

CONTENIDO DE CARBONO EN SUELOS CON DIFERENTES USOS AGROPECUARIOS EN EL TRÓPICO MEXICANO

Carbon Content in Soils with Several Farming Uses in the Mexican Tropic

Rufo Sánchez-Hernández^{1‡}, Rodimiro Ramos-Reyes², Violette Geissen², Juan de Dios Mendoza-Palacios¹, Efraín de la Cruz-Lázaro¹, Eduardo Salcedo-Pérez³ y David J. Palma-López⁴

RESUMEN

El suelo es un almacén de carbono (C) importante en la mitigación de los gases de efecto invernadero, debido a que protege físicamente la materia orgánica (MO). Por ello, se realizó un estudio en un Distrito de Temporal Tecnificado en la parte sur del estado de Tabasco para cuantificar el C asociado a suelos bajo diferentes usos. Se realizó una clasificación supervisada de imágenes satelitales para identificar los usos y tipos de suelos más frecuentes, se obtuvieron muestras de suelo a 0-15 cm y 15-30 cm; los resultados indicaron que los usos de suelo más frecuentes fueron: pastizales, plantaciones de eucalipto, cacao y cítricos y, áreas reducidas de piña y arroz. Los suelos predominantes en el área de estudio fueron los Vertisoles éutricos (VReu), Plintsoles dísticos (PTdy), Acrisoles plínticos (ACpl), Acrisoles húmicos (AChu) y Acrisoles gléyicos (ACgl), estos suelos difieren en el origen genético del material parental, edad y exposición al ambiente, sus características junto con el aporte de residuos orgánicos de cada uso de suelo, regularon la acumulación en el suelo de la materia orgánica (MO) y del C en ambas profundidades. La mayor acumulación de MO y C se registró en la superficie y decreció en un 36% a los 15 cm de profundidad. Los usos de suelo que mayor cantidad de MO y C acumularon fueron piña, cítricos,

eucalipto y pasto; las menores cantidades fueron registradas en arroz, caña de azúcar y cacao. La mayor acumulación de MO y C se registró en cultivos establecidos en PTdy y ACpl, estos suelos presentan acidez que afectan estrechamente la descomposición de la MO. Los VReu y ACgl presentan alto porcentaje de arcilla y acidez (pH alrededor de cinco), condiciones que facilitan la degradación de la MO y no permite la acumulación de C en el perfil.

Palabras clave: materia orgánica del suelo, acidez, lomeríos, aluvial, arcilloso.

SUMMARY

The soil is a store of carbon (C) very important in the mitigation of the greenhouse gases, due to the fact that it protects physically the organic matter (OM). For it, a study was realized in a Rain Technified District in the South part of the Tabasco State, to quantify the C associated with soils under several uses. A supervised classification of satellite images was realized to identify the more frequent uses and soil classes, soil samples at 0-15 cm y 15-30 cm depth were obtained. The results indicated that the more frequent uses were: grassland, eucalyptus, cocoa and citric plantations and small areas of rice and pineapple. The predominant soils in the study area were the Eutric Vertisols (VReu), Distric Plintosols (PTdy), Plintic Acrisols (ACpl), Humic Acrisols (AChu) and Gleyic Acrisols (ACgl), these soils differ in the genetic origin of the parent material, age and environmental exposition; its characteristics together with the contribution of organic residues of each soil use, regulated the accumulation in the organic matter (OM) and C in both depths. The major OM and C accumulation were registered in the surface and decreased to 36% at 15 cm depth. The soil uses that accumulated OM and C were pineapple, citric, eucalyptus and grassland; the less account were registered in rice, sugarcane and cocoa. The major OM and C accumulation were registered

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. DACA. Carretera Villahermosa-Teapa km 25. Alvarado, Tabasco, México.

[‡] Autor responsable (rsanchez@colpos.mx)

² El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa (ECOSUR). Carretera Villahermosa-Reforma km 15.5 Ranchería Guineo, sección II. 86280 Villahermosa, Tabasco, México.

³ CUCEI, Universidad de Guadalajara. Blvd. Marcelino García Barragán 1421 esq. Calzada Olímpica. 44430 Guadalajara, Jalisco, México.

⁴ Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco. 86500 Cárdenas, Tabasco, México.

in crops established on PTdy and ACpl, these soils present acidity that closely affect the OM decomposition. The VReu and ACgl present high clay content and, acidity around five; these conditions facilitate the OM decomposition and does not allow OC accumulation in the soil profile.

Index words: *soil organic matter, acidity, highland, alluvial, clayey.*

INTRODUCCIÓN

El incremento de la concentración de CO₂ atmosférico y la contribución de éste sobre el calentamiento global, es hoy en día una de las preocupaciones más importantes para la humanidad (IPCC, 2007). La acumulación de carbono del suelo (CS) es un proceso importante para mitigar el efecto del cambio climático, ya que la superficie terrestre, además de ser un sumidero, es un reservorio de carbono estabilizado (Etchevers *et al.*, 2006). Sin embargo, cuando hay cambio de uso, este mismo sumidero puede transformarse en una fuente. En México, los aspectos del ciclo del carbono más estudiados están asociados principalmente a la biomasa aérea, pero poco se conoce sobre la dinámica de acumulación del CS (Luis-Mejía *et al.*, 2007). El incremento del CO₂ en la atmósfera es atribuido en gran parte a las actividades humanas; la manipulación del suelo que el hombre realiza provoca impactos negativos en la productividad de los ecosistemas y la calidad ambiental, por su manejo debe ir acompañado de medidas de conservación que eviten su degradación. En este contexto, Geissen y Morales (2006) señalaron que en México no se han desarrollado suficientes investigaciones acerca de la influencia de las diferentes formas de uso del suelo sobre la fertilidad del mismo. Según Neill *et al.* (1998), después de los cambios en el uso del suelo sobrevienen una serie de modificaciones de algunas características físicas y químicas que afectan la fertilidad de este sustrato y causan problemas, tales como erosión o compactación del suelo. En condiciones tropicales el contenido de materia orgánica aumenta (Moraes *et al.*, 1998) o disminuye (Trumbore *et al.*, 1995) como consecuencia del efecto de la conversión de bosque a pastizal. Según Thiessen *et al.* (2003) el CS disminuye después de la deforestación, aunque eso depende del tipo de suelo. Smith (2008) enfatizó en la necesidad

de conservar el CS dentro de un plan de manejo sustentable, ya que dicha pérdida incide negativamente en la fertilidad del suelo. Según Vergara-Sánchez *et al.* (2005) para planear el manejo y uso del suelo es necesario primero definir la fertilidad del suelo; estos autores proponen basarla en la disponibilidad de nutrientes y contenidos de elementos potencialmente tóxicos. Sin embargo, según Sánchez *et al.* (2003), el concepto de calidad de suelos fue desarrollado para zonas de climas templados y no pueden ser aplicable directamente a condiciones tropicales. El uso del suelo influye sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas, el estado de su fertilidad y la disminución de su capacidad de almacenamiento de CS (Palm *et al.*, 2007). Por la importancia del suelo como reservorio del CS y para la producción de alimentos, se condujo el presente trabajo con los objetivos de cuantificar el CS en suelos con diferentes sistemas de uso, e identificar variables y factores que influyen en su almacenamiento en un ambiente tropical.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El trabajo se realizó en el distrito de temporal tecnificado 002 Zanapa-Tonalá sobre una superficie aproximada de 124 000 ha, ubicadas en la parte sur del estado de Tabasco (17° 49' 33" N; 93° 18' 15" O). De acuerdo a la clasificación de clima de Köppen, modificada por García (1973), dentro del ámbito geográfico se identifican dos climas: cálido húmedo con lluvias todo el año con un porcentaje de lluvia invernal menor al 18% (Af(m)) en el sur del distrito y, el cálido húmedo con abundantes lluvias en verano con un porcentaje de lluvia mayor al 10% (Am(f)) en el norte del mismo. La fisiografía en la parte norte del distrito se caracteriza por un escaso relieve, con altitudes de 100 m, cortadas por amplios valles resultado de la acumulación de grandes depósitos fluviales. La edad de esta zona data del Pleistoceno, en la era cuaternaria. Esta fisiografía fue formando suelos cuando una mezcla de materiales arrastrados por los procesos erosivos, se fue intemperizando para dar origen a suelos con altos contenidos de arena y ricos en hierro y aluminio (Palma *et al.*, 2007). La parte sur, se encuentra en lo que se conoce como la planicie costera del Golfo de México, fisiográficamente constituye una extensa área plana

de origen aluvial, principalmente con sedimentos profundos del cuaternario reciente. Los sedimentos fueron acarreados por numerosos ríos y arroyos que surcan la zona a partir del intemperismo de las rocas de la sierra de Chiapas y de la erosión de la zona de lomeríos. Estos materiales mezclados de diferentes minerales finalmente fueron depositados por continuas avenidas, constituyendo grandes extensiones de tierra (Palma *et al.*, 2007).

Generación de Mapa Paramétrico de Suelos y su Uso

Con apoyo del programa Arc Gis 9.2, se realizó una clasificación supervisada de imágenes Spot del área de estudio (escena completa 1069 km²) del año 2008, con el fin de identificar los diferentes usos del suelo. En dicho mapa se realizó una sobreposición del mapa de clasificación de suelo presentado por Palma-López *et al.* (2007). La sistematización de los suelos fue actualizada e integrada de acuerdo a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo referida como la WRB (IUSS, 2006), con la finalidad de obtener un mapa paramétrico en el que los diferentes polígonos representaron sitios potenciales de muestreo.

Muestreos

A partir de los mapas de uso y clasificación de suelos que se generaron en la etapa anterior, se seleccionaron sitios de muestreos cubriendo todas las combinaciones potenciales entre los dos factores (uso y clases de suelos). Basados en esa información, se seleccionaron 66 sitios excluyendo los usos y subunidades de suelo menos representativas. Cada sitio fue ubicado y posicionado en campo mediante un GPS marca Garmin usando el datum WGS 84, y muestreado a dos profundidades (0-15 cm y 15-30 cm) para determinar propiedades químicas y físicas.

VARIABLES DE ESTUDIO

Se determinó el porcentaje de arcillas mediante análisis mecánicos (Bouyoucos, 1927), pH (relación suelo: agua 1:2), C (Walkley y Black, 1934) y a partir de la multiplicación del C por 1.724 se calculó el contenido de MS. Los análisis estadísticos incluyeron análisis de varianza y de correlaciones mediante el programa

estadístico SAS para Windows versión 8.0 (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Uso Actual del Suelo

En el mapa temático que se obtuvo de la digitalización de las imágenes satelitales se observó que existen los siguientes usos de suelo: acahual, arroz, cacao, caña de azúcar, cítricos, eucalipto, piña, pastizal, sistemas popal-tular, cuerpos de agua y zonas urbanas (Figura 1).

Los usos identificados con actividad agropecuaria en el área son: arroz, cacao, caña de azúcar, cítricos, eucalipto, piña y pastizales. La lista con los porcentajes de distribución de los usos de suelo identificados se presenta en el Cuadro 1; los usos con mayor frecuencia son: el pastizal (63.6%), eucalipto (11.7%) y acahual (11.2%), mientras que los usos de menor distribución fueron: arroz (0.3%), caña de azúcar (0.3%) y piña (0.2%). Se observó una amplia distribución del pastizal reflejo de la intensa deforestación que ha sufrido el país en esta región en las últimas décadas, provocada por cambios drásticos en el uso de la tierra. Según Palma y Triano (2007), en el estado de Tabasco el 49% de la superficie estatal era ocupada por selva baja y acahuales en 1940, y el 21% era destinado a pastizales, para el año 2002 el 42% eran áreas dedicadas a la ganadería y, sólo el 14.6% del área era vegetación primaria y secundaria.

Cuadro 1. Superficie y porcentajes de distribución de los sistemas de uso de suelo en el área de estudio.

Uso del suelo	Superficie	
	Hectárea	%
Pastizal	79 089	63.6
Eucalipto	14 523	11.7
Acahual	13 964	11.2
Cítricos	5 843	4.7
Cacao	3 622	2.9
Popal-tular	3 445	2.8
Cuerpos de agua	2 666	2.1
Zona urbana	395	0.3
Arroz	328	0.3
Caña de azúcar	312	0.3
Piña	263	0.2
Total	124 451	100

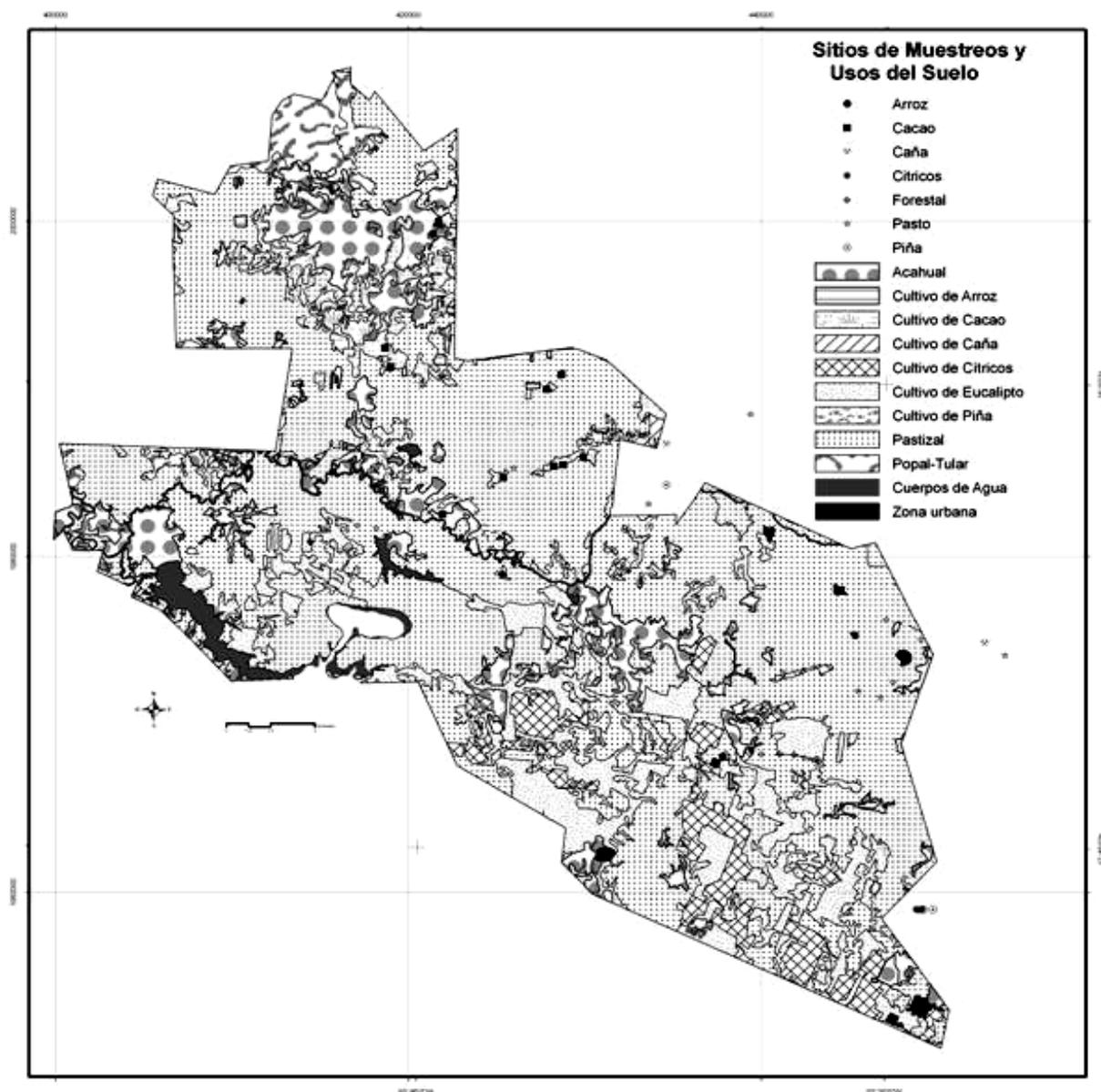


Figura 1. Mapa de uso actual del suelo en el área de estudio.

Clases de suelos

Acorde a la clasificación en el área de estudio se identificaron 12 subunidades de suelo (Figura 2); las cinco subunidades principales fueron: los Vertisoles éútricos (VReu) con un 26.1%, los Plintsoles dístricos (PTdy) ocuparon un 18.8%, los Acrisoles plínticos (ACpl) ocuparon un 16.8%, los Acrisoles húmicos (AChu) el 15.9% y, los Acrisoles gléyicos (ACgl) cubren el 7.6%.

En menor superficie también se identificaron Fluvisoles éútricos, Gleysoles éútricos, Acrisoles férricos, Cambisoles vérticos, Gleysoles mólicos, Histosoles

fíbricos, Cambisoles éútricos y Cuerpos de agua (Cuadro 2).

Distribución de los Sistemas de Uso de Suelo en las Subunidades de Suelo Identificadas

El pastizal es el uso que tuvo presencia en todas las subunidades de suelo identificadas, aunque su frecuencia fue mayor en los VReu y en los PTdy donde hubo mayor frecuencia (Cuadro 3). La amplia distribución del pastizal en la mayor parte del distrito se debió a la disponibilidad de pastos que se adaptan a las características físicas y

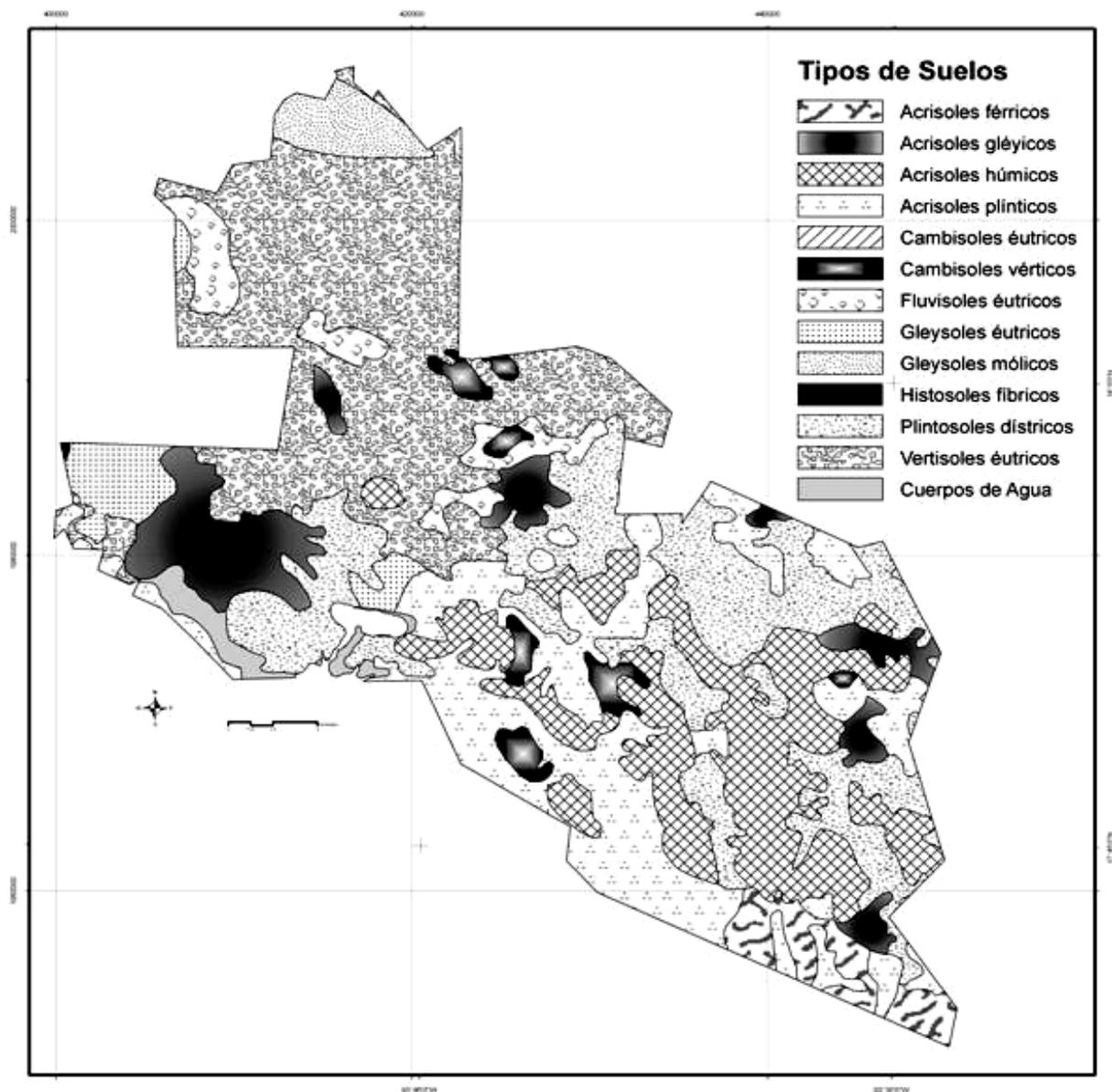


Figura 2. Diversidad de suelos identificados en el área de estudio.

químicas del suelo. En PTdy y ACpl, ubicados en la parte sur del distrito, el pasto predominante fue *Brachiaria humidicola*, mientras que en la parte norte del área de estudio, donde predominan los VReu, el pasto más usual fue *Cynodon plectostachyus*. Geissen y Morales (2006) observaron que el uso de *Cynodon plectostachyus* o sucesiones forestales en suelos AChu incrementaba la fertilidad del suelo en comparación con *Brachiaria decumbens*, por lo que concluyeron que el primero en monocultivo o en combinación con sucesiones forestales, es adecuado para un uso sustentable en este tipo de suelos. De igual manera, la piña, los cítricos y el eucalipto,

que son cultivos que presentan mayor tolerancia a condiciones de acidez típicas de ACpl y PTdy, se restringieron exclusivamente a dichas subunidades. El eucalipto fue observado exclusivamente en los PTdy, la piña en ACpl y PTdy, mientras que los cítricos en los ACgl, AChu, ACpl y PTdy. El arroz y la caña de azúcar requieren de un abundante suministro de agua durante todo el ciclo agrícola, por lo que los suelos de texturas gruesas se ven limitados para el uso en estos dos cultivos debido a su alta permeabilidad. En el área de estudio el arroz es un cultivo estacional que se restringe a los VReu aunque su distribución es de sólo 0.3%, mientras

Cuadro 2. Superficie y porcentajes de distribución de las subunidades de suelos identificadas.

Suelos	Símbolo	Superficie	
		Hectárea	%
Vertisoles éutricos	VReu	32 432	26.1
Plintosoles dístricos	PTdy	23 452	18.8
Acrisoles plínticos	ACpl	20 901	16.8
Acrisoles húmicos	ACHu	19 762	15.9
Acrisoles gléyicos	ACgl	9 494	7.6
Fluvisoles éutricos	FLeu	4 354	3.5
Gleysoles éutricos	GLeu	3 501	2.8
Acrisoles férricos	ACfr	3 426	2.8
Cambisoles vérticos	CMve	2 786	2.2
Gleysoles mólicos	GLmo	2 603	2.1
Cuerpos de agua	CA	1 691	1.4
Histosoles fibricos	HSfi	40	0.03
Cambisoles éutricos	CMeu	11	0.009
Total		124 451	100

que la caña de azúcar se observó en los ACgl, VReu y PTdy. El cacao se encuentra establecido en los VReu y ACgl debido a que son suelos de texturas arcillosas que permiten una mejor conservación de la humedad, sobre todo cuando se observa una sequía interestival en el área de estudio.

Variables Físicas y Químicas

Todos los sistemas de usos, que se estudiaron, registraron diferencias estadísticamente significativas en el contenido de arcillas, pH, MO y contenido de C, tanto en la profundidad de 0-15 cm como en la profundidad 15-30 cm (Cuadro 4). La acidez y la MO son los parámetros químicos que muestran una influencia directa importante en la biota del suelo y en el proceso de descomposición (Geissen y Morales, 2006).

La actividad humana es una de las principales causas de degradación química, física y biológica de los suelos, ya que supone tanto una disminución en la productividad, como cambios en las funciones ecológicas del suelo; tal es el caso de la MO, la cual tiene una clara afectación de su dinámica de acuerdo al uso del suelo (Trasar-Cepeda *et al.*, 2008).

En esta investigación los niveles de acidez variaron desde 4 hasta 5.9, los cultivos que toleran mayormente la acidez como es el caso de piña, cítricos y eucalipto se encontraron establecidos en suelos cuyas características químicas nativas por su origen genético tienen niveles de pH inferiores a 4.5, texturas gruesas y mayor porcentaje de CS, mientras que los suelos con pH superior a 4.9, con mayor porcentaje de arcilla y menor porcentaje de CS tenían establecido cultivos como cacao, caña de azúcar, arroz y pastos (Cuadro 4). En la profundidad de 0-15 cm, la MO varió de 5.0 a 12.3% y el CS de 30 a 71 g kg⁻¹, en la profundidad de 15-30 cm la variación de la MO fue de 3.1 a 9.4% y el CS de 18 a 54 g kg⁻¹. La cantidad de residuos orgánicos aportados por los sistemas, tuvo una afectación positiva sobre la cantidad de MO y de CS en el perfil, contrario a lo reportado por Delgado *et al.* (2006), quienes indican sucede sólo en la fracción del horizonte A y B. La piña aunque es un cultivo que no aporta hojarasca a diferencia de las plantaciones perennes, se renueva después de la cosecha (dos años después de la siembra), lo que provoca que los residuos postcosechas se integren al suelo y estos residuos se acumulen. Sin embargo, este tipo de materia orgánica es de lenta degradación (Alvarado *et al.*, 2005).

El porcentaje de arcillas condiciona la tasa de infiltración y la retención de humedad en los suelos; por tal razón, cultivos exigentes en el suministro de agua como es el caso del arroz, se tienen que establecer en suelos poco permeables como los VReu,

Cuadro 3. Distribución porcentual de la superficie de los usos de suelo según subunidades.

Uso actual	Acrisoles gléyicos	Acrisoles húmicos	Acrisoles plínticos	Plintosoles dístricos	Vertisoles éutricos
Arroz	-	-	-	-	3.0
Cacao	1.5	-	-	-	13.6
Caña	1.5	-	-	1.5	3.0
Cítricos	3.0	4.5	1.5	4.5	-
Forestal	-	-	-	7.6	-
Pasto	7.6	4.5	6.1	10.6	16.7
Piña	-	-	6.1	3.0	-
Total	13.6	9.1	13.6	27.3	36.4

- No hubo presencia.

Cuadro 4. Indicadores físicos y químicos de los suelos bajo diferentes sistemas de uso (los valores corresponden a las medias \pm desviaciones estándar).

Uso actual	Arcilla	Profundidad 0-15 cm			Profundidad 15-30 cm			n
		pH	MOS	C	pH	MOS	C	
	%		%	g kg ⁻¹		%	g kg ⁻¹	
Piña	23.7 \pm 4.9b [†]	4.4 \pm 0.3ab	12.3 \pm 7.1a	71 \pm 41a	4.2 \pm 0.3a	9.4 \pm 3.6a	54 \pm 21a	6
Cítricos	23.6 \pm 7.2b	4.0 \pm 0.5b	10.2 \pm 4.8a	59 \pm 28a	4.0 \pm 0.5a	8.4 \pm 4.4a	49 \pm 25a	9
Eucalipto	35.8 \pm 15.2a	4.2 \pm 0.2b	9.7 \pm 2.6a	56 \pm 15a	4.2 \pm 0.2a	8.1 \pm 3.2a	47 \pm 19a	5
Pasto	28.1 \pm 9.7a	4.9 \pm 0.8a	7.0 \pm 3.2a	40 \pm 19a	4.8 \pm 0.8ab	5.2 \pm 3.3ab	30 \pm 19ab	30
Arroz	42.2 \pm 5.3a	5.5 \pm 0.02a	6.6 \pm 3.67a	38 \pm 21a	6.0 \pm 0.5b	5.1 \pm 0.6ab	29 \pm 3ab	2
Caña	47.0 \pm 9.3a	5.9 \pm 0.3a	6.5 \pm 4.7a	38 \pm 27a	5.7 \pm 0.2b	4.5 \pm 0.4b	26 \pm 2b	4
Cacao	37.6 \pm 6.6a	5.0 \pm 0.5a	5.2 \pm 1.2b	30 \pm 7b	5.1 \pm 0.4ab	3.1 \pm 1.0b	18 \pm 6b	10

[†] Las medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$). n = número de observaciones; MOS = materia orgánica del suelo; C = carbono.

particularmente aquellos ubicados en las zonas bajas. Esa es la razón por la que no obstante que el ciclaje de MO proveniente del este cultivo es menor que el registrado en los cacaotales o caña de azúcar, el aporte de MO que se deposita durante las inundaciones recurrentes en estos suelos, se manifiesta en mayores contenidos de MO con relación a otros suelos de sistemas de usos diferentes como los citados anteriormente. En consecuencia, los arrozales registran en la capa de 0-15 cm, contenidos de CS de 38 g kg⁻¹ superior a los registrados en otros sistemas de uso también establecidos sobre VReu. Palma *et al.* (2007) puntualizaron que en el estado de Tabasco los PTdy anteriormente fueron utilizados para el cultivo de arroz y, estos se dejaron de usar para ese cultivo debido a su baja permeabilidad.

Al igual que los cultivos de caña de azúcar y el arroz, los suelos destinados al cultivo de cacao también deben de conservar adecuadamente la humedad y con pH cercano a la neutralidad (Ramos-Reyes, 2004), por esto los cacaotales se establecen en la parte centro-norte del distrito que es donde se ubican los VReu y ACgl, donde se encuentran condiciones mínimas para el cultivo del cacao, tales como buena retención de humedad, medianas condiciones de drenaje interno, pH ácido moderado para el cultivo (5.1-5.3 \pm 0.6), adecuados contenidos de MO (5.1-7.4 %) y una topografía con pendientes menores al 15% (Vera *et al.*, 2000). Estos autores observaron que este cultivo crecía en suelos con pH ligeramente ácidos, como los que se registran en los VReu y ACgl. Como se señala en el Cuadro 4, hay sistemas de usos, como el cacao, que a pesar de aportar importantes cantidades de MO al suelo provenientes

de la hojarasca de los árboles, presentan valores de MO y de CS inferiores a otros sistemas como el pastizal o el arroz. Dicho sistema se establece principalmente en VReu y, tal como se muestra en la Cuadro 5, los VReu son los que presentaron menor porcentaje de MO y CS. Estos suelos, junto con los ACgl presentaron el porcentaje más elevado de arcilla y pH. El análisis de correlación indicó que a pH bajos hay una acumulación de MO (-0.334; $P \leq 0.006^{**}$) y, mayor CS (-0.306; $P \leq 0.012^*$) respectivamente. Los suelos que mayor acidez presentaron fueron los usados en cítricos y eucalipto, mismos sistemas que registraron la mayor acumulación de MO. Esto se ha definido como una relación integrada bidireccional, ya que mientras en una dirección, la MO afecta la reacción del pH debido a los diversos grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos aportados a los suelos (Martínez *et al.*, 2008); en sentido inverso, el pH es un factor importante para mantener la capacidad degradativa del suelo debido a que el pH afecta las poblaciones microbianas responsables de la descomposición de compuestos que le sirven como fuentes de carbono (Singh *et al.*, 2003).

Los contenidos de MO y C en suelos arcillosos son mayores que en arenosos, debido a la mayor protección física para la MO (Van Veen y Kuikman, 1990). La protección ocurre cuando la MO es adsorbida sobre las partículas de arcillas o los limos o cuando es incrustada o recubierta por los minerales de tamaño arcilla (Tisdall y Oades, 1982), o cuando la MO se encuentra fuera del alcance los microorganismos al estar dentro de los agregados del suelo (Sánchez-Hernández *et al.*, 2006). No obstante, los resultados de esta investigación

Cuadro 5. Indicadores físicos y químicos de las subunidades de suelo identificadas (los valores corresponden a las medias \pm desviaciones estándar).

Uso actual	Arcilla	Profundidad 0-15 cm			Profundidad 15-30 cm			n
		pH	MO	C	pH	MO	C	
	%		%	g kg ⁻¹		%	g kg ⁻¹	
Acrisoles plínticos	25.3 \pm 4.5b [†]	4.5 \pm 0.5b	11.8 \pm 5.8a	6.8 \pm 3.4a	4.4 \pm 0.5b	9.0 \pm 3.2a	5.2 \pm 1.9b	9
Plintosoles dístricos	26.3 \pm 11.6b	4.3 \pm 0.6c	10.0 \pm 3.8a	5.8 \pm 2.2a	4.2 \pm 0.5b	8.5 \pm 4.1ab	4.9 \pm 2.4b	17
Acrisoles gléyicos	39.1 \pm 13.5a	5.2 \pm 0.7ab	7.4 \pm 4.2ab	4.3 \pm 2.4ab	5.1 \pm 0.6ab	4.6 \pm 3.1b	2.7 \pm 1.8a	9
Acrisoles húmicos	33.4 \pm 7.0b	4.1 \pm 0.5c	6.7 \pm 1.8ab	3.9 \pm 1.0ab	4.1 \pm 0.6b	4.6 \pm 1.2b	2.7 \pm 0.7a	6
Vertisoles éútricos	38.6 \pm 6.2a	5.2 \pm 0.6a	5.1 \pm 1.5b	2.9 \pm 0.9b	5.3 \pm 0.7a	3.5 \pm 1.1b	2.1 \pm 0.6b	25

[†] Las medias con letras diferentes son estadísticamente diferentes (Tukey $P \leq 0.05$). n = número de observaciones; MO = materia orgánica del suelo; C = carbono.

sugieren que los suelos con mayor contenido de arcillas tienen menor contenido de MO y C. Matus y Maire (2000) indican que la acumulación de la MO depende de la tasa de mineralización y, la tasa de mineralización del C y N está estrechamente relacionada con el grado de saturación de C en las partículas de arcillas y limo, así como del contenido de C del suelo, más que del contenido de arcillas o del contenido de MO; es decir, la acumulación de la MO depende del equilibrio entre lo que entra al suelo y lo que se mineraliza y, la mineralización depende también de la calidad del material orgánico aportado al suelo. Asimismo, el C del suelo depende de la cantidad y calidad de residuos que regresan al suelo y no a su distribución en el suelo (Espinoza *et al.*, 2007). Además, los suelos difieren en su acidez, composición de MO, composición mineralógica de sus arcillas y características del complejo intercambiable, como resultado de la diversidad del uso del suelo y funciones ecológicas; de tal forma, que la diversidad de los suelos de áreas montañosas, tropicales, están reguladas por la gran variedad de materiales parentales y la edad de las superficies expuestas (Krasilnikov *et al.*, 2007).

CONCLUSIONES

Los sistemas de uso de suelo más frecuente en el Distrito de Temporal Tecnificado 002 Zanapa-Tonalá fueron los pastizales, seguido de plantaciones de eucalipto, cacao y cítricos, así como áreas reducidas cultivadas con piña y arroz. Los suelos que cubren la mayor porción territorial del distrito fueron los Vertisoles éútricos (VReu), Plintosoles dístricos (PTdy), Acrisoles plínticos (ACpl), Acrisoles húmicos (AChu) y Acrisoles gleyicos (ACgl), suelos que difieren en el origen genético de su material parental, edad y exposición al medio

ambiente, dichas características junto con el aporte de residuos orgánicos característico de los sistemas de uso del suelo, regulan la acumulación de la materia orgánica del suelo (MO) y del carbono del suelo (CS). Los sistemas de uso que mayor cantidad de MO y CS acumularon fueron piña, cítricos, eucalipto y pasto; los que menor cantidad acumularon fueron arroz, caña de azúcar y cacao. Los sistemas que más MO y CS acumularon se encuentran establecidos en PTdy y ACpl, dichos suelos se caracterizan por presentar niveles de acidez que promueve estrechamente la descomposición de la MO. Los VReu y ACgl se caracterizan por un alto porcentaje de arcilla y acidez que oscila en un valor de 5, condiciones que facilitan la degradación de la MO y no permite la acumulación de carbono en el perfil.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el soporte financiero otorgado a esta investigación; asimismo a los laboratorios de suelos del CICA de la DACA de la UJAT, del COLPOS y del ECOSUR por las facilidades e instrumental con que apoyaron a la misma.

LITERATURA CITADA

- Alvarado-Aguilar, P., K. Quesada-Solis, R. Sibaja-Balleteros y J. R. Vega-Baudrit. 2005. Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comosus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. Rev. Iberoam. Polímeros 6: 157-179.
- Bouyoucos, G. J. 1927. The hydrometer as a new method for the mechanical analysis of soils. Soil Sci. 23: 343-354.
- Delgado, S., F. Alliaume, F. García Préchac y J. Hernández. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus sp.* sobre el recurso suelo en Uruguay. Agrociencia 10: 95-107.

- Espinoza, Y., Z. Lozano y L. Velásquez. 2007. Efecto de la rotación de cultivos y prácticas de labranza sobre las fracciones de la materia orgánica del suelo. *Interciencia* 32: 554-559.
- Etchevers, J. D., C. Prat, C. Balbontín, M. Bravo, and M. Martínez. 2006. Influence land use on carbon sequestration and erosion in Mexico: A review. *Agron. Sustain. Dev.* 26: 21-28.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen para adaptarlas a la república mexicana. UNAM. México, D. F.
- Geissen, V. and G. Morales Guzmán. 2006. Fertility of tropical soils under different land use systems-a case of study of soils in Tabasco, México. *Appl. Soil Ecol.* 31: 169-178.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. R. K. Pachauri y A. Reisinger (eds.) IPCC, Ginebra, Suiza.
- IUSS Working Group WRB. 2006. Word reference base for soil resources 2006. World Soil Resource Reports No. 13. FAO, Rome, Italy.
- Krasilnikov, P., N. E. García C., and M del S. Galicia P. 2007. Soil developed on different parent materials. *Terra Latinoamericana* 25: 335-344.
- Luis-Mejía, S., A. Gómez-Guerrero, J. D. Etchevers-Barra, G. Ángeles-Pérez, M. A. López-López y W. R. Horwath. 2007. Acumulación de carbono orgánico en el suelo en reforestaciones de *Pinus michiocana*. *Agrociencia* 41: 711-721.
- Marschner, H. 1991. Mechanisms of adaptation of plants to acid soil. *Plant Soil* 134: 1-20.
- Martínez H., E., J. P. Fuentes E. y E. Acevedo H. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 8: 68-96.
- Matus, F. J. y C. R. Maire G. 2000. Relación entre la materia orgánica y textura del suelo y tasas de mineralización de carbono y nitrógeno. *Agric. Téc.* 60: 112-126.
- Moraes, J. L., F. Seiler, C. C. Cerri, and B. Volkoff. 1998. Land cover mapping and carbon pools estimates in Rondonia, Brazil. *Int. J. Remote Sensing* 19: 921-934.
- Neill, C., C. C. Cerri, J. M. Melillo, B. J. Feigl, P. A. Steudler, F. L. Moraes, and M. C. Piccolo. 1998. Stocks and dynamics of soil carbon following deforestation for pasture in Rondonia. pp. 9-28. *In: R. Lal, J. M. Kimble, R. F. Follet, and B. A. Stewart (eds.) Soil processes and the carbon cycle. Adv. Soil Sci. CRC. Boca Raton, FL, USA.*
- Osuna C., F. J., L. Hernández A., J. Salcedo A., L. Tavitas F. y L. J. Gutiérrez D. 2000. Manual de producción de arroz en la región central de México. SAGAR, INIFAP, CIRCE. Campo experimental Zacatepec. Zacatepec, Morelos, México.
- Palm, Ch., P. Sanchez, S. Ahamed, and A. Awiti. 2007. Soils: A contemporary perspective. *Ann. Rev. Environ. Resour.* 32: 99-129.
- Palma-López, D. J. y A. Triano-Sánchez. 2007. Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco. Vol. II. Colegio de Postgraduados-ISPOTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Palma-López, D. J., J. Cisneros D., E. Moreno C., y J. A. Rincón-Ramírez. 2007. Suelos de Tabasco: su uso y manejo sustentable. Colegio de Postgraduados-ISPOTAB-FUPROTAB. Villahermosa, Tabasco, México.
- Ramos-Reyes, R., D. J. Palma-López, C. A. Ortiz-Solorio, C. F. Ortiz-García y G. Díaz-Padilla. 2004. Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. *Terra Latinoamericana* 22: 267-278.
- Sánchez, P. A., C. A. Palma, and S. W. Buol. 2003. Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114: 157-185.
- Sánchez-Hernández, R., V. M. Ordaz-Chaparro, G. S. Benedicto-Valdés, C. I. Hidalgo-Moreno y D. J. Palma-López. 2006. Regeneración estructural de un suelo arcilloso por aportes de vermicompost en la Chontalpa, Tabasco, México. *Univ. Ciencia* 22: 13-26.
- SAS Institute. 1999. User's Guide: Statistics. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- Saxton, K. E., W. J. Rawls, J. S. Romberger, and R. I. Papendick. 1986. Estimating generalized soil water characteristics from texture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50: 1031-1036.
- Singh, B. K., A. Walker, J. A. W. Morgan, and D. J. Wright. 2003. Effect of soil pH on the biodegradation of Chlorpyrifos and isolation of a Chlorpyrifos-Degrading bacterium. *Applied Environ. Microbiol.* 69: 5198-5206.
- Smith, P. 2008. Soil organic carbon dynamics and land-use change. pp. 9-22. *In: A. K. Braimoh, P. L.G. Vlek (eds). Land use and soil resources. Springer. Berlin, Germany.*
- Tiessen, H., R. S. C. Menezes, I. H. Salcedo, and B. Wick. 2003. Organic matter transformations and soil fertility in a treed pasture in semiarid NE Brazil. *Plant Soil* 252: 195-205.
- Tisdall, J. M. and J. M. Oades. 1982. Organic matter and water stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33:141-163.
- Trasar-Cepeda, C., M. C. Leirós, and F. Gil-Sotres. 2008. Modification of biochemical properties by soil use. *R. C. Suelo Nutr. Veg.* 8: 53-60.
- Trumbore, S. E., E. A. Davidson, P. Barbosa de Camargo, D. C. Nepstad, and L. A. Martinelli. 1995. Belowground cycling of carbon in forest and pastures of Eastern Amazonia. *Global Biochem. Cycles* 9: 515-528.
- Van Veen, J. A. and P. J. Kuikman. 1990. Soil structural aspects of decomposition of organic matter by micro-organisms. *Biogeochemistry* 11: 213-233.
- Vera, M., H. Rosales y N. Ureña. 2000. Caracterización físico-química de algunos suelos cacaoteros de la zona sur del lago de Maracaibo, Venezuela. *Rev. Geog. Venez.* 41: 257-270.
- Vergara-Sánchez, M. A., J. D. Etchevers-Barra y J. Padilla-Cuevas. 2005. La fertilidad de los suelos de ladera de la sierra norte de Oaxaca, México. *Agrociencia* 39: 259-266.
- Walkley, A. and A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.