de uso y manejo de los suelos (Casanova, 2005). De acuerdo con los resultados obtenidos, la Da cambió poco entre los sitios a una misma profundidad; solo se observó una disminución significativa ($p < 0,05$) en PJ con respecto a B y PV a las profundidades de 20-30 y 30-40cm (Tabla II).

En este estudio se es-

TABLA II
COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE Y EL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL SUELO ENTRE EL BOSQUE Y LOS PASTIZALES

Distribución de partículas	Profundidad (cm)	B	PJ	PV
% arena	0-5	19,8 \pm 5,9 Aa	12,5 \pm 7,8 ABb	22,3 \pm 5,6 Aa
	5-10	20,8 \pm 7,6 Aa	10,0 \pm 7,4 ABb	22,7 \pm 7,6 Aa
	10-20	15,6 \pm 4,4 Aa	5,6 \pm 1,8 Ab	18,3 \pm 8,0 Aa
	20-30	15,8 \pm 2,6 Aa	15,4 \pm 6,8 Ba	13,5 \pm 5,5 Aa
	30-40	17,1 \pm 2,5 Aa	12,9 \pm 3,3 ABb	15,4 \pm 4,3 Aab
% limo	0-5	49,7 \pm 6,2 Aa	44,8 \pm 6,1 Aa	47,1 \pm 4,5 Aa
	5-10	53,9 \pm 5,6 ABa	46,8 \pm 5,7 Ab	47,1 \pm 3,0 Ab
	10-20	57,5 \pm 4,1 Ba	60,0 \pm 3,5 Ba	52,7 \pm 3,6 Bb
	20-30	57,5 \pm 4,2 Ba	60,4 \pm 5,3 Aa	57,0 \pm 4,1 Ba
	30-40	58,3 \pm 2,0 Ba	66,3 \pm 4,4 Bb	60,0 \pm 2,7 Ca
% arcilla	0-5	30,5 \pm 9,6 Aa	42,7 \pm 10,6 Ab	30,6 \pm 6,4 Aa
	5-10	25,2 \pm 6,9 Aa	43,2 \pm 8,3 Ab	30,2 \pm 6,2 Aa
	10-20	26,9 \pm 1,6 Aa	34,4 \pm 3,2 ABb	28,9 \pm 5,1 Aa
	20-30	26,7 \pm 2,0 Aab	24,2 \pm 3,4 BCb	29,5 \pm 3,3 Aa
	30-40	24,6 \pm 1,0 Aa	20,8 \pm 2,0 Cb	24,6 \pm 2,5 Aa

Valores promedios \pm desviación estándar. Letras minúsculas distintas indican diferencias ($p < 0,05$) entre los sitios a una misma profundidad. Letras mayúsculas distintas señalan diferencias estadísticas con la profundidad del suelo en cada sitio. B: bosque, PJ: pastizal joven, PV: pastizal viejo.

peraba que los valores de densidad aparente aumentaran desde el bosque hacia los pastizales, particularmente hacia PV, ya que el pastoreo prolongado es uno de los factores responsables del deterioro de las propiedades físicas del suelo, entre ellas la densidad aparente (López y Delgado, 1996; López-Hernández *et al.*, 2005; Bilotta *et al.*, 2007). Los reportes de aumentos en la Da de los suelos con el pastoreo continuo son frecuentes en la literatura (Lal, 1996; Rasiah *et al.*, 2004; Sharrow, 2007; Geissen *et al.*, 2009) y el hecho que en este estudio esos valores no hayan cambiado notoriamente entre B, PJ y PV parece indicar que a los pastizales se les está dando un manejo adecuado y probablemente no están siendo utilizados en forma intensiva.

En la Tabla II se muestran también los contenidos de humedad de los suelos en B, PJ y PV. Como era de esperarse, en los tres sitios se observa una disminución en el porcentaje de humedad al aumentar la profundidad del suelo, y esa disminución es estadísticamente significativa ($p < 0,05$) hasta los 20cm. Al comparar entre sitios a una misma profundidad, se observa que los suelos en PJ presentaron un porcentaje de humedad significativamente más alto que los porcentajes encontrados en los suelos de B y PV, en casi todas las profundidades. En la Tabla II resalta también que el contenido de humedad de B fue siempre significativamente inferior ($p < 0,05$) que el de PJ en todas las profundidades del suelo.

El menor contenido de humedad observado en los suelos bajo bosque puede ser atribuido a una baja cobertura de la vegetación sobre el suelo, asociada principalmente a la presencia de especies arbóreas semidecíduas que forman claros en

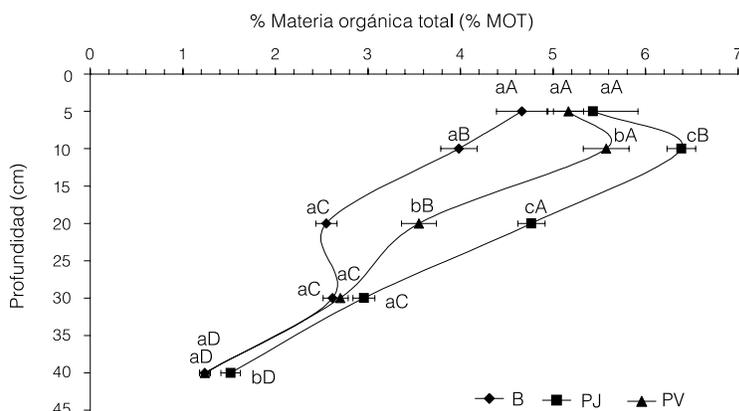


Figura 1. Porcentaje de materia orgánica total (%MOT) en los suelos bajo bosque y pastizales. Valores promedios acompañados por barras de error estándar. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sitios para una misma profundidad. Letras mayúsculas distintas señalan cambios con la profundidad del suelo para un mismo sitio.

el dosel del bosque, permitiendo así una mayor incidencia de luz solar y con ello un mayor calentamiento de la superficie del suelo. En el caso de los pastizales, particularmente en PJ, la gramínea *C. nlemfuensis* forma una cobertura densa sobre el suelo, lo cual permite disminuir las pérdidas por evaporación y con ello mantener un mayor contenido de humedad en el suelo.

El contenido de humedad influye significativamente en todos los procesos microbiológicos y químicos que ocurren en el suelo, debido al efecto que éste tiene sobre la disolución y difusión de solutos y sobre el crecimiento y actividad microbiana (Tate, 2000). El contenido de humedad está determinado por factores como textura, estructura, densidad aparente y contenido de materia orgánica (Brady y Weil, 1999). Para relacionar el contenido de humedad de estos suelos con variables como la textura y Da, se hizo un análisis de correlación de Pearson, y no se encontró interrelación entre el porcentaje de humedad y la textura del suelo. Sin embargo, hubo una alta correlación negativa ($p < 0,01$) entre la humedad y la densidad aparente (coeficientes de regresión entre -0,46 y -0,73 para las profundidades estudiadas en los tres sitios).

Materia orgánica total (MOT)

En los primeros 5cm del suelo se observaron aumentos en el porcentaje de MOT en PJ y PV con relación a B, de 16% y 10% respectivamente. Sin embargo, esos aumentos no fueron estadísticamente significativos (Figura 1). A partir de 5cm de profundidad, la MOT en PJ y PV aumentó significativamente ($p < 0,05$) en comparación con B. El aumento a las profundidades 5-10 y 10-20cm fue de 39% en PV y de 60 y 86%, respectivamente, en PJ. En cada uno de los sitios de estudio se observó también una disminución significativa de la MOT al aumentar la profundidad del suelo.

El incremento en la MOT observado en los pastizales puede atribuirse a varios factores, entre ellos las entradas adicionales de carbono (C) al suelo a partir de la descomposición de las raíces remanentes del bosque original, particularmente en PJ. A este respecto, García-Oliva *et al.* (1994) y Jaramillo *et al.* (2003) encontraron que el pool de C en el suelo fue 17 a 20% más alto en pastizales de 3-7 años de edad que en el bosque seco nativo, lo cual fue atribuido a la descomposición de raíces del bosque aún presentes en el pastizal. Los mencionados

autores encontraron también que en pastizales de 7 años, el valor Delta C-13 de las raíces aún estaba indicando la presencia de raíces remanentes del bosque, mientras que en pastizales de 11 años de edad el aporte de C proveniente de la vegetación del bosque había disminuido en 71%. Resultados similares también fueron reportados por Veldkamp (1994) y por López-Ulloa *et al.* (2005), quienes indican que el C en el suelo de pastizales jóvenes proviene principalmente de la descomposición de las raíces remanentes del bosque, y que al aumentar la edad del pastizal aumenta la concentración de C proveniente de las raíces de gramíneas.

Otro de los mecanismos responsables de la estabilización de C en suelos bajo pastizales establecidos en zonas originalmente boscosas, está relacionado con la adsorción de la materia orgánica a los minerales de arcilla (López-Ulloa *et al.*, 2005). Este mecanismo probablemente esté influenciando la tendencia observada en nuestros resultados, en especial en PJ, dado los altos porcentajes de arcilla y MOT encontrados en ese caso, en comparación con B y PV. La productividad de las gramíneas y la profundidad de sus raíces es otro factor que podría ser responsable del aumento de la MOT en los suelos después del cambio de uso de la tierra (Neill *et al.*, 1997; Herpin *et al.*, 2002). Los pastizales mantienen una cobertura vegetal constante, y durante los períodos de mayor productividad aportan abundante materia orgánica al suelo, particularmente desde sus raíces (Brown y Lugo, 1990; Tate *et al.*, 2000).

Los altos niveles de MOT encontrados en los pastizales estudiados también pueden relacionarse con la fertilidad relativamente alta de los suelos y las prácticas de manejo allí empleadas, lo cual ha

permitido un establecimiento favorable de las gramíneas. Esas prácticas se han limitado a una adecuada rotación de potreros y a eventuales quemas con el fin de controlar malezas, en particular en PJ. Se ha sugerido que las mayores pérdidas de C en el suelo ocurren durante los primeros años de establecimiento de los pastos, debido principalmente a la disminución en las entradas de materia orgánica al suelo y al aumento en la erosión y la tasa de degradación de los residuos de las plantas (Johnson y Wedin, 1997). No obstante, bajo condiciones de buen manejo, las gramíneas logran cubrir rápidamente los suelos, protegiéndolos de la erosión, reteniendo la humedad y restaurando su fertilidad a través del reciclado de nutrientes (Guzmán, 1996).

Fósforo total (PT)

Las concentraciones de PT fueron significativamente más altas ($p < 0,05$) en PJ que en B y PV, con la excepción de las profundidades del suelo 0-5 y 15-20cm, donde no se observaron cambios significativos entre los sitios (Figura 2). Las concentraciones más altas de PT en los suelos de PJ pudieran estar asociadas con aportes provenientes de la materia orgánica remanente del bosque original, como lo reportan para pastizales Crespo y Rodríguez (2004), quienes observaron una lenta incorporación de P a partir de la materia orgánica aérea y subterránea residual del bosque original.

En la Figura 2 se observa también una variación irregular de PT a lo largo del perfil del suelo. Entre 5-20cm de profundidad, PT disminuyó significativamente ($p < 0,05$) en los tres sitios estudiados. Entre 20-30cm ese elemento volvió a aumentar significativamente,

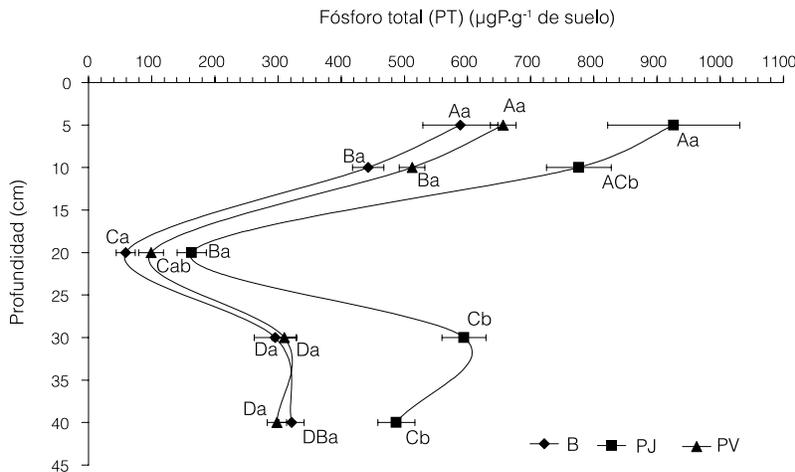


Figura 2. Concentración de fósforo total ($\mu\text{gP}\cdot\text{g}^{-1}$ suelo) en los suelos bajo bosque y pastizales. Valores promedio acompañados por barras de error estándar. Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre sitios para una misma profundidad. Letras mayúsculas distintas señalan cambios con la profundidad del suelo para un mismo sitio.

pero sin alcanzar los niveles encontrados en la superficie, y luego disminuyó pero no en forma significativa (Figura 2). Patrones irregulares en el comportamiento del PT con la profundidad del suelo fueron también encontrados por García-Montiel *et al.* (2000) en una cronosecuencia de pastizales de 3, 5, 9 y 41 años, establecidos después de la tala de bosques en el Amazonas Brasileño. En nuestro caso, el aumento significativo de PT a la profundidad 20-30cm del suelo, tanto en el bosque como en los pastizales, podría indicar la presencia de un horizonte o capa de suelo más rica en P, proveniente probablemente de alguna deposición de sedimentos aluviales ocurrida en el pasado.

pH, cationes intercambiables, CICE y %SB

En general, el pH de todos los suelos estudiados se caracterizó por ser relativamente bajo, particularmente en los primeros 5cm del suelo. A esa profundidad, PJ presentó el valor de pH más bajo y B el más alto (Tabla III). Ambos valores fueron significativamente diferentes entre sí ($p < 0,05$). También se observó un aumento significativo del pH con la profun-

dad del suelo, excepto entre 20-30cm, donde el pH aumentó ligeramente en los tres sitios evaluados.

La disminución del pH en suelos bajo pastizales activos con respecto al bosque nativo ha sido asociada con el aumento en la tasa de erosión y la rápida descomposición de los residuos orgánicos (Templer *et al.*, 2005). En otros casos, sin embargo, se han reportado aumentos en los valores del pH del suelo bajo gramíneas con relación al bosque, lo cual ha sido relacionado con el aporte de cenizas derivadas del corte y la quema de los pastizales (Yimer *et al.*, 2008).

Los cationes disponibles en los suelos bajo bosque y pastizales (Tabla III) estuvieron en proporciones similares a las que reporta la literatura para la mayoría de los suelos agrícolas (Thomas, 1982). Dentro de un mismo sitio se observaron diferencias en las concentraciones de los cationes a lo largo del perfil del suelo (Tabla III), lo que pudiera estar asociado al origen deposicional de esos sedimentos y al aporte diferencial de materia orgánica por parte de las raíces de las especies del bosque y de las gramíneas en los pastizales. En todos los sitios estudia-

dos y en todas las profundidades del suelo consideradas, las concentraciones de Ca fueron mucho mayores que las concentraciones de los otros cationes evaluados, lo cual está en estrecha correlación con el carácter aluvial de los sedimentos de origen cuaternario predominantes en la región (Vivas, 1984).

En la Tabla III se observa también que en varias profundidades del suelo, los valores de Ca, K y CICE fueron significativamente ($p < 0,05$) más altos en PJ que en B y PV. Esto pudiera en parte relacionarse con los altos porcentajes de materia orgánica (Figura 1) registrados en ese pastizal.

Para el caso específico del K, se debe considerar también la información reportada por Funes (1975), quien indicó que los altos contenidos de ese elemento en suelos bajo pastoreo provienen principalmente de la orina de los animales.

Como se mencionó, el alto porcentaje de MOT encontrado en los suelos de PJ es en parte responsable de los valores más altos de algunos cationes intercambiables y de la CICE. Ello es evidenciado por la alta correlación positiva ($p < 0,01$) encontrada entre el % MOT y la CICE en los suelos de PJ. Estos resultados no coinciden con los que usualmente se reportan en la literatura, donde se indican disminuciones en los contenidos de materia orgánica, nutrientes y CIC durante las etapas iniciales del establecimiento de los pastizales (Hajabbasi *et al.*, 1997; Hartemink *et al.*, 2008). En los casos donde se han registrado mejoras en esas propiedades del suelo, éstas han sido relacionadas con las prácticas de quema y con los aportes de cenizas ricas en nutrientes (Nye y Greenland, 1964; Tiessen *et al.*, 1992; Maass, 1995; Yimer *et al.*, 2008).

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla III,

TABLE III
PH, CATIONES INTERCAMBIABLES (cmol⁽⁺⁾·kg⁻¹),
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EFECTIVA
Y PORCENTAJE DE SATURACION DE BASES EN LOS SUELOS
BAJO BOSQUE Y PASTIZALES

Propiedad de suelo	Profundidad (cm)	B	PJ	PV
pH H ₂ O	0-5	5,4 ±0,4 Aa	5,0±0,5 Aab	4,8 ±0,5 Ab
	5-10	5,8 ±0,4 Aa	5,5 ±0,0,2 Ba	5,5 ±0,4 Ba
	10-20	6,0 ±0,4 ABa	5,9 ±0,0,2 Ba	6,1 ±0,3 Ca
	20-30	5,7 ±0,7 Aab	5,3 ±0,1 ABa	5,9 ±0,4 BCb
	30-40	6,6 ±1,1 Bab	5,9 ±0,2 Ca	6,9 ±0,7 Db
Ca	0-5	11, 0 ±3,9 Aa	12,5 ±4,6 Aa	9,1 ±1,8 Aa
	5-10	6,1 ±3,0 Ba	14,9 ±3,1 Bb	11,4 ±3,0 Ac
	10-20	9,2 ±1,6 ACa	12,7 ±3,7 Ab	10,6 ±2,1 Ab
	20-30	9,0 ±1,3 ACab	8,2 ±1,4 Ba	10,3 ±1,8 Ab
	30-40	7,3 ±0,7 BCa	7,3 ±1,0 Ba	9,2 ±2,7 Aa
Mg	0-5	4,1 ±1,1 ABa	5,0 ±1,2 Aa	5,2 ±1,8 Aa
	5-10	3,4 ±1,1 Aa	4,5 ±0,9 ABa	4,5 ±2,2 Aa
	10-20	3,9 ±1,2 ABa	3,9 ±0,9 ABa	4,8 ±2,1 Aa
	20-30	4,7 ±1,0 Bab	3,4 ±1,0 Ba	5,3 ±1,8 Ab
	30-40	4,8 ±1,1 Ba	3,4 ±0,8 Bb	4,7 ±1,2 Aa
K	0-5	0,5 ±0,2 Aa	1,2 ±0,7 Ab	0,6 ±0,3 Aa
	5-10	0,2 ±0,2 Ba	0,8 ±0,4 ABb	0,3 ±0,2 Ba
	10-20	0,2 ±0,1 Ba	0,5 ±0,3 BCb	0,2 ±0,1 Ba
	20-30	0,1 ±0,0 Ba	0,4 ±0,2 BCb	0,2 ±0,0 Ba
	30-40	0,2 ±0,2 Ba	0,3 ±0,2 Ca	0,2 ±0,1 Ba
Na	0-5	0,1 ±0,0 Aa	0,1 ±0,0 Aa	0,1 ±0,1 Aa
	5-10	0,1 ±0,1 ABa	0,1 ±0,0 Aa	0,1 ±0,1 Aa
	10-20	0,1 ±0,1 ABa	0,1 ±0,0 Aa	0,2 ±0,3 Aa
	20-30	0,3 ±0,2 Ba	0,2 ±0,1 Aa	0,4 ±0,3 Aa
	30-40	1,2 ±0,4 Ca	0,8 ±0,1 Ba	1,1 ±0,3 Ba
Al	0-5	1,7 ±0,1 Aa	2,0 ±0,2 Aa	1,8 ±0,6 Aa
	5-10	0,5 ±0,1 BDa	0,6 ±0,0 Bb	0,5 ±0,0 Bb
	10-20	0,6 ±0,1 Ba	0,6 ±0,1 Ba	0,6 ±0,1 Ba
	20-30	0,7 ±0,1 Ca	0,6 ±0,1 Ba	0,6 ±0,1 Ba
	30-40	0,5 ±0,1 Da	0,4 ±0,1 Ca	0,3 ±0,1 Cb
CICE	0-5	17,2 ±3,8 Aa	20,3 ±5,5 Aa	16,8 ±3,3 Aa
	5-10	10,3 ±2,4 Ba	20,8 ±3,9 Ab	16,8 ±3,1 Ac
	10-20	13,9 ±1,3 Ca	17,7 ±4,3 Ab	16,2 ±3,7 Aab
	20-30	14,7 ±1,7 ACab	12,7 ±1,9 Ba	16,5 ±2,9 Ab
	30-40	13,5 ±1,7 Cab	12,3 ±1,1 Ba	15,2 ±2,9 Ab
%SB	0-5	90,5 ±3,8 Aa	90,8 ±5,4 Aa	88,9 ±4,7 Aa
	5-10	95,4 ±2,1 Ba	97,1 ±0,6 Bb	96,7 ±0,7 Bb
	10-20	96,2 ±1,4 Ba	96,5 ±1,0 Ba	96,2 ±1,1 Ba
	20-30	95,7 ±1,4 Ba	95,7 ±1,6 Ba	96,5 ±1,2 Ba
	30-40	96,9 ±1,2 Ba	96,6 ±1,3 Ba	98,1 ±0,9 Ba

Valores promedios ±desviación estándar. Letras minúsculas distintas indican diferencias entre los sitios para una misma profundidad. Letras mayúsculas distintas señalan diferencias con la profundidad para un mismo sitio. B: bosque, PJ: pastizal joven, PV: pastizal viejo.

pareciera que el largo tiempo de establecimiento de PV ha causado cierto deterioro en algunas de las propiedades químicas del suelo de ese pastizal. Esto concuerda con los resultados reportados por Hajabbasi *et al.* (1997) y por Templer *et al.* (2005), quienes encontraron disminuciones en los catio-

nes disponibles del suelo debido al establecimiento de pastizales.

Conclusiones

En general, el cambio de bosque a pastizales en el área estudiada no produjo efectos negativos sobre las propiedades físicas y químicas

del suelo, lo cual se puede asociar con las prácticas de manejo que han sido aplicadas en esos pastizales. En PJ se encontraron los valores más altos de MOT, PT, cationes intercambiables y CICE, lo que posiblemente este relacionado con la presencia de materia orgánica remanente del bosque original y con el material vegetal aportado por la gramínea del pastizal. Los resultados encontrados en PV parecieran indicar que el prolongado tiempo de pastoreo sin considerar otras alternativas de manejo, podría en un futuro cercano afectar negativamente algunas propiedades físicas y químicas del suelo. Se concluye que seleccionando pastizales productivos y manteniendo adecuadas prácticas de manejo, se podrían ayudar a conservar los niveles de fertilidad del suelo sin comprometer las reservas de carbono, nutrientes y propiedades físicas del suelo.

REFERENCIAS

- Bilotta GS, Brazier RE, Haygarth PM (2007) The impacts of grazing animals on the quality of soil, vegetation, and surface waters in intensively managed grassland. *Adv. Agron.* 94: 237-280.
- Blake GR, Hartge KH (1986) Particle density. En Klute A (Ed.) *Methods of Soil Analysis: Part I-Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monograph N° 9. 2ª ed. American Society of Agronomy / Soil Science Society of America. Madison, WI, EEUU. pp. 377-382.
- Brady NC, Weil RR (1999) *The Nature and Properties of Soils*. 12ª ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, EEUU. 881 pp.
- Brown S, Lugo AE (1990) Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soil in Puerto Rico and US Virgin Islands. *Plant Soil* 124: 53-64.
- Casanova E (2005) *Introducción a la Ciencia del Suelo*. 2ª ed. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 482 pp.
- COPLANARH (1975) *Atlas Inventario Nacional de Tierras Región Lago de Maracaibo*. Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cria. Caracas, Venezuela.
- Crespo G, Rodríguez I (2004) Production of leaf litter and contribution of N, P and K in two grasslands with different species composition. *Cub. J. Agric. Sci.* 38: 93-97.
- Desjardins T, Andreux F, Volkoff B, Cerri CC (1994) Organic carbon and 13C contents in soils and soil size-fractions, and their changes due to deforestation and pasture installation in eastern Amazonia. *Geoderma* 61: 103-118.
- Dominy CS, Haynes RJ, van Antwerpen R (2002) Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. *Biol. Fert. Soils* 36: 350-356.
- Ewel JJ, Madriz A, Tosi JrJA (1976) *Zonas de Vida de Venezuela. Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico*. 2ª ed. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cria. Caracas, Venezuela. 265 pp.
- Fearnside PM (2000) Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting cultivation and secondary vegetation. *Clim. Change* 46: 115-158.
- Funes F (1975) Efectos de la quema y el pastoreo en el mantenimiento de los pastizales tropicales. *Rev. Cub. Cienc. Agric.* 9: 395-412.
- García-Montiel DC, Neill C, Melillo J, Thomas S, Steudler PA, Cerri C (2000) Soil phosphorus transformations following forest clearing for pasture in the Brazilian Amazon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64:1792-1804.
- García-Oliva F, Casar I, Morales P (1994) Forest-to-pasture conversion influences on soil organic carbon dynamics in a tropical deciduous forest. *Oecologia* 99: 392-396.
- Gardner WH (1986) Water content. En Klute A (Ed.) *Methods of Soil Analysis: Part I-Physical and Mineralogical Methods*.

- Agronomy Monography N° 9. 2ª ed. American Society of Agronomy / Soil Science Society of America. Madison, WI, EEUU. pp. 493-544.
- Gee GW, Bauder JW (1986) Particle-size Analysis. En Klute A (Ed.) *Methods of Soil Analysis: Part I-Physical and Mineralogical Methods*. Agronomy Monography N° 9. 2ª ed. American Society of Agronomy / Soil Science Society of America. Madison, WI, EEUU. pp. 383-412.
- Geissen V, Sánchez-Hernández R, Kampichler C, Ramos-Reyes R, Sepulveda-Lozada A, Ochoa-Goana S, de Jong B.H.J, Huerta-Lwanga E, Hernández-Daumas S (2009) Effects of land-use change on some properties of tropical soils -An example from Southeast Mexico. *Geoderma* 151: 87-97.
- Guzmán PJE (1996) *Pastos y Forrajes*. 3ª ed. Espasande. Caracas, Venezuela. 448 pp.
- Hajabbasi MA, Jalalian A, Karimzadeh HR (1997) Deforestation effects on soil physical and chemical properties, Lordegan Iran. *Plant Soil* 190: 301-308.
- Hartemink A, Veldkamp T, Bai Z (2008) Land cover change and soil fertility decline in tropical regions. *Turk J. Agric. For.* 32: 195-213.
- Herpin U, Cerri CC, Santana CM, Markert B, Enzweiler J, Friese K, Breulmann G (2002) Biogeochemical dynamics following land use change from forest to pasture in a humid tropical area (Rondônia, Brazil): a multi-element approach by means of XRF-spectroscopy. *Sci. Env.* 286: 97-109.
- Holdridge LR (1957) Determination of world plant formations from simple climatic data. *Science* 105: 367-368.
- Huber O, Alarcón C (1988) *Mapa de Vegetación de Venezuela*. BIOMA-Venezuela / The Nature Conservancy / MARNR. Caracas, Venezuela.
- Huber O, Riina R (2003) *Glosario Fitoecológico de las Américas*. Vol. 2. México, América Central e Islas del Caribe: Países Hispanoparlantes. UNESCO. 474 pp.
- Janzen DH (1988) Tropical dry forest: the most endangered major tropical ecosystem. En Wilson EO, Peter FM (Eds.) *Biodiversity*. National Academy Press. Washington, DC, EEUU. 521 pp.
- Jaramillo VJ, Kauffman JB, Renteria-Rodríguez L, Cummings DL, Ellingson LJ (2003) Biomass, carbon, and nitrogen pools in Mexican tropical dry forest landscapes. *Ecosystems* 6: 609-629.
- Johnson NC, Wedin DA (1997) Soil carbon, nutrients and mycorrhizae during conversion of dry tropical forest to grassland. *Ecol. Applic.* 7: 171-182.
- Lal R (1996) Deforestation and land-use effects on soil degradation and rehabilitation in western Nigeria. I. Soil physical and hydrological properties. *Land Degrad. Dev.* 7: 19-45.
- Leopold LB, Wolman MG, Miller J (1992) *Fluvial processes in Geomorphology*. Dover. Nueva York, EEUU. 522 pp.
- Lepsch IF, Menk JRF, Oliveria JB (1994) Carbon storage and other properties of soils under agriculture and native vegetation in São Paulo State Brazil. *Soil Use Manag.* 10: 34-42.
- López R, Delgado F (1996) *Suelos con limitaciones físicas. Evaluación, diagnóstico y manejo. Impacto en la productividad de los Sistemas Agrícolas de Venezuela*. Memorias del Curso-Taller. Mérida, Venezuela (19-23/06/1995).
- López-Hernández D, Hernández-Hernández RM, Brossard M (2005) Historia del uso reciente de tierras de las sabanas de América del sur. Estudios de casos en sabanas del Orinoco. *Interciencia* 30: 623-630.
- López-Ulloa M, Veldkamp E, de Koning GHJ (2005) Soil carbon stabilization in converted tropical pastures and forest depends on soil type. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69: 1110-1117.
- Loyola C, García L (1949) *Estudio Agrológico Preliminar de las Tierras Adyacentes del Río Santo Domingo, Comprendidas entre Barinas y el Real*. Dirección de Estudios Agro-económicos. Ministerio de Obras Públicas. Caracas, Venezuela. 84 pp.
- Luizão RC, Bonde TA, Rosswall T (1992) Seasonal variation of soil microbial biomass - The effects of clear felling a tropical rainforest and establishment of pasture in the Central Amazon. *Soil Biol. Biochem.* 24: 805-813.
- Luna LA (1996) El manejo de la Reserva Forestal de Ticoporo como ejemplo del manejo forestal bajo Régimen de Concesiones en Venezuela. *Rev. Forest. Latinoam.* 20: 5-21.
- Maass JM (1995) Conversion of tropical dry forest to pasture and agriculture. En Bullock SH, Mooney HA, Medina E (Eds.) *Seasonally Dry Tropical Forest*. Cambridge University Press. Nueva York, EEUU. pp. 399-422.
- McLean EO (1982) Soil pH and lime requirement. En Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds) *Methods of Soil Analysis: Part II-Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monography N° 9. American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Madison, WI, EEUU. pp. 199-224.
- Mogollón L, Comerma J (1994) *Suelos de Venezuela*. ExLibris. Caracas, Venezuela. 313 pp.
- Murphy J, Riley JP (1962) A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27: 31-36.
- Neill C, Melillo JM, Steudler PA, Cerri CC, De Moraes JF, Piccolo M, Brito M (1997) Soil Carbon and nitrogen stocks following forest clearing for pasture in the southwestern Brazilian Amazon. *Ecol. Applic.* 7: 1216-1225.
- Nye P, Greenland D (1964) Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant Soil* XXI: 101-112.
- Ohta S (1990) Influence of deforestation on the soils of the Pantabangan area, Central Luzon, the Philippines. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36: 561-573.
- Rasiah V, Florentine SK, Williams BL, Westbrooke ME (2004) The impact of deforestation and pasture abandonment on soil properties in the wet tropics of Australia. *Geoderma* 120: 35-45.
- Raun NS, Peterson RA (1986) Productivity improvement and resource conservation in rangeland use. En Joss PJ, Lynch PW, Williams DB (Eds.) *Proc. Second Int. Congr. on Rangeland: A Resource under Siege*. Australian Academy of Science. Canberra. p. 634.
- Sarmiento G, Monasterio M, Silva J (1971) Reconocimiento ecológico de los Llanos Occidentales. I. Las Unidades Ecológicas Regionales. *Acta Cient. Venez.* 22: 52-61.
- Schargel R, Strebin S (1970) *Estudio Agrológico Preliminar. Sector Obispos. Estado Barinas*. División de Edafología. Dirección de Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas. Caracas, Venezuela. 57 pp.
- Sharrow SH (2007) Soil compaction by grazing livestock in silvopastures as evidenced by changes in soil physical properties. *Agroforest. Syst.* 71: 215-223.
- Statistica (2001) *Basic Statistical Analysis Methods*. Ver. 6.0. StatSoft. Tulsa, OK, EEUU.
- Tarré R, Macedo R, Cantarutti RB, Rezende C de P, Pereira JM, Ferreira E, Alves BJR, Urquiaga S, Boddey RM (2001) The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under Brachiaria pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. *Plant Soil* 234: 15-26.
- Tate KR, Scott NA, Ross DJ, Parshotam A, Claydon JJ (2000) Plant effects on soil carbon storage and turnover in a montane beech (Nothofagus) forest and adjacent tussock grassland in New Zealand. *Aust. J. Soil Res.* 38: 685-698.
- Templer PH, Groffman PM, Flecker AS, Power AG (2005) Land use change and soil nutrient transformations in the Los Haities region of the Dominican Republic. *Soil Biol. Biochem.* 37: 215-225.
- Thomas GW (1982) Exchangeable cations. En Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds.) *Methods of Soil Analysis: Part II-Chemical and Microbiological Properties*. Agronomy Monography N° 9. American Society of Agronomy / Soil Science Society of America. Madison, WI, EEUU. pp 159-165.
- Tiessen H, Salcedo I, Sampaio E (1992) Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Env.* 38: 139-151.
- Veldkamp E (1994) Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Sci. Am. J.* 58: 175-180.
- Vivas L (1984) *El Cuaternario*. La Imprenta. Mérida, Venezuela. 266 pp.
- Walkley A, Black A (1934) An examination of the digestion method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.
- Wassenaar T, Gerber P, Verburg PH, Rosales M, Ibrahim M, Steinfeld H (2007) Projecting land use changes in the Neotropics: The geography of pasture expansion into forest. *Global Env. Change: Human Policy Dimens.* 17: 86-104.
- Yimer F, Ledin S, Abdelkadir A (2008) Concentrations of exchangeable bases and cation Exchange capacity in soils of cropland, grazing and forest in the Bale Mountains, Ethiopia. *Forest Ecol. Manag.* 256: 1298-1302.