

CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN PLANTACIONES DE EUCALIPTO DE TABASCO, MÉXICO

Changes in Soils Properties of Eucalyptus Plantations in Tabasco, Mexico

¹David Jesús Palma-López, ^{1*}Sergio Salgado-García, ²Gregório Martinez Sebastian, ¹Joel Zavala-Cruz, ¹Luz Del C. Lagunes-Espinoza

¹Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco. LPI-2: AESS. LPI-1: RN. Periférico Carlos A. Molina s/n km 3.5. H. Cárdenas, Tabasco. México.

*salgados@colpos.mx

²Forestaciones Operativas de México S.A. de C.V., Huimanguillo, Tabasco, México.

Artículo científico **recibido:** 16 de enero de 2014, **aceptado:** 30 de enero de 2015

RESUMEN. Las plantaciones de eucalipto son una alternativa para la reforestación en el sureste de México. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos de la sabana de Huimanguillo, Tabasco, México. Para ello, se seleccionaron cuatro plantaciones comerciales de eucalipto con diferentes edades, un pastizal natural y un sitio de vegetación secundaria (acahual), que conformaron los seis sitios de estudio. Dentro de cada sitio, se realizó el muestreo de suelos de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm de profundidad, para determinar la MO, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe y la textura del suelo. Los resultados indican que los sitios de estudio se ubican en tres subunidades de suelo pastizal natural y eucalipto de 8.4 años en el Acrisol Hiperdistri-Férrico; los de acahual y eucalipto de 5.3 y 4.3 años en Acrisol Plíntico; y el de eucalipto de 3.6 años en Acrisol Férrico. Las plantaciones de eucalipto, acahual y pastizal natural conservaron la MO del suelo, debido al aporte de residuos de hojarasca. No se observaron cambios en las propiedades químicas de los suelos Acrisoles por el uso del sitio. No obstante el N, P, K, Ca y Mg deben aportarse vía fertilización para mantener la fertilidad y no comprometer la sustentabilidad de las plantaciones futuras de eucalipto. La textura del suelo permite un buen drenaje superficial lo que favorece el crecimiento del eucalipto.

Palabras clave: Acrisol, fertilidad del suelo, eucalipto, sustentabilidad.

ABSTRACT. The eucalyptus plantations are an alternative for reforestation in the southeastern of Mexico. The aim of this study was to evaluate changes in chemical and physical soil properties in the Huimanguillo Savannah, Tabasco, Mexico. To do this, four commercial eucalyptus plantations with different ages, a natural grassland and a secondary vegetation site known as acahual, were selected, for a total of six study sites selected. Within each site, soil samplings at 0 to 10 cm and 10 to 30 cm depth, with four replications were performed to determine the contents of OM, N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, as well as soil texture. The results indicate that the study sites are located in three subunits of soils natural grassland and eucalyptus 8.4 years in the Acrisol Hiperdistri-Ferric; those of acahual and eucalyptus 5.3 and 4.3 years in Acrisol Plinthic; and eucalyptus 3.6 years in Acrisol Ferric. All study sites kept the same soil OM thanks to leaf litter residues. No changes were observed in the chemical properties of Acrisol soils by effect of production systems. But N, P, K, Ca and Mg must be applied via fertilizers to maintain fertility and not compromise the future sustainability of plantations of eucalyptus soils. The texture of the soils provides a good surface drainage which promotes the growth of the eucalyptus trees.

Key words: Acrisol, soil fertility, eucalyptus, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Debido al impulso del Gobierno Federal al sector forestal en el estado de Tabasco, desde la dé-

cada de los noventas se establecieron plantaciones forestales comerciales de eucalipto (Ladrach 1997), el cual presenta gran potencial de aprovechamiento, debido a su rápido crecimiento y alta productividad

(Souza et al. 2007). En Brasil se utiliza el sistema de siembra y cosecha de rebrotes por tres o más ciclos de cultivo, en cada cosecha se dejan en campo las ramas y la corteza, lo que contribuye con el reciclaje de nutrimentos (Faria et al. 2002). Una plantación de eucalipto de seis años extrae del suelo 117.5 kg de Nitrógeno (N), 8.1 kg de Fósforo (P), 105.0 kg de Potasio (K), 131.0 kg de Calcio (Ca) y 36.0 kg de Magnesio (Mg) (Zaia y Gama-Rodríguez 2004). Por lo que es necesario reponer el K, Ca y Mg que extrae del suelo para mantener la fertilidad (Leite et al. 1998).

En el estado de Tabasco, en el municipio de Huimanguillo, se tienen plantadas más de 11 mil ha con eucaliptos de diferentes edades (CONAFOR 2014), establecidas en suelos ácidos, que se caracterizan por su alta capacidad para fijar P, deficiencias de cobre y zinc, baja tasa de formación de amonio y nitratos, bajo contenido de Ca, Mg, K y un alto porcentaje de saturación de aluminio (Salgado-García et al. 2007). Por lo que se deben conocer los cambios en las propiedades químicas que el cultivo genera en estos suelos. Al respecto, existen pocos trabajos sobre la nutrición y reciclaje de nutrimentos en plantaciones forestales, la cual es información de relevancia para los programas de fertilización (Salgado-García et al. 2013). Por lo anterior, se planteó el objetivo de evaluar los cambios en las propiedades químicas y físicas de los suelos cultivados con plantaciones de eucalipto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Las plantaciones de eucalipto estudiadas pertenecen a la empresa Forestaciones Operativas de México S.A. de C.V., que se ubica en el km 31 de la carretera Huimanguillo-Francisco Rueda del municipio de Huimanguillo, Tabasco. El área de estudio presenta relieves de lomeríos de baja altitud de entre 20 y 50 msnm, que constituyen una antigua planicie fluvial erosionada, con desniveles que le dan la forma de lomeríos al paisaje. Lo que desarrolló suelos con una mezcla de minerales arrastrados por los procesos erosivos que dieron origen a suelos con Acrisoles de altos contenidos de arena, hierro (Fe) y

aluminio (Al) (Palma-López et al. 2007). El clima predominante es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am), temperatura media de 27.8 °C y precipitación de 2 328 mm (INEGI 2001).

La vegetación dominante es sabana de origen antropogénica, con predominancia de pastos nativos, alternados con árboles de Tachicón (*Curatella americana* L.) y Nance (*Byrsonima crassifolia* L. Kunth.). Sobre los márgenes de los arroyos es posible encontrar relictos de vegetación selvática con árboles como Canshán (*Terminalia amazonia* J. Gmelin. Exell), Palo mulato (*Bursera simaruba* L. Sarg.), Maca blanca (*Vochysia hundertensis* Sprague.), Guayacán (*Tabebuia chrysantha* Jacq Nicholson.), entre otros. Además de encinares (*Quercus* sp.) y tasistales (*Scheelea liebmanni* Bece. y *Sabal yucatanica* Bail.).

Sitios de estudio

Se definieron seis sitios de estudio que abarcan diferentes condiciones de uso de suelo y edad de las plantaciones comerciales de eucalipto (Tabla 1). El sitio con acahual o de vegetación secundaria representa al suelo con los menores riesgos de degradación. El sitio con pastizal natural o de vegetación de sabana, representa el uso más extendido en este tipo de suelos y con menor cobertura vegetal. Los cuatro sitios restantes fueron plantaciones comerciales de *Eucalipto grandis* con 3.6, 4.3, 5.3 y 8.4 años de establecidas. Las edades fueron seleccionadas para cubrir el periodo de crecimiento hasta la cosecha de las plantaciones. El manejo agronómico en las plantaciones se describe en la Tabla 1.

Muestreo de suelos

En cada sitio de estudio (S), se definieron cuatro parcelas o repeticiones de 50 x 30 m para realizar el muestreo de suelo. En cada parcela, se tomaron muestras compuestas de suelo de 1.5 kg a profundidades de 0-10 cm y 10-30 cm, que se formaron a partir de la mezcla de 10 submuestras tomadas en zig-zag (Salgado-García et al. 2013), las cuales se dejaron secar a la sombra en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua del Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Para luego molerlas y

Tabla 1. Descripción de los sitios de estudio y actividades de manejo.

Table 1. Description of study sites and handling activities.

Número de Tratamiento	Sitio de estudio	Fecha de plantación	Fecha de muestreo	Edad (años)	Manejo de la plantación
1	Pastizal	S/D	Feb-05	S/D	Área de conservación protegida por la empresa desde 1996.
2	Acahual	S/D	Feb-05	S/D	Área de conservación protegida por la empresa desde 1996.
3	Eucalipto 2001	Jul-01	Feb-05	3.6	Preparación en camellones, fertilización con DAP, control de malezas manual y químico durante 18 meses; protección vs. incendios, pastoreo y plagas.
4	Eucalipto 2000	Dic-00	Mar-05	4.3	Preparación en camellones, fertilización con DAP, control de malezas manual y químico durante 18 meses; protección vs. incendios, pastoreo y plagas.
5	Eucalipto 99	Dic-99	Mar-05	5.3	Preparación en camellones, fertilización con DAP, control de malezas manual y químico durante 18 meses; protección vs. incendios, pastoreo y plagas.
6	Eucalipto 96	Nov-96	Mar-05	8.4	Preparación con rastra, fertilización con DAP, control de malezas manual y químico durante 18 meses; protección vs. incendios, pastoreo y plagas.

S/D = Sin dato, DAP= Fosfato diamónico (18-46-0 kg de N, P₂O₅ y K₂O).

tamizarlas para su análisis. Para corroborar la subunidad de suelos, se realizó la apertura de un pozo edafológico por sitio de estudio, para la descripción del perfil de suelo (Cuanalo 1990), colecta de muestras de cada horizonte, análisis y clasificación taxonómica (FAO-SICS-ISRIC 1999).

Variables de estudio

En cada muestra se determinó el contenido de materia orgánica (MO) (Walkley y Black), nitrógeno total (Semimicro Kjeldahl), fósforo (P-Olsen), potasio, calcio y magnesio (extracción con acetato de amonio 1 N, pH 7 y cuantificación por absorción atómica), sodio y capacidad de intercambio catiónico (CIC) (extracción con acetato de amonio 1 N pH 7), hierro (DPTA y cuantificado por absorción atómica) y textura (método de hidrómetro de Bouyoucos) de acuerdo con la norma oficial mexicana (NOM-021-RECNAT 2001).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó bajo un diseño factorial 2x6 en donde el primer factor fueron las profundidades y el segundo los sitios de estudio, con cuatro repeticiones. Para determinar diferencias entre medias se realizó la comparación de medias de Tukey (Martínez 1988). Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico SAS versión 9.13.

RESULTADOS

Clasificación de suelos

En la Tabla 2 se observa que los suelos de los seis sitios de estudio se clasificaron como Acrisol Hiperdistri-Férrico, Acrisol Plíntico y Acrisol Férrico (FAO-SICS-ISRIC 1999). Los suelos Acrisol Hiperdistri-Férrico son profundos, con horizonte superficial Ap de texturas medias y alto contenido de MO, con un horizonte de 15 cm de espesor, dentro de los primeros 100 cm de profundidad, en el cual la segregación de Fe tiene lugar en tal grado que se

Table 2. Propiedades químicas y físicas de los perfiles de los sitios de estudio.

Table 2. Chemical and physical properties of the study site profiles.

Horizonte (cm)	pH (H ₂ O)	CE (dS m ⁻¹)	MO (%)	P (mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	Na	ClC	Arc	Lim (%)	Are	Clase textural
1. Pastizal natural, Acrisol Hiperdistri-Férrico (19° 47' 23.5" N, 93° 37' 34.9" O)													
Ap (0-10-31)	4.5	0.03	4.82	3.71	0.05	0.01	0.02	0.02	5.9	23	14	63	Migajón arcillo arenoso
A2 (10-31)-52	4.4	0.02	1.66	2.00	0.02	0.02	0.02	0.01	3.0	29	8	63	Migajón arcillo arenoso
Cg1 (52-86)	4.7	0.01	0.86	1.71	0.02	0.61	0.14	0.02	3.0	23	14	63	Migajón arcillo arenoso
Cg2 (86-150)	4.6	0.01	0.23	1.14	0.02	0.29	0.10	0.04	4.0	37	12	51	Arcillo arenoso
2. Acahual, Acrisol Plíntico (17° 47' 30.4" N, 93° 37' 35.5" O)													
A1 (0-16)	4.9	0.04	4.90	5.43	0.07	3.11	0.43	0.04	9.4	16	13	71	Migajón arenoso
A2 (16-37)	4.7	0.02	2.03	2.86	0.02	0.21	0.07	0.01	4.0	24	11	65	Migajón arcillo arenoso
Bt1 (37-63)	4.5	0.03	1.10	2.29	0.02	0.16	0.07	0.08	4.0	28	11	61	Migajón arcillo arenoso
Bt2 (63-96)	4.6	0.01	0.63	1.43	0.02	0.09	0.28	0.05	4.9	40	13	47	Arcillo arenoso
C (96-150)	4.7	0.01	0.75	1.14	0.03	0.08	0.22	0.05	6.4	43	12	45	Arcillo arenoso
3. Eucalipto de 3.6 años, Acrisol Férrico (17° 47' 27.8" N, 93° 37' 38.3" O)													
Ap (0-21)	4.5	0.02	4.07	3.43	0.03	0.01	0.04	0.03	4.4	17	17	66	Migajón arenoso
A2 (21-44)	4.4	0.02	1.83	2.29	0.00	0.02	0.02	0.01	2.0	21	16	63	Migajón arcillo arenoso
Bt (44-85)	4.8	0.11	0.76	2.00	0.01	0.43	0.10	0.02	3.0	31	15	54	Migajón arcillo arenoso
C (85-150)	4.8	0.11	0.17	1.14	0.02	0.26	0.17	0.06	4.9	40	12	48	Arcillo arenoso
4. Eucalipto de 4.3 años, Acrisol Plíntico (17° 47' 23.5" N, 93° 37' 34.9" O)													
Ap (0-18)	4.9	0.023	5.85	2.86	0.05	0.11	0.07	0.10	7.4	9	24	67	Migajón arenoso
A2 (18-36)	4.5	0.019	2.34	1.14	0.01	0.05	0.06	0.05	3.5	25	14	61	Migajón arcillo arenoso
Bt (36-76)	4.5	0.015	1.04	1.14	0.01	0.15	0.03	0.02	2.5	31	12	57	Migajón arcillo arenoso
C (76-150)	5.0	0.013	0.33	0.00	0.02	0.31	0.13	0.04	3.5	45	11	43	Arcilla
5. Eucalipto de 5.3 años, Acrisol Plíntico (17° 47' 23.6" N, 93° 37' 40.3" O)													
Ap (0-41)	4.6	0.025	5.85	2.86	0.03	0.01	0.05	0.05	13.3	13	22	65	Migajón arenoso
A2 (41-67)	4.5	0.015	1.82	1.14	0.01	0.04	0.01	0.02	3.0	21	18	61	Migajón arcillo arenoso
Bt (67-109)	5.0	0.011	0.85	0.57	0.03	0.29	0.05	0.07	3.5	25	16	59	Migajón arcillo arenoso
C (109-150)	5.0	0.009	0.33	0.29	0.01	0.17	0.17	0.06	4.9	35	12	53	Migajón arenoso
6. Eucalipto de 8.4 años, Acrisol Hiperdistri-Férrico (17° 47' 23.6" N, 93° 37' 40.3" O)													
Ap (0-19)	4.9	0.027	5.46	2.00	0.07	0.17	0.15	0.09	6.4	19	18	63	Migajón arenoso
A2 (19-47)	4.6	0.015	2.54	1.14	0.02	0.02	0.03	0.03	3.5	23	16	61	Migajón arcillo arenoso
Bt (47-93)	4.5	0.016	0.91	0.86	0.01	0.29	0.14	0.06	3.5	45	12	43	Arcilla
C (93-150)	4.8	0.009	0.33	0.29	0.01	0.17	0.017	0.06	4.9	35	12	53	Migajón arenoso

forman grandes moteados con tonos más rojos que 7.5 YR, croma mayor a cinco, y concreciones. La matriz entre moteados y entre concreciones presenta un marcado empobrecimiento en Fe, que propicia una pobre agregación de las partículas del suelo y, en consecuencia compactación del horizonte. Aunado a lo anterior, la SB promedio es 18 % en todo el perfil (Tabla 2). Mientras que los suelos Acrisol Plíntico contienen plíntita que produce moteados prominentes color rojo, se presenta en promedio a partir de los 80 cm de profundidad en el horizonte subsuperficial argílico, con la consecuente mezcla rica en Fe, pobre en humus, con arcilla caolinítica, cuarzo y otros constituyentes, la CIC se clasifica como baja, presentándose la acumulación de óxidos de Fe y Al libres (Tabla 2). Los suelos Acrisol Férrico presentan propiedades férricas generadas por la segregación de Fe, como los moteados con tonos más rojos que 7.5 YR y croma mayor a cinco, concreciones de Fe, SB mayor a 20 %. La CIC es menor de 4 $\text{cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$, por lo que se clasifica como baja, lo que indica la ausencia de minerales primarios intemperizables y acumulación de óxidos de Fe y Al libres. El contenido de MO disminuye con la profundidad (Tabla 2), decreciendo marcadamente en el horizonte de acumulación de arcilla iluviada (Bt), en el que se observa una matriz en la que predominan los colores pardos y rojos, con tonos que van de 7.5 YR a 10 YR, valores de 2 a 6 y cromas de 2 a 8.

Propiedades químicas en los suelos

El análisis de varianza mostró diferencias significativas para los sitios de estudio (S) y la profundidad del muestreo (PM) para MO, nitrógeno total, K, Ca, Mg, Na, CIC y Fe, con excepción del P (Tabla 3). El coeficiente de variación (CV) fue alto para todos los elementos analizados, lo que muestra la alta variabilidad existente en el suelo para estos macro y microelementos. En el caso de la MO, el coeficiente de variación del 27 % se considera adecuado para estudios de campo, mientras que el alto CV para el nitrógeno total no permitió observar diferencias entre medias. La textura del suelo en los diferentes sistemas de producción se clasificó como migajón arcillo arenoso, con excepción del suelo

de la plantación de eucalipto de 5.6 años de edad, que se clasificó como migajón arenoso por presentar menor contenido de arcilla (Tabla 4).

DISCUSIÓN

Clasificación de suelos

Los Acrisoles son suelos ácidos de baja fertilidad, con horizontes Híperdistri-Férrico, Férrico y Plíntico (FAO-SICS-ISRIC 1999); los cuales se encuentran en un relieve de lomeríos ligeros a moderadamente inclinados y valles erosivos acumulativos, con altitud de 20 a 69 msnm y pendiente de 2 a 6 %; con buen drenaje interno (Zavala *et al.* 2014).

Propiedades químicas en los suelos

Materia orgánica. El suelo con pastizal presentó el menor contenido de MO en comparación con las plantaciones comerciales de eucalipto y acahual. Dentro de las plantaciones no se observó una tendencia de incrementó de la MO con la edad de la plantación (Tabla 3). Los contenidos de MO se clasificaron como ricos (3 a 5 %) y muy ricos (> 5.0 %) de acuerdo con la NOM-021-RECNAT (2001). Lo que indica que los pastos, las plantaciones comerciales de eucalipto y el acahual son sistemas que tienden a estabilizar el contenido de MO en el suelo, lo que coincide con lo observado por Baileiro *et al.* (2008), quienes reportaron que el suelo cultivado con *Pseudosamanea guachapele* almacenó 14.2, eucalipto 17.2 y pastos 24.2 tha^{-1} de C, en la capa de 0 a 5 cm de profundidad. Al respecto Torrán y Piter (2009) indican que las plantaciones de eucalipto protegen al suelo evitando la erosión y reteniendo humedad, además del aporte continuo de MO por hojarasca; y el crecimiento de sotobosque con diversidad de especies anuales y perennes (Souza *et al.* 2007).

Con respecto a la profundidad se observó una reducción significativa de MO (Tabla 3), lo cual es natural e indica que la calidad química del suelo en los primeros 10 cm de profundidad es mejor debido a la mayor entrada de MO, por una mayor diversidad de especies de plantas, cuya cantidad y calidad de

Table 3. Propiedades químicas del suelo en los sitios de estudio.

Table 3. Chemical properties in study site soils.

Medias para sitios de estudio	MO	Nt	P	Fe	K	Ca	Mg	Na	CIC	
	—(%)—		—(mg kg ⁻¹)—		—cmol(+) kg ⁻¹ suelo—					
Pastizal natural	4.2 ^{c†}	0.15 ^a	01.1 ^a	101 ^{ab}	0.042 ^b	0.21 ^b	0.05 ^b	0.10 ^{ab}	5.0 ^b	
Achual	5.9 ^{ab}	0.20 ^a	03.2 ^a	058 ^b	0.057 ^a	0.77 ^a	0.30 ^a	0.08 ^{ab}	8.4 ^a	
Eucalipto de 3.6 años	4.4 ^{bc}	0.15 ^a	02.1 ^a	112 ^a	0.026 ^c	0.08 ^b	0.05 ^b	0.13 ^a	5.5 ^b	
Eucalipto de 4.3 años	5.3 ^{abc}	0.17 ^a	04.5 ^a	063 ^b	0.026 ^c	0.15 ^b	0.01 ^b	0.07 ^{ab}	7.3 ^{ab}	
Eucalipto de 5.3 años	6.2 ^a	0.18 ^a	10.5 ^a	064 ^b	0.030 ^{bc}	0.02 ^b	0.07 ^b	0.02 ^b	8.3 ^a	
Eucalipto de 8.4 años	4.8 ^{ab}	0.14 ^a	03.0 ^a	070 ^{ab}	0.036 ^{bc}	0.10 ^b	0.06 ^b	0.05 ^{ab}	6.6 ^{ab}	
Medias										
de profundidad (PM)	0-10 cm	5.8 ^a	0.19 ^a	4.3 ^a	95 ^a	0.047 ^a	0.30 ^a	0.11 ^a	0.09 ^a	7.7 ^a
	10-30 cm	4.5 ^b	0.14 ^b	3.9 ^a	60 ^b	0.025 ^b	0.15 ^a	0.07 ^b	0.06 ^b	5.9 ^b
CV (%):		27	22	155	40	23	37	61	82	23
Prob. de F. para:										
Sitios de estudio (S):		0.01**	0.04*	0.07NS	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.02*	0.01*
Profundidad (PM):		0.01**	0.01**	0.84NS	0.01**	0.01**	0.01**	0.01**	0.19NS	0.01**
Interacción (SxPM):		0.74NS	0.38NS	0.88NS	0.40NS	0.27NS	0.09NS	0.39NS	0.34NS	0.98NS
DSH (S):		1.7	0.05	9.6	47	0.01	0.29	0.08	0.09	2.6
DSH (PM):		0.65	0.02	3.7	18	0	0.11	0.03	0.03	1.0

† Letras iguales dentro de la columna indica que no hay diferencia significativa entre tratamientos (Tukey, $p \leq 0.05$).
** Diferencias altamente significativas, * Diferencias significativas, NS: No significativo.

Table 4. Textura del suelo en los sitios de estudio y profundidades del suelo en la sabana de Huimanguillo, Tabasco.

Table 4. Soil texture at the different study sites and soil depths in the savannah of Huimanguillo, Tabasco.

Sitio de estudio	Arcilla	dS	Limo			Arena	dS	Textura
			(%)	dS	(%)			
0-10 cm de profundidad								
Pastizal natural	24 ±	3.4	15 ±	2.3	61 ±	2.2	Migajón arcillo arenoso	
Achual	23 ±	4.5	21 ±	5.6	56 ±	3.5	Migajón arcillo arenoso	
Eucalipto de 3.6 años	23 ±	2.8	17 ±	2.8	60 ±	1.7	Migajón arcillo arenoso	
Eucalipto de 4.3 años	22 ±	2.0	19 ±	2.5	59 ±	4.5	Migajón arcillo arenoso	
Eucalipto de 5.3 años	16 ±	1.0	19 ±	2.2	65 ±	2.9	Migajón arenoso	
Eucalipto de 8.4 años	26 ±	2.5	16 ±	1.3	58 ±	3.3	Migajón arcillo arenoso	
10-30 cm de profundidad								
Pastizal natural	27 ±	3.4	15 ±	3.6	58 ±	0.9	Migajón arcillo arenoso	
Achual	24 ±	1.7	20 ±	4.9	56 ±	3.7	Migajón arcillo arenoso	
Eucalipto de 3.6 años	23 ±	3.0	18 ±	3.5	59 ±	1.25	Migajón arcillo arenoso	
Eucalipto de 4.3 años	24 ±	2.5	17 ±	3.7	59 ±	3.5	Migajón arcillo arenoso	
Eucalipto de 5.3 años	15 ±	1.9	21 ±	1.7	54 ±	2.0	Migajón arenoso	
Eucalipto de 8.4 años	28 ±	1.0	14 ±	2.4	58 ±	1.7	Migajón arcillo arenoso	

dS=Desviación estándar

hojarasca y raíces, impactan en el contenido de MO (Tremont y Cuevas 2006, Goya *et al.* 2008, Alem *et al.* 2010, Nouvellon *et al.* 2012).

Los sitios que presentaron el mayor contenido de Nt fueron aquellos que presentaron altos contenidos de MO (Tabla 3), lo cual indica que estas variables están correlacionadas. El contenido de Nt

se clasificó como rico a excepción de la plantación comercial de eucalipto de 8.4 años que se considera como medio; debido a que el eucalipto ha tomado el N del suelo. El contenido de Nt disminuyó de rico a medio conforme aumentó la profundidad de muestreo. Lo cual está relacionado con la génesis del suelo. La relación C/N de 17.7 y 19.2 para

ambas profundidades, se clasifican como altas, e indican que en el suelo ocurre un proceso de inmovilización de N orgánico, y no hay aporte de N inorgánico (Salgado *et al.* 2013, Hernández-Hernández *et al.* 2008). Estos datos sugieren que la extracción es mayor que la fuente, por lo que se debe adecuar la dosis de N aplicada a los eucaliptos para que la tasa de crecimiento y sustentabilidad del sistema no se vean afectados (Jesús *et al.* 2012) y/o establecer plantaciones de eucalipto mixtas, con asociación de leguminosas para mejorar la fertilidad del suelo (Balieiro *et al.* 2008, Forrester *et al.* 2013), sobre todo en suelos donde se cultiva eucalipto de forma continua (Voigtlaender *et al.* 2012). Además, se deben conservar los residuos y evitar su quema; ya que estos al mineralizarse aportarán N para las nuevas plantaciones (Versini *et al.* 2014).

Fósforo. Las concentraciones promedio de P se clasifican como bajas, ya que son menores de 5 mg kg⁻¹ (CSTPA 1980). Lo que indica, que la fertilización usada para los eucaliptos ha sido de mantenimiento, por lo que no hay acumulación en el suelo. Es una característica de los Acrisoles presentar bajas concentraciones de P (Tabla 2), ya que este elemento es fijado por Al y Fe; por lo que se debe adecuar la dosis de fósforo y aplicarlo en banda para mejorar su aprovechamiento, con las fuentes superfosfato triple o fosfato di-amónico (Salgado *et al.* 2007).

Potasio. Las concentraciones de K en el suelo se clasificaron como muy bajas debido a que es menor de 0.20 cmol (+) kg⁻¹ (NOM-021-RECNAT 2001); lo cual evidencia, que la fertilización con K aplicada a los árboles de eucaliptos ha sido de mantenimiento o nula. Al respecto Lima (1996) menciona que en algunas condiciones el K tiene una tendencia de aumento en plantaciones de eucalipto, aunque otros autores mencionan que el K es extraído en grandes cantidades del suelo por el eucalipto. Lo que implica que se debe adecuar la dosis de K aplicada al suelo para lograr una producción sostenible, ya que el tronco de eucalipto exporta más del 50 % del contenido total de N, P y K, lo que se considera

que podría reducir la productividad a largo plazo y afectar la sustentabilidad del sistema (Faria *et al.* 2002; Zaia y Gama-Rodríguez 2004; Lima *et al.* 2005).

Calcio. La concentración promedio de Ca se clasificó como muy baja (<2.0 cmol (+) kg⁻¹, NOM-021-RECNAT 2001) y fue menor a los 0.2 Cmol (+) kg⁻¹ que requiere el eucalipto (Barros *et al.* 1990). Únicamente en el sitio con acahual se observó un incremento significativo, posiblemente por la descomposición de la capa de hojarasca acumulada sobre el suelo. El resto de los sistemas presentan valores bajos, lo cual coincide con Garay *et al.* (2003). Debido al bajo contenido de Ca en las plantaciones comerciales de eucalipto es necesario aplicar una dosis de mantenimiento de cal dolomítica de 1.0 t ha⁻¹ por ciclo de cultivo. Otra práctica que ayudaría a atenuar la deficiencia de Ca, puede ser dejar en el campo las hojas, ramas y corteza durante la cosecha del eucalipto (Santana *et al.* 2002; Uribe *et al.* 2012).

Magnesio. El contenido promedio de Mg se clasificó como muy bajo debido a que es menor de 0.5 cmol (+) kg⁻¹ (NOM-021-RECNAT 2001). De acuerdo a Barros *et al.* (1990), existe una estrecha relación entre el contenido de Ca y Mg en el suelo, los niveles críticos de estos elementos para el cultivo de eucalipto son mucho más bajos que para cultivos agrícolas y se busca mantener una relación Ca/Mg de 2 para un crecimiento adecuado del eucalipto. Esta relación fue de 3 y 2 para las profundidades de 0 a 10 y de 10 a 30 cm en promedio, respectivamente. Aunque el eucalipto está adaptado a condiciones de baja fertilidad y acidez, se debe reconsiderar la posibilidad de aplicar 1.0 t ha⁻¹ de cal dolomítica por cada ciclo de cultivo para reducir la toxicidad de Fe y Al, aportar Ca y Mg, mejorar el pH y favorecer la mineralización de la MO; lo que evitaría la reducción en el crecimiento de los árboles de futuras plantaciones por falta de Mg, como lo señalan Faria *et al.* (2002).

Sodio. Se considera un elemento benéfico para las plantas (Salgado *et al.* 2013). El contenido

promedio de Na, es bajo e indica que en el suelo no hay problemas de salinidad (Tabla 3); lo que es consistente con lo reportado para estas subunidades de suelos (Zavala *et al.* 2014).

Capacidad de Intercambio Catiónico. La CIC se clasifica como baja (5 a 15 cmol(+) kg⁻¹ de suelo, (NOM-021-RECNAT 2001), e indica que los suelos Acrisoles son de baja fertilidad, con presencia de arcillas tipo 1:1 (Palma *et al.* 2007, Zavala *et al.* 2014).

Hierro. Para todos los sistemas de producción las concentraciones de Fe se clasifican como altas debido a que son mayores de 4.5 mg kg⁻¹ (NOM-021-RECNAT 2001). El aumento en la presencia de hierro en el suelo es un indicador de un incremento del intemperismo, infertilidad e incremento de la acidez del mismo (Dolui y Mondal 2007); por ello, en el acahual se observan los menores contenidos (Tabla 3).

Textura. La textura Migajón arcillo arenoso, permite un buen drenaje superficial (Palma-López *et al.* 2007), dado que en la zona se registra una precipitación de 2 328 mm año⁻¹; lo cual crea

condiciones de aireación y humedad en el suelo, favorables para el desarrollo de las plantaciones comerciales de eucalipto. Al respecto Delgado-Caballero *et al.* (2009) observaron que los mejores suelos para el desarrollo del eucalipto contienen más de 60 % de arena. Mientras que Gava y Gonçalves (2008) indican que en la región de Piracicaba en Sao Paulo, donde la precipitación es menor de 1 500 mm al año, el contenido total de celulosa aumentó en suelos con 35 a 40 % de arcilla, lo que permite retener mayor humedad en comparación de suelos de textura arenosa.

CONCLUSIONES

En los suelos Acrisoles de la sabana de Huimanguillo, no se observaron cambios importantes desde el punto de vista agronómico en el contenido de nutrientes en las profundidades de 0-10 cm y 10-30 cm con la edad de las plantaciones, comparados con los sistemas de pastizal natural y acahual. Lo cual indica que las plantaciones comerciales en primera rotación con respecto a la vegetación natural no degradan al suelo. Sin embargo, debe mejorarse el programa de fertilización para reponer el N, P, K, Ca y Mg.

LITERATURA CITADA

- Alem S, Woldemariam T, Pavlis J (2010) Evaluation of soil nutrients under *Eucalyptus grandis* plantation and adjacent sub-montane rain forest. *Journal of Forestry Research* 21: 457-460.
- Balieiro BF, Pereira MG, Alves BJR, de Resende AS, Franco AA (2008) Soil carbon and nitrogen in pasture soil reforested with Eucalyptus and Guachapele. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 1253-1260.
- Barros NF, Novais RF, Neves JCL (1990) Fertilização e correção do solo para plantio de eucalipto. In: Barros NF, Novais RF (eds). *Relação Solo-Eucalipto*. Folha da Viçosa. Minas Gerais, Brasil. pp. 127-181.
- CONAFOR (2014) Principales especies maderables establecidas en PFC por estado. SEMARNAT. México, D.F. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/5/4815Principales%20Especies%20Maderables%20establecidas%20en%20PFC%20por%20Estado%20.pdf>. Fecha de consulta 5 de julio de 2014.
- CSTPA (1980) Handbook on reference methods for soil testing. Council on Soil Testing and Plant Analysis. Athens, Georgia, USA. 459 p.
- Cuanalo CH (1990) Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. 3ra ed. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 30 p.
- Delgado-Caballero CE, Gómez-Guerrero A, Valdez-Lazalde JR, Santos-Posadas H, Fierros-González AM, Horwath WR (2009) Índice de sitio y propiedades del suelo en plantaciones jóvenes de *Eucalyptus grandis* y *E. urophylla* en el sureste de México. *Agrociencia* 43: 61-72.

- Dolui AK, Mondal A (2007) Influence of Different Forms of Iron and Aluminum on the Nature of Soil Acidity of Some Inceptisols, Alfisols and Ultisols, Communications in Soil Science and Plant Analysis 38: 119-131.
- FAO-SICS-ISRIC (1999) Base referencial mundial del recurso suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 83 p.
- Faria GE, Barros NF, Novais RF, Lima JC, Teixeira JL (2002) Produção e estado nutricional de povoamentos de *et al*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. Revista Árvore 26: 577-584.
- Forrester DI, Pares A, O'Hara C, Khanna PK, Bauhus J (2013) Soil Organic Carbon is Increased in Mixed-Species Plantations of Eucalyptus and Nitrogen-Fixing Acacia. Ecosystems 16: 123-132.
- Gava JL, Gonçalves JLM (2008) Soil attributes and wood quality for pulp production in plantations of *Eucalyptus grandis* Clone. Scientia Agricola 65: 306-313.
- Garay I, Kindel A, Carneiro R, Franco AA, Barros E, Abbadie L (2003) Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. Revista Brasileira de Ciência do Solo 27: 705-712.
- Goya JF, Frangia JL, Pérez C, Teab FD (2008) Decomposition and nutrient release from leaf litter in *Eucalyptus grandis* plantations on three different soils in Entre Ríos, Argentina. Bosque 29: 217-226.
- Hernández-Hernández RM, Ramírez E, Castro I, Cano S (2008) Cambios en indicadores de calidad de suelos de ladera reforestados con pinos (*Pinus caribaea*) y eucaliptos (*Eucalyptus robusta*). Agrociencia 42: 253-266.
- INEGI (2001) Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco. Distrito Federal, México. 90 p.
- Jesús GL, Barros NF, Da Silva IR, Neves JCL, Henriques EP, Lima VC, et al. (2012) Doses e Fontes de Nitrogênio na Produtividade do Eucalipto e nas Frações da Matéria Orgânica em Solo da Região do Cerrado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Ciência do Solo 36: 201-314.
- Ladrach WE (1997) El potencial para la reforestación en México. Zobel Forestry Associates Inc. Raleigh, Cary, USA. 34 p.
- Leite FP, Barros NF, Novais RF, Fabres AS (1998) Acúmulo e distribuição de nutrientes em *Eucalyptus grandis* sob diferentes densidades populacionais. Revista Brasileira de Ciência do Solo 22: 419-426.
- Lima AMN, Neves JCL, Selva IR, Leite FP (2005) Cinética de absorção e eficiência nutricional de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo 29: 903-909.
- Lima WP (1996) Impacto ambiental do eucalipto. 2da ed. São Paulo: Editora de Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 301 p.
- Martínez GA (1988) Diseños experimentales: práctica y teoría. Edit. Trillas. México D.F. 756p.
- NOM-021-RECNAT (2001) Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2001. 75 p.
- Nouvellon Y, Epron D, Marsden C, Kinana A, Maire C, Deleporte P, et al. (2012) Age-related changes in litter inputs explain annual trends in soil CO_2 effluxes over a full Eucalyptus rotation after afforestation of a tropical savannah. Biogeochemistry 111: 515-533.

- Palma-López DJ, Cisneros DJ, Moreno CE, Rincón-Ramírez JA (2007) Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados- ISPROTAB - FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México. 196 p.
- Salgado-García S, Palma-López DJ, Zavala-Cruz J, Lagunes-Espinoza LC, Castelán-Estrada M, Ortiz-García CF et al. (2007) Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes (SIRDF) en el área citrícola de Huimanguillo, Tabasco. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. Cárdenas, Tabasco, México. 90 p.
- Salgado-García S, Palma-López DJ, Castelán-Estrada M, Lagunes-Espinoza LC, Ortiz LH (2013) Manual para el muestreo de suelos, plantas y aguas e interpretación de análisis para la producción sostenible de alimentos. Colegio de Postgraduados-Campus Tabasco, ISPROTAB. H. Cárdenas, Tabasco, México. 102 p.
- Santana CR, Barros NF, Neves JCL (2002) Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus salignaem* sitios florestais do estado de São Paulo. Revista Árvore 26: 447-457.
- Souza PB, Martins SV, Costalonga SR, Costa GO (2007) Florística e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea do sub-bosque de um povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden em Viçosa. Revista Árvore 31: 533-543.
- Torrán EA, Piter JC (2009) Contenido de agua en suelos cultivados con *Eucalyptus grandis* y *Pinus taeda*. Análisis de un caso en la provincia de Entre Ríos, Argentina. Bosque 30: 10-17.
- Tremont O, Cuevas E (2006) Carbono orgánico, nutrientes y cambios estacionales de la biomasa microbiana en las principales especies de dos tipos de bosques tropicales. Multiciencias 4: 1-14.
- Uribe S, Huerta E, Geissen V, Mendoza M, Godoy R, Jarquín A (2012) *Pontoscolex corethrurus* (Annelida: Oligochaeta) indicador de la calidad del suelo en sitios de *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) con manejo tumba y quema. Revista de Biología Tropical 6: 1543-1552.
- Versini A, Zeller B, Derrien D, Mazoumbou JC, Mareschal L, Saint-André L, et al. (2014) The role of harvest residues to sustain tree growth and soil nitrogen stocks in a tropical *Eucalyptus* plantation. Plant and Soil 346: 245-260.
- Voigtlaender M, Laclau JP, Gonçalves JLM, Piccolo MC, Moreira MZ, Nouvellon J, et al. (2012) Introducing *Acacia mangium* trees in *Eucalyptus grandis* plantations: consequences for soil organic matter stocks and nitrogen mineralization. Plant and Soil 352: 99-111.
- Zaia FC, Gama-Rodríguez AC (2004) Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região Norte Fluminense. Revista Brasileira de Ciência do Solo 28: 843-852.
- Zavala CJ, Salgado GS, Marín AA, Palma LDJ, Castelán EM, Ramos RR (2014) Transecto de suelos en terrazas con plantaciones de cítricos en Tabasco. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 1: 123-134.