

TRANSECTO DE SUELOS EN TERRAZAS CON PLANTACIONES DE CÍTRICOS EN TABASCO

Transect on terraced soils with citrus groves in Tabasco

¹Joel Zavala Cruz, ^{1*}Sergio Salgado García, ²Álvaro Marín Aguilar, ¹David Jesús Palma López, ¹Mepivoseth Castelán Estrada, ³Rodimiro Ramos Reyes

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

²Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad en el Sureste, A.C. Reforma, Villahermosa, Tabasco.

³Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa, Tabasco.

Artículo científico recibido: 15 de marzo de 2013, **aceptado:** 10 de marzo de 2014

RESUMEN. Los estudios de suelos a escala media permiten generar información confiable para planificar el uso agropecuario. Como una alternativa para acelerar la cartografía semi-detallada de suelos, se analizó un transecto para conocer la distribución geográfica, la relación con el relieve y sus características físicas y químicas. Con base en la geomorfología de un área de 71 895.5 ha en Huimanguillo, Tabasco, y considerando la pendiente, altitud y uso cítrico, se describieron ocho perfiles en un transecto de 32 km de longitud, complementando con 21 perfiles en diferentes relieves. La clasificación y caracterización se fundamentaron en la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo y la NOM-021-RECNAT 2000. Los suelos Acrisol y Cambisol fueron los grupos representativos, y se identificaron ocho subunidades que cubrían el 89.4 % de la superficie total. La posición baja de la terraza 1 (10-20 msnm) determinó el desarrollo de subunidades con problemas de drenaje interno como el Cambisol Ferrali-Gléyico en llanuras aluviales y valles, y el Acrisol Umbri-Gléyico en depresiones y cimas planas. La altura de la terraza 2 (20-60 msnm) y el relieve de lomeríos ligeros a moderadamente inclinados, propiciaron la formación de Acrisoles Hiperdistri-Férricos, Umbri-Plínticos, Humi-Úmbricos, Humi-Plínticos y Ferri-Úmbricos, bien drenados. Los suelos son profundos y pobres en bases intercambiables; pero los Acrisoles Umbri-Plínticos, Humi-Plínticos y Humi-Úmbricos, donde existe mayor superficie de cítricos, tienen un horizonte Ap más grueso, mayor contenido de materia orgánica y menor acidez, indicando un mejor estado de conservación.

Palabras clave: Acidez, clasificación, manejo, relieve, subunidades de suelo.

ABSTRACT. Soil studies at a medium scale make it possible to generate reliable information with which one may plan agricultural uses. As an alternative to speed up semi-detailed soil mapping, a transect was analysed to determine geographical distribution, relationship with topography, and physical and chemical characteristics. Based on the geomorphology of a 71 895.5 ha area in Huimanguillo, Tabasco, and considering the slope, altitude and citrus use, eight profiles along a 32 km transect were described, complemented by 21 profiles at different altitudes. The classification and characterisation were based on the World Reference Base for Soil Resources and the RECNAT-NOM-021 2000. Acrisol and Cambisol soils were the representative groups, and eight subunits covering 89.4 % of the total area were identified. The low position of terrace 1 (10-20 masl) determined the development of subunits with internal drainage problems, like a Ferralic-Gleyic Cambisol in floodplains and valleys and an Umbric-Gleyic Acrisol in depressions and flat tops. The altitude of terrace 2 (20-60 masl) and the relief of slightly to moderately sloping hills, favoured the formation of well drained Hiperdistric-Ferric, Umbric-Plinthic, Humic-Umbric, Humic-Plinthic and Ferric-Umbric Acrisols. The soils are deep and poor on interchangeable bases; but the Umbric-Plinthic, Humic-Plinthic and Humic-Umbric Acrisols, where there are more citrus groves, have a thicker Ap horizon, a greater organic matter content and less acidity, indicating a better condition.

Key words: Acidity, classification, management, relief, soil subunits.

INTRODUCCIÓN

A pesar de la vital importancia del recurso suelo para la producción agroalimentaria, existe una escasa generación de conocimiento, sobre todo en países en vías de desarrollo. En México los suelos se han estudiado a nivel de reconocimiento (escala 1: 250 000), destacando algunos realizados en la región sureste (INEGI 2001a, Bautista-Zúñiga y Palacio 2005, Palma-López *et al.* 2007). Estos estudios son útiles para el inventario general del recurso, para la selección de áreas aptas para usos mayores de la tierra y para la localización de grandes proyectos, pero su escala es pequeña (Ortiz-Solorio y Gutiérrez 1999, Porta y López-Acevedo 2005, Guerrero-Eufracio y Cruz-Gaistardo 2011). Por lo que, para recomendar programas de desarrollo agropecuario y forestal, se requieren estudios semidetallados de suelos (escala 1: 50 000) en regiones con posibilidades, los cuales demandan más tiempo y presupuesto para su ejecución (Ortiz-Solorio y Gutiérrez 1999, Porta *et al.* 2003, Porta y López-Acevedo 2005).

Aunado a lo anterior, los sistemas de clasificación han evolucionado y, actualmente, los usados en México son obsoletos o se desconoce la metodología, lo cual demanda su actualización para facilitar la toma de decisiones por los agricultores y otros usuarios (Martínez-Villegas 2007, Guerrero-Eufracio y Cruz-Gaistardo 2011). A partir de 1999, para clasificar los suelos se ha adoptado la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB, por sus siglas en inglés) (FAO *et al.* 1999), debido a que se sustenta en propiedades definidas por horizontes de diagnóstico y características que tienen en cuenta los procesos formadores, facilita la comunicación a nivel internacional, apoya la identificación de grupos y subunidades, considera rasgos importantes para el uso y manejo, y la nomenclatura usa términos fáciles para el lenguaje común (Porta y López-Acevedo 2005).

El escaso conocimiento del recurso suelo, aunado al manejo inadecuado, cambio de uso del suelo y labranza postcosecha, ha derivado en problemas de degradación edáfica y del ambiente, lo cual trae como consecuencia una disminución de su pro-

ductividad biológica y la pérdida de biodiversidad (Ortiz-Solorio *et al.* 2011). En Tabasco, los suelos de terrazas, con pendiente de 2 a 10 %, presentan una degradación química (Ortiz-Solorio *et al.* 2011), erosión hídrica mediante túneles, pozos, cárcavas y remoción en masa (Geissen *et al.* 2008), y pérdida de suelo de 50 a 61.3 t ha⁻¹ año⁻¹ en pastizales y cultivos de cítricos (Palma-López *et al.* 2008), y de 18.1 t ha⁻¹ en cuatro meses en pastizales (Zavala-Cruz *et al.* 2012).

Una estrategia para disminuir costos y tiempo por trabajo de campo en estudios semidetallados, consiste en realizar perfiles de suelos en transectos, ya que los patrones del relieve proveen información acerca de la distribución de los suelos (Ortiz-Solorio y Gutiérrez 1999, Porta y López-Acevedo 2005, Chapman y Atkinson 2007), toda vez que el primero afecta el desarrollo pedogenético del segundo (Cajuste-Botemps y Gutiérrez 2011). El transecto es una secuencia de suelos que incluye varias topoformas, materiales parentales, climas, ecosistemas y el uso del suelo, a veces toma en cuenta el gradiente altitudinal, generalmente se hacen en escala grande y se utilizan en estudios edafogeofríficos (Krasilnikov 2011).

En Tabasco el análisis de secuencias de suelos relacionadas con su topografía o pendiente no es común, no obstante que la región de terrazas, que presenta una topografía ondulada con pendientes suaves a fuertes, ocupa el 23.7 % del área total (Palma-López *et al.* 2007). El conocimiento de los suelos asociados al relieve es de importancia para acelerar su cartografía a nivel semidetallada, generar bases de datos físicos y químicos, y actualizar la clasificación, para contar con información confiable que permita planificar el uso agropecuario, forestal y otras actividades humanas, con base en evaluaciones por capacidad agrológica y aptitud (Ortiz-Solorio y Gutiérrez 1999, Porta y López-Acevedo 2005, Sonter y Lawrie 2007, Chapman y Atkinson 2007), así como para mejorar su manejo y prevenir procesos de degradación (Palma-López *et al.* 2008). El objetivo fue identificar la distribución de los suelos a lo largo de un transecto, conocer la relación entre el relieve y las subunidades y caracterizarlos física y químicamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se localiza al centro del municipio de Huimanguillo, en el estado de Tabasco, en la zona de influencia de las plantaciones de cítricos. Las coordenadas geográficas son: 17° 35' 24 y 17° 52' 33 Norte, y 93° 26' 05 y 93° 46' 55 Oeste, ocupando una superficie de 71 895.5 ha. El clima cálido húmedo con lluvias todo el año [Af(m)], ubicado al sureste y sur, representa el 83 % de la superficie, y el resto, localizado al norte y noroeste, es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano [Am(f)]. La temperatura media anual es de 26 °C y la precipitación fluctúa entre 2 000 y 2 500 mm, con incremento de norte a sur (INEGI 2001a, Salgado et al. 2007). La región se sitúa en una terraza de lomeríos suaves formada por sedimentos del Terciario medio (Ortiz-Pérez et al. 2005). La hidrografía consiste de una densa red dendrítica de arroyos intermitentes, excepto el río Rosario, cuyo flujo sigue una dirección de sureste a noroeste, reconociendo a la Laguna del Rosario y el río Zanapa como niveles de base; estos descargan en el río Tonalá. El uso del suelo típico es pastizal cultivado, seguido de plantaciones de cítricos y piña, y vegetación secundaria generada por alteración de la selva alta perennifolia (INEGI 2001a).

Levantamiento de suelos

El levantamiento de suelos se hizo a nivel semidetallado a escala 1:50 000, considerando las etapas de precampo, campo y postcampo (Ortiz-Solorio y Gutiérrez 1999, Chapman y Atkinson 2007). El mapa de suelos y el transecto se diseñaron con un sistema de información geográfica en el Laboratorio de Cartografía y Geomática del Campus Tabasco del Colegio de Postgraduados, con el programa Arc Map del Arc Gis 9 (ESRI 2007).

Etapas de precampo

Se obtuvieron cartas topográficas (E15 C17, E15 C18, E15 C27 y E15 C28) a escala 1:50 000 (INEGI 1984a), modelos digitales de elevación y ortofotos digitales, cuya fuente son fotografías aéreas blanco y negro a escala 1:75 000 de las líneas 212

a la 215 (INEGI 1984b, INEGI 2001b). Se realizó un recorrido en el área de estudio para conocer los tipos de relieve con base en su forma, proceso geomorfológico, altitud, pendiente, tipo de roca, drenaje superficial y uso del suelo (Ortiz-Pérez et al. 2005, Zinck 2012). En gabinete los relieves se fotointerpretaron asociándolos a características de las ortofotos como tono, textura y forma, y se generó el mapa de unidades geomorfológicas que representa unidades potenciales o hipótesis de suelos (Chapman y Atkinson 2007). Tomando en cuenta la mayor variabilidad de relieves, pendiente, el desnivel topográfico de 10 a 60 msnm y la distribución geográfica de las plantaciones de cítricos, se seleccionó un transecto de 32 km de longitud con dirección Sur-sureste a Nor-noroeste para estudiar la mayor variabilidad de suelos a través de ocho perfiles, al menos uno por tipo de relieve, excepto en lomeríos donde se ubicaron cinco por ser la forma principal por superficie y extensión de cítricos (Figura 1 y Tabla 1). Otros 21 perfiles, cuatro en promedio por relieve, se localizaron en el resto del área de estudio, para complementar la descripción y muestreo en el campo.

Etapas de campo

Los sitios de muestreo se ubicaron con la ayuda de un sistema global de posicionamiento portátil (GPS) de 12 canales en paralelo marca GARMIN® Modelo 12 XL. En cada sitio se describió un perfil de suelo con cuatro horizontes en promedio, hasta una profundidad de 150 cm, registrándose las características de: a) sitio: drenaje superficial, relieve, pendiente, elevación, vegetación y uso del suelo, y b) morfológicas por horizonte observables o mensurables: profundidad, humedad, color, motas, textura, estructura, consistencia, poros, cutanes, nódulos, permeabilidad y drenaje del perfil (Cuanalo 1990, Schoeneberger et al. 2002). El color de la matriz del suelo y las motas se determinaron con la tabla de color de Munsell (2000). En cada horizonte se colectó 1.5 kg de suelo y se depositó en bolsas de polietileno; las muestras se etiquetaron y llevaron al laboratorio de suelos. El reconocimiento de la extensión geográfica de las subunidades de suelo se hizo en 35 barrena-

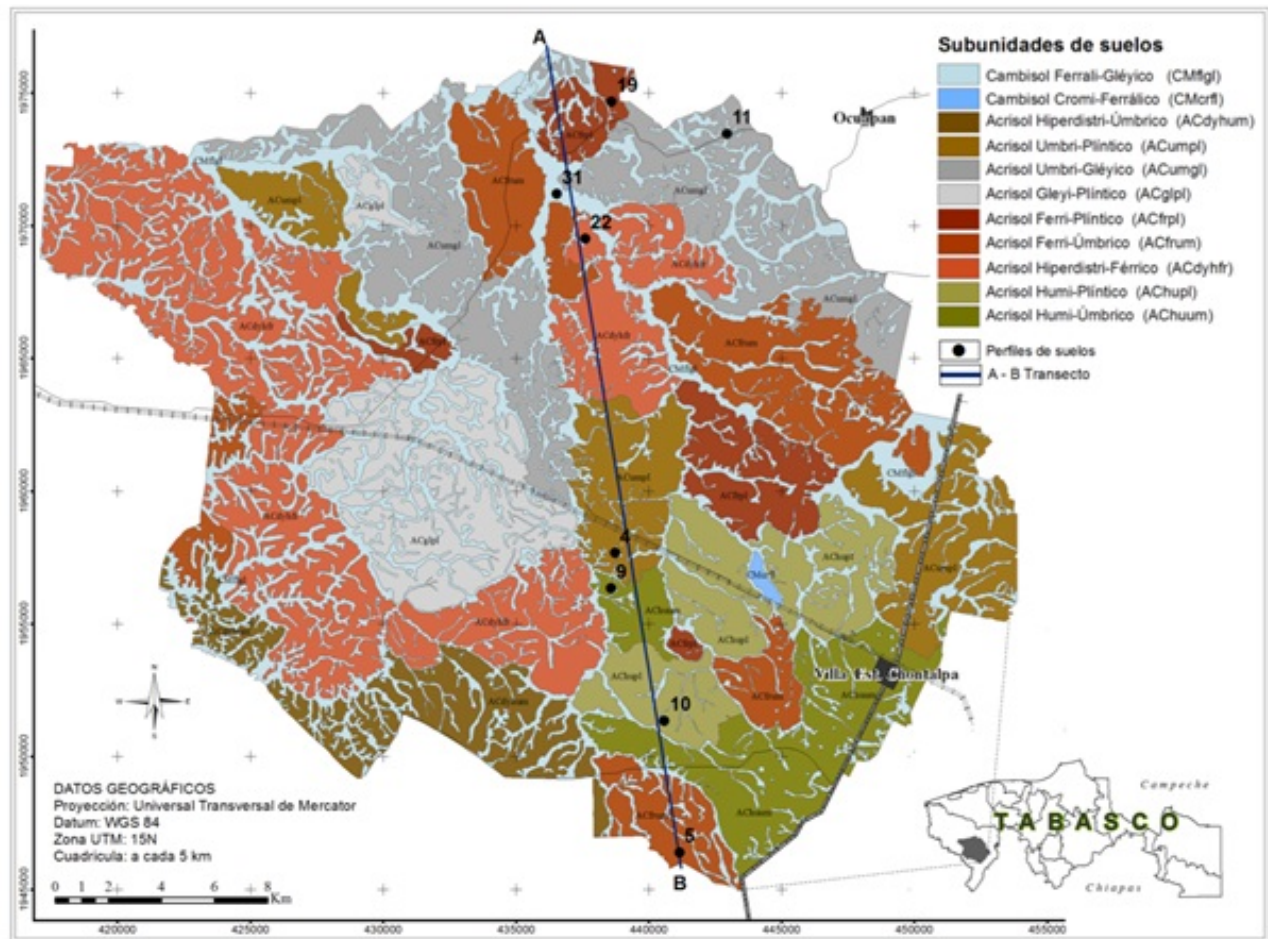


Figura 1. Suelos en la Terraza de Huimanguillo, Tabasco.

Figure 1. Soils on the Huimanguillo Terrace, Tabasco.

ciones (siete por tipo de relieve) con barrena tipo holandesa, hasta 1.2 m de profundidad, comparándose las características morfológicas (profundidad, color, textura) con las de perfiles descritos. La verificación de algunos linderos de acuerdo a la cartografía semidetallada tradicional, no fue necesaria ya que el objetivo del trabajo es el de relacionar las subunidades de suelos con los relieves, por lo que con la precisión obtenida se consideró suficiente para ello.

Etapa de postcampo

Los análisis de laboratorio se hicieron con base

en las especificaciones técnicas de muestreo y análisis de clasificación de suelos que marca la norma oficial mexicana (NOM-021-RECNAT 2000). Esta norma indica que se deben realizar las determinaciones siguientes: materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black, pH mediante potenciometría en agua (relación 1:2), pH medido en cloruro de potasio (relación 1:2.5), curva de retención de humedad por el método del plato y membrana de presión, textura por el método del hidrómetro de Bouyucos, conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación de un suelo por medición electrolítica (cationes y aniones solubles),

densidad aparente con el método de la parafina, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+) empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0 como solución extractante, fósforo (P) extractable por el procedimiento de Olsen, acidez y aluminio (Al) intercambiables por el procedimiento de cloruro de potasio. Conforme a la norma, estos análisis se hicieron a cada uno de los horizontes de suelos de cada perfil, por lo que no se manejan repeticiones de muestras y por lo tanto no hay posibilidad de realizar determinaciones de variabilidad o error. Las variables físicas y químicas se analizaron en el laboratorio de suelos, plantas y aguas (LASPA) del Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, el cual fundamenta la calidad de sus resultados en un sistema de gestión basado en las normas mexicanas NMX-EC-17025-IMNC-2006 y NMX-CC-9001-IMNC-2008.

Los grupos y subunidades de suelos se clasificaron utilizando la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (FAO *et al.* 1999). A partir del mapa de unidades geomorfológicas y su relación con las subunidades, se elaboró el mapa final de suelos a escala 1:50,000. La caracterización física y química se realizó con base en los valores de referencia que marca la NOM-021-RECNAT (2000).

RESULTADOS

Suelos de las terrazas de Huimanguillo

Las terrazas de Huimanguillo presentaron los grupos de suelos Acrisol y Cambisol, con una cobertura equivalente al 74 y 26 % del total del área de estudio, respectivamente. El Acrisol tuvo nueve subunidades y el Cambisol dos, destacando por cobertura Cambisol Ferrali-Gléyico (25.9 %), Acrisol Hiperdistri-Férrico (17.8 %), Acrisol Umbri-Gléyico (11.1 %) y Acrisol Ferri-Úmbrico (10.4 %). Por tipo de relieve las subunidades presentaron la siguiente distribución: a) Llanura aluvial, valle erosivo-acumulativo y depresión (26 %), los cuales se caracterizan por ser receptores de sedimentos fluviales por inundaciones, desarrollan las subunidades Cambisol Ferrali-Gléyico y Cromi-Ferrálico, en el

centro, norte y noroeste del área de estudio; b) Lomerío ligeramente inclinado (39.9 %), este relieve puede ser de forma plana con drenaje deficiente, donde se encuentran las subunidades Acrisol Gleyi-Plíntico y Acrisol Ferrali-Gléyico, y de forma convexa bien drenado, el cual se asoció con las subunidades Acrisol Hiperdistri-Férrico, Acrisol Umbri-Gléyico, Acrisol Ferri-Úmbrico y Acrisol Umbri-Plíntico, al centro y norte del área; y d) Lomerío ligera y moderadamente inclinado (34.1 %), de formas convexas y bien drenadas, las subunidades encontradas son Acrisol Hiperdistri-Férrico, Acrisol Humi-Úmbrico, Acrisol Humi-Plíntico y Acrisol Hiperdistri-Úmbrico, en el sur del área de estudio (Figura 1).

Relación de suelos y unidades geomorfológicas

En el transecto se observaron dos terrazas asociadas a los grupos Acrisol y Cambisol, con siete y una subunidad, respectivamente (Figuras 1 y 2). La terraza 1 se ubica al norte del área de estudio, en la zona más baja (10 a 20 msnm) con relieve de llanuras aluviales y lomeríos ligeramente convexos a cóncavos receptores del drenaje superficial de la terraza 2. Las pendientes son casi planas (1 a 2 %), por lo que se presentan subunidades pobremente drenadas como el Acrisol Umbri-Gléyico en lomeríos y el Cambisol Ferrali-Gléyico en llanuras y depresiones. Algunas áreas con relieve ligeramente convexo y pendiente menor a 3 % tienen buen drenaje superficial, favoreciendo el desarrollo del Acrisol Ferri-Plíntico (Figura 2).

La terraza 2, situada en la zona intermedia y sur del transecto, tiene un relieve de lomerío ligera a moderadamente inclinado y valles erosivo-acumulativos, la altitud y pendiente varían entre 20 y 60 msnm y, 2 y 6 %, respectivamente. Los suelos tienen buen drenaje interno, Acrisol Hiperdistri-Férrico se sitúa en lomeríos ligeramente inclinados y Acrisol Umbri-Plíntico en cimas casi planas. Ambos suelos muestran alta lixiviación de bases intercambiables, pero el segundo destaca por la acumulación de MO en el horizonte superficial (6.4 %), producto de la baja intensidad de la erosión.

Table 1. Continuación.
Table 1. Continued.

Suelo	Horizonte	Profundidad (cm)	Da t m ⁻³	pH	H ₂ O				K	Na	Ca	Mg	CIC	SBI	PSB	Ar- cilla	Limo	Arena	Clasificación Textural
					rel 1:2	CE dS m ⁻¹	MO %	P mg kg ⁻¹											
AChuum (9)	Ap	0-69	1.1	6.2	0.03	4.1	2.2	0.52	0.03	8.05	0.53	8.4	9.1	109	21	17	62	Migajón arcillo arenoso	
	Bt1	69-92	1.4	5.0	0.03	1.7	3.1	0.04	0.04	1.63	0.19	4.4	1.9	42	27	8	65	Migajón arcillo arenoso	
	Bt2	92-149	1.5	4.9	0.03	0.7	2.5	0.03	0.02	1.22	0.13	2.5	1.4	56	27	6	67	Migajón arcillo arenoso	
AChupl (10)	C	149-170	-	4.6	0.04	0.7	0.6	0.05	0.03	2.00	0.27	2.5	2.3	95	39	10	51	Arcillo arenoso	
	Ap	0-43	0.8	6.0	0.05	9.5	1.1	0.07	0.06	11.94	0.86	13.8	12.9	93	17	19	64	Migajón arenoso	
	Bt1	43-60	1.0	4.7	0.03	2.7	0.6	0.02	0.03	0.27	0.02	4.9	0.3	6.9	25	18	57	Migajón arcillo arenoso	
ACfrum (5)	Bt2	60-97	1.5	4.7	0.02	1.3	NSD	0.02	0.02	0.52	0.08	3.3	0.6	19.6	37	12	51	Arcillo arenoso	
	C	97-155	-	4.8	0.01	0.5	NSD	0.02	0.02	0.45	0.04	4.4	0.5	12.0	43	14	43	Arcilla	
	Ap	0-17	1.3	5.3	0.03	7.1	2.2	0.10	0.05	5.59	0.22	10.4	6.0	57.5	17	17	66	Migajón limoso	
ACfrum (5)	Al	17-47	1.4	4.7	0.02	3.0	0.3	0.02	0.02	0.26	0.02	5.9	0.3	5.4	25	11	64	Migajón limoso	
	Bt1	47-75	1.2	4.5	0.02	0.9	0.6	0.02	0.01	0.30	0.02	3.3	0.3	10.5	31	12	57	Migajón arcillo arenoso	
	Bt2	75-120	-	4.6	0.02	0.2	NSD	0.01	0.00	0.42	0.08	3.0	0.5	17.7	35	10	55	Arcillo arenoso	
C	120-155	-	4.6	0.02	NSD	NSD	NSD	0.02	0.02	0.45	0.04	3.9	0.5	13.5	37	11	52	Arcillo arenoso	

Al sur de esta terraza domina el relieve de lomeríos ligeros a moderadamente inclinados, presenta los suelos mejor drenados del transecto, caracterizados por la lixiviación de bases intercambiables y horizontes superficiales profundos (43 a 69 cm), ricos en MO (4.1 a 9.5 %) como el Acrisol Humi-Úmbrico, el Acrisol Humi-Plíntico y el Acrisol Ferri-Úmbrico. En los estrechos valles erosivo-acumulativos formados por ríos y arroyos, se encuentran los Acrisoles Ferrali-Gléyicos, caracterizados por su mal drenaje interno (Figura 2).

Caracterización física y química de las sub-unidades

Acrisol Umbri-Gléyico. Propiedades físicas: Horizonte Bt en el que predominan las tonalidades de colores pardo (fuertes, amarillentos y grisáceos) y amarillo, así como propiedades gléyicas (colores grisáceos debidos al exceso de humedad) en el horizonte Bt3g de color gris (5Y6/2) entre 74-113 cm de profundidad, debido a la saturación por manto freático durante la época de lluvias (Figura 3a y Tabla 1). La permeabilidad interna disminuye con la profundidad, desde rápida, asociada con la textura migajón arenosa en el horizonte Ap, hasta muy lenta en el horizonte Bt debido al incremento del contenido de arcilla, y donde la textura es migajón arcillo arenosa.

Propiedades químicas: Los horizontes Ap y Bt difieren por los contenidos altos a bajos de MO (5.6 a 0.7 %), altos a bajos en P (14.4 a < 2 mg kg⁻¹) y bajos a muy bajos en CIC (6.9 a < 3 Cmol (+) kg⁻¹). El perfil muestra un pH fuertemente ácido (< 4.8) así como bajo contenido de bases intercambiables (Tabla 1).

Acrisol Ferri-Plíntico Propiedades físicas: Horizonte plíntico (moderadamente endurecido) con características férricas, reflejadas en moteados de color rojo y nódulos de Fe (Figura 3b). La permeabilidad interna disminuye con la profundidad, desde rápida hasta muy lenta, asociada a la textura migajón arcillo arenosa en el horizonte A y arcillosa en el Bt. Propiedades químicas: Horizontes Ap y Bt que difieren al presentar contenidos medios a muy bajos en MO (2.8 a < 0.5 %), altos a bajos

en P (174.5 a < 1 mg kg⁻¹), bajos a muy bajos en CIC (6.9 a < 3 Cmol (+) kg⁻¹) y el pH varía de neutro a fuertemente ácido (6.6 a < 4.6). Las bases intercambiables son muy bajas, excepto en Ca que presenta valores altos en el horizonte Ap (Tabla 1).

Cambisol Ferrali-Gléyico. Propiedades físicas: Textura arcillo arenosa en todo el perfil, con buena permeabilidad. Presenta manto freático elevado, que le confiere propiedades gléyicas debido a las condiciones reductoras que generan propiedades reductimórficas, mostrando un patrón de color gléyico en los horizontes Bw1g y Bw2g ubicados entre 41 y 103 cm de profundidad, en el que predominan tonalidades grises 10YR6/1 (Figura 3c y Tabla 1).

Propiedades químicas: Los horizontes Ap y Bw contrastan al presentar contenidos medios a muy bajos en MO (3.3 a < 0.4 %), altos a muy bajos en P (14.5 a < 1 mg kg⁻¹) y bajos a muy bajos en CIC (9.1 a < 4.8 Cmol (+) kg⁻¹) y bases intercambiables. El pH es moderadamente ácido en todo el perfil (Tabla 1).

Acrisol Hiperdistri-Férrico. Propiedades físicas: En la matriz del horizonte Bt, predominan colores rojos, pardos fuertes y rojos amarillentos, presentándose también una segregación de Fe que origina grandes moteados rojos y formación de nódulos (Figura 3d). Se observa una pobre agregación de las partículas del suelo que propician la compactación del horizonte con propiedades férricas, dando origen a una permeabilidad lenta; esta se acentúa debido a que la textura del perfil varía de migajón arcillo arenoso a migajón arcilloso. Propiedades químicas: Horizontes Ap y Bt que difieren por presentar contenidos medios a muy bajos en MO (2.5 a 0.1 %) y altos a bajos en P (27.4 a < 1.9 mg kg⁻¹). El perfil muestra los niveles más bajos de bases intercambiables y de CIC (< 4 Cmol (+) kg⁻¹) entre los suelos del transecto y el pH es muy ácido (< 4.9), por ello tienen el calificador hiperdistrico (Tabla 1).

Acrisol Umbri-Plíntico. Propiedades físicas: Horizonte superficial úmbrico (oscuro, ácido y

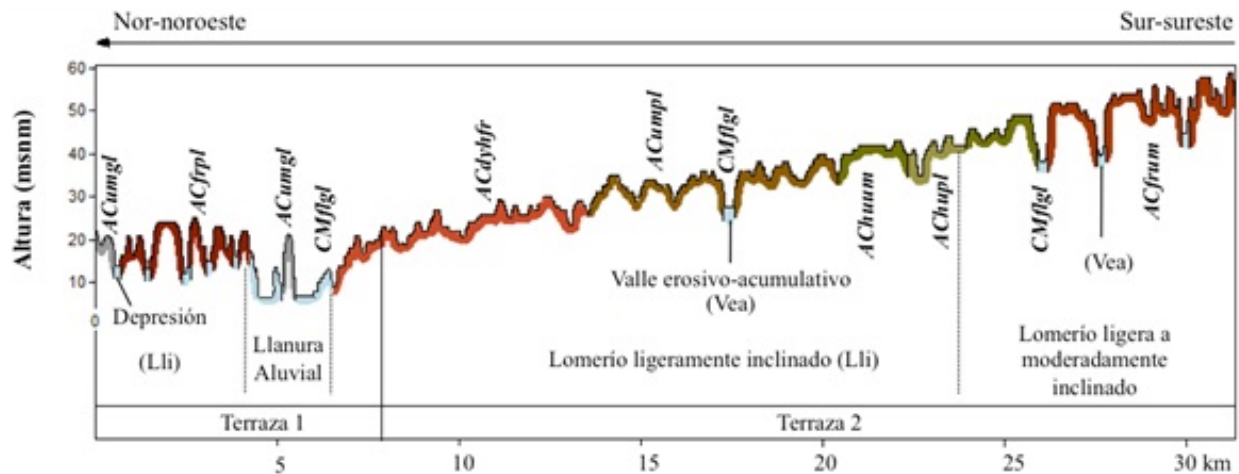


Figure 2. Transecto de suelos en la Terraza de Huimanguillo, Tabasco.

Figure 2. Transect of soils on the Huimanguillo Terrace, Tabasco.

con altos contenidos de MO) y subsuperficial plíntico con moteados rojos, generalmente en patrones reticulados, a partir de los 69 cm de profundidad. En el resto del horizonte B predominan los colores pardos y amarillos. El horizonte Cg a 109 cm de profundidad tiene propiedades gléyicas que son evidentes por el color gris claro (10YR7/2) (Figura 3e). Las texturas migajón limoso y arcillo arenoso controlan la permeabilidad muy rápida en la superficie y lenta en las partes más bajas del perfil.

Propiedades químicas: Horizontes Ap y Bt que contrastan por presentar contenidos muy altos a muy bajos en MO (6.4 a < 0.3 %), altos a bajos en P (13.8 a < 1 mg kg⁻¹) y bajos a muy bajos en CIC (6.9 a < 3 Cmol (+) kg⁻¹). El perfil registra pH muy ácido (< 4.8) y niveles muy bajos de bases intercambiables (Tabla 1).

Acrisol Humi-Úmbrico. Propiedades físicas: Horizonte superficial úmbrico y húmico, profundo (69 cm), de color negro; horizonte subyacente Bt en el que predominan los colores rojo a amarillo parduzco (Figura 3f). La textura es migajón arcillo arenosa y la permeabilidad interna disminuye con la profundidad, desde muy rápida hasta lenta en las partes más bajas del perfil.

Propiedades químicas: Horizontes Ap y Bt

que difieren por los contenidos altos a bajos de MO (4.1 a < 0.7 %), bajos a muy bajos en CIC (8.4 a < 4.4 Cmol (+) kg⁻¹) y medios a muy bajos de bases intercambiables; el pH varía de moderadamente ácido a fuertemente ácido (6.2 a < 5). El perfil muestra contenidos bajos de P (< 3.1 mg kg⁻¹) (Tabla 1).

Acrisol Humi-Plíntico. Propiedades físicas: Horizonte superficial húmico con altos contenidos de MO y subsuperficial plíntico con moteados rojos, en patrones reticulados, a partir de los 97 cm de profundidad (Figura 3g). La textura varía de migajón arenosa a arcillosa, por lo que la permeabilidad interna disminuye con la profundidad, de rápida hasta muy lenta; horizonte Bt en el que predominan colores pardo oscuro a pardo amarillento.

Propiedades químicas: Horizontes Ap y Bt que difieren al presentar contenidos muy altos a bajos en MO (9.5 a 1.3 %) y bajos a muy bajos en CIC (13.8 a < 4.4 Cmol (+) kg⁻¹). Los niveles de bases intercambiables son muy bajos en K, altos a muy bajos en Ca y bajos a muy bajos en Mg. El pH varía de moderadamente ácido a ácido (6 a < 4.8) y todo el perfil muestra bajo contenido de P (< 1.1 mg kg⁻¹) (Tabla 1).

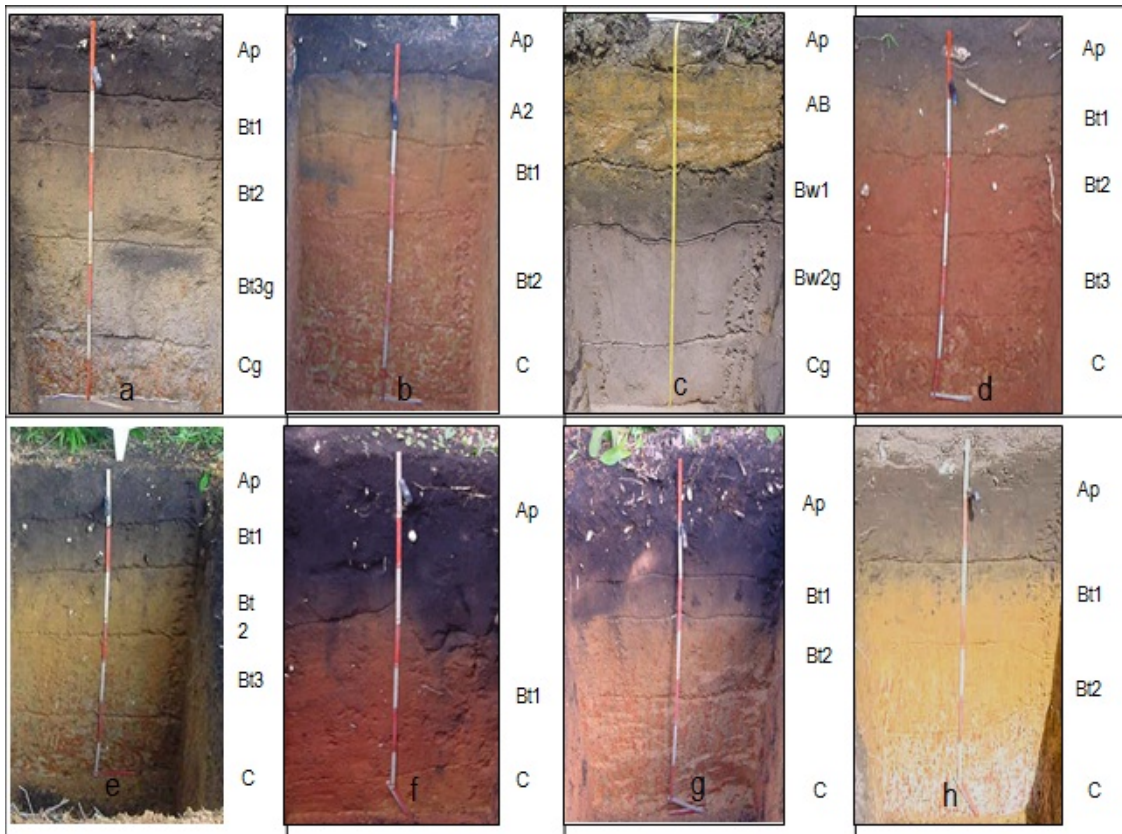


Figure 3. Perfiles de suelos en la Terraza de Huimanguillo, Tabasco. a) Acrisol Umbrí-Gléyico (ACumgl), b) Acrisol Ferri-Plíntico (ACfrpl), c) Cambisol Ferrali-Gléyico (CMflgl), d) Acrisol Hiperdistri-Férrico (ACdyhfr), e) Acrisol Umbrí-Plíntico (ACumpl), f) Acrisol Humi-Umbrico (ACHuum), g) Acrisol Humi-Plíntico (ACHupl) y h) Acrisol Ferri-Úmbrico (ACfrum).

Figure 3. Profiles of soils on the terrace of Huimanguillo, Tabasco. a) Umbric-Gleyic Acrisol (ACumgl), b) Ferric-Plinthic Acrisol (ACfrpl), c) Ferralic-Gleyic Cambisol (CMflgl), d) Hiperdistric-Ferric Acrisol (ACdyhfr), e) Umbric-Plinthic Acrisol (ACumpl), f) Humic-Umbric Acrisol (ACHuum), g) Humic-Plinthic Acrisol (ACHupl) and h) Ferric-Umbric Acrisol (ACfrum).

Acrisol Ferri-Úmbrico. Propiedades físicas: Horizonte superficial úmbrico de 46 cm de espesor y color pardo muy oscuro; moteados rojos y concreciones de Fe en el horizonte Bt que caracterizan al calificador férrico; colores pardo fuerte a amarillo parduzco (Figura 3h). La textura migajón limosa a arcillo arenosa provoca que la permeabilidad interna disminuya con la profundidad, desde rápida hasta muy lenta en las partes más bajas del perfil.

Propiedades químicas: Horizontes Ap y Bt que difieren al presentar contenidos muy altos a muy bajos en MO (7.1 a < 0.2 %), bajos a muy bajos en CIC (10.4 a < 3.9 Cmol (+) kg⁻¹). Las bases intercambiables son muy bajas, excepto en Ca que muestra niveles medios a muy bajos. El pH

varía de moderadamente ácido a fuertemente ácido (5.3 a < 4.7) y todo el perfil tiene contenidos bajos de P (< 2.2 mg kg⁻¹) (Tabla 1).

DISCUSIÓN

El registró de dos grupos de suelos Acrisol y Cambisol, y 11 subunidades donde están establecidas las plantaciones de cítricos, indican gran variabilidad en una superficie pequeña (2.9 %) del estado de Tabasco. En la misma área, los grupos son similares a los reportados por INEGI (2001a) y Palma-López *et al.* (2007), pero a nivel de subunidades el primer autor presenta dos asociaciones, y el segundo dos unidades y dos asociaciones. El

mayor número de unidades en este estudio se explica por la escala del mapa semidetallado basado en la fotointerpretación de mesorelieves, descripción y clasificación de más perfiles (29) y barrenaciones, acorde al procedimiento recomendado de teledetección combinado con prospección de campo (Ortiz-Solorio y Gutiérrez 1999, Porta y López-Acevedo 2005). En contraste, en la cartografía a escala pequeña de INEGI (2001a) y Palma-López *et al.* (2007), los linderos de las subunidades se basan en fotointerpretación de macrorelieves para determinar patrones de suelos con escasa verificación de campo (Ortiz-Solorio y Gutiérrez 1999, Porta y López-Acevedo 2005). Además, en el presente estudio se encontraron más subunidades de Acrisoles con calificadores Gléyico, Hiperdístico, Férrico, Úmbrico y Húmico (49.9 %), y menos con calificador Plíntico (24.4 %); contrariamente a las reportadas por INEGI (2001a) y Palma-López *et al.* (2007), que muestran mayor superficie de Cambisol Éutrico+Acrisol Plíntico y Acrisol Plíntico, respectivamente. La nueva nomenclatura de subunidades es resultado de la actualización de la clasificación de más perfiles de suelos con base en FAO *et al.* (1999).

El transecto Sur-sureste a Nor-noroeste permitió registrar los dos grupos de suelos (Acrisol y Cambisol) y la mayor diversidad de subunidades en la terraza de Huimanguillo. En una superficie pequeña se captaron ocho subunidades que representan el 72.7 % del total y el 89.4 % de la superficie de la terraza. Estos resultados indican que la selección del transecto a partir del mapa de tipos de relieve, desnivel altitudinal, diferenciación de terrazas, uso del suelo y su orientación, fue representativo, y contribuyó a captar la riqueza de suelos, confirmando la eficacia del muestreo en transecto como instrumento fuerte para los estudios edafogeográficos a nivel semidetallado (Ortiz-Solorio y Gutiérrez 1999, Porta y López-Acevedo 2005, Krasilnikov 2011). Por lo que con pocos transectos representativos de la variabilidad del relieve y el ambiente se podría captar el total de suelos de regiones medianas de terrazas, para disminuir el tiempo y costo de estos estudios.

Las terrazas y los tipos de relieve determinan la localización y desarrollo de los grupos Acrisoles

y Cambisoles. Acrisol es dominante y se desarrolla mayormente en lomeríos ligera a moderadamente inclinados, coincidiendo con su distribución mundial en tierras antiguas de colinas o topografía ondulada en regiones tropicales húmedas (IUSS *et al.* 2007), en concordancia con lo reportado por Ortiz-Pérez *et al.* (2005) y Palma-López *et al.* (2007), quienes los asocian a terrazas costeras, lomeríos y sabanas con pendiente de 3 a 8 %. Cambisoles se desarrollan principalmente en llanuras aluviales y valles erosivo-acumulativos formados por ríos perennes y arroyos intermitentes de la terraza, en congruencia con su distribución mundial en terrazas y llanuras aluviales jóvenes (IUSS *et al.* 2007), y áreas planas a ligeramente onduladas con sedimentos aluviales del Cuaternario Holoceno (Palma-López *et al.* 2007).

La posición en la terraza determinó la diferenciación de subunidades de suelos con problemas de drenaje interno. En la terraza 1 destaca el Cambisol Ferrali-Gléyico en llanuras aluviales y valles erosivo-acumulativos, y el Acrisol Umbri-Gléyico en depresiones y cimas planas; ambos presentan un patrón de color gléyico (provocado por el exceso de humedad), revelado por el color gris en el horizonte Bg, indicando mal drenaje interno (IUSS *et al.* 2007). Este resultado concuerda con lo reportado para suelos desarrollados en relieves planos, cóncavos, poco inclinados y de posiciones bajas en el paisaje, que favorecen las inundaciones, capa freática elevada, saturación de la regolita, restricción del drenaje y la aireación, y mayor periodo de humedad en el perfil (Brady y Weil 2002, Porta y López-Acevedo 2005, Cajuste-Botemps y Gutiérrez 2011). Los Cambisoles, además presentan textura fina (arcillo arenosa) en todo el perfil que contribuye al drenaje imperfecto por saturación del suelo (Porta y López-Acevedo 2005).

Las subunidades de Acrisoles bien drenados se desarrollan en la zona alta de la terraza, sobresaliendo el Hiperdistri-Férrico y Umbri-Plíntico en lomeríos ligeramente inclinados, en la base de la terraza 2, y el Humi-Úmbrico, Humi-Plíntico y Ferri-Úmbrico en lomeríos ligera y moderadamente inclinados en la zona más elevada de la terraza 2. En estas subunidades, en los primeros 100 cm de profundidad están ausentes los colores gléyicos,

excepto en valles erosivo-acumulativos donde hay Cambisoles Ferrali-Gléyicos. El buen drenaje de los Acrisoles en la terrazas 2 es explicado por su posición más elevada en el paisaje, toda vez que en las topoformas convexas la infiltración es baja y el drenaje interno es alto (Brady y Weil 2002, Cajuste-Botemps y Gutiérrez 2011), y además su textura media (migajón arenosa, migajón arcillo arenosa o migajón limosa) favorece perfiles bien drenados donde el exceso de agua de lluvia fluye fácilmente hacia el material subyacente o lateralmente (Porta y López-Acevedo 2005). Adicionalmente, la mayor variabilidad de subunidades en relieves de lomerío suave se relaciona con las rocas de arenisca-conglomerado polimíctico de edad Terciario Plioceno al Cuaternario Pleistoceno (Ortiz-Pérez et al. 2005, Servicio Geológico Mexicano 2005), correspondiendo a superficies antiguas de terrazas donde la cobertura edáfica es más diversa por la edad de formación (Krasilnikov 2011).

Los suelos de la Sabana de Huimanguillo son profundos, exentos de salinidad y pobres en bases intercambiables (K, Ca, Mg, Na) y CIC. Estas características concuerdan con las reportadas por Salgado et al. (2007) y Palma-López et al. (2007). Pero algunas de sus propiedades físicas y químicas difieren principalmente en el horizonte Ap (Tabla 1), posiblemente reflejo del diferencial erosivo que se presenta dependiendo del relieve y el manejo.

La terrazas 1 y el lomerío ligeramente inclinado de la terraza 2 presentan Acrisoles y Cambisoles con horizonte Ap más delgado (30 cm); ligeramente más ácidos (pH 5.2). La acidez reduce la disponibilidad de N, P, K, Ca, Mg, Cu y Zn en el suelo y los árboles de cítricos llegan a presentar deficiencias (Toledo y Etchevers 1988, Zetina et al. 2002, Ventura et al. 2013). Por el contrario, la disponibilidad de Fe y Al se incrementa, y para mejorar las condiciones de fertilidad es necesario encalar aplicando cal dolomítica a razón 1 t ha⁻¹; además tienen menor contenido de MO (3.2 %), bases intercambiables y CIC (6.3 Cmol (+) Kg⁻¹). En contraste muestran el más alto contenido de P (40.9 mg kg⁻¹), en comparación a los suelos de lomerío ligera y moderadamente inclinado, en la terraza 2.

Los contrastes en las propiedades del hori-

zonte A indican que los suelos situados en la terraza 1 y en lomerío ligeramente inclinado de la terraza 2, están más degradados física y químicamente, debido a su uso más prolongado con plantaciones de cítricos, a prácticas inadecuadas de manejo y mayor exposición a procesos de erosión. Al respecto, Palma-López et al. (2008) reportaron para estos suelos, pérdidas de 25.8 a 60.4 t ha⁻¹ por año debido al proceso de erosión hídrica. La mayor acumulación de P se debe a aplicaciones continuas de fertilizantes fosfatados en las plantaciones de cítricos que cuentan con un manejo más intensivo y a los efectos residuales del encalado (Salgado et al. 2007, Ventura et al. 2013).

La presencia de un horizonte Ap más grueso en los Acrisoles de lomeríos ligera y moderadamente inclinado, y su alto contenido de MO, indican un mejor estado de conservación, particularmente en las subunidades con mayor superficie de cítricos como los Umbri-plínticos, Humi-plínticos y Humi-úmbricos. Estas características concuerdan con su buena aptitud para dicho cultivo (Palma-López et al. 2007). El estado nutrimental ligeramente más favorable se relaciona con el pH menos ácido del suelo que incrementa la actividad microbiana durante el proceso de humificación y mineralización de la MO, mejorando la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas (Bertsch 1998). Sin embargo no están exentos de procesos de erosión hídrica debido a que se desarrollan en lomeríos convexas con pendientes de 3 al 6 %, por lo que requieren de prácticas sustentables para su manejo y conservación, tales como la siembra de Centrocema y control mecánico de malezas con chapeadora. La presencia de la mayor parte de las plantaciones de cítricos en estas dos terrazas se debe principalmente a la búsqueda de horizontes A oscuros, profundos y con buena fertilidad, dado que la exploración de las raíces de los cítricos en el horizonte B es casi nula, por lo que se desarrollan mejor en suelos con altos contenidos de MO (Salgado et al. 2007).

CONCLUSIONES

En un transecto en terrazas de Huimanguillo, Tabasco, los suelos Acrisol y Cambisol fueron los

grupos representativos, y se identificaron ocho subunidades que cubren el 89.4 % de la superficie total de la terraza. La posición baja de la terraza 1 (10 a 20 msnm) determinó el desarrollo de subunidades con problemas de drenaje interno como el Cambisol Ferrali-Gléyico y el Acrisol Umbri-Gléyico. La altura de la terraza 2 (20 a 60 msnm) y el relieve de lomeríos ligera a moderadamente inclinados, propiciaron la formación de Acrisoles Hiperdistri-Férricos, Umbri-Plínticos, Humi-Úmbricos, Humi-Plínticos y Ferri-Úmbricos, bien drenados. Los suelos son profundos, sin problemas de salinidad y pobres en bases intercambiables; pero los Acrisoles Umbri-

Plínticos, Humi-Plínticos y Humi-Úmbricos, donde existe mayor superficie de cítricos, tienen un horizonte Ap más grueso, mayor contenido de materia orgánica y menos acidez, indicando un mejor estado de conservación.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Produce Tabasco, A. C., y al Consejo Citrícola de Tabasco, A. C., por su apoyo económico y logístico para realizar el presente trabajo.

LITERATURA CITADA

- Bautista-Zúñiga y Palacio (eds) (2005) Caracterización y manejo de suelos de la Península de Yucatán: implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Universidad Autónoma de Yucatán, Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal. 282 p.
- Bertsch HF (1998) La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 157 p.
- Brady NC, Weil RR (2002) The nature and properties of soils. Prentice Hall, New Jersey. USA. 960 p.
- Cajuste-Botemps L, Gutiérrez CMC (2011) El factor relieve en la distribución de los suelos en México. En: Krasilnikov P, Jiménez-Nava FJ, Reyna-Trujillo T, García-Calderón NE (Eds). Geografía de suelos de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Distrito Federal, México. 462 p.
- Cuanalo de la CH (1990) Manual de descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 40 p.
- Chapman GA, Atkinson G (2007) Soil survey and mapping. En: Charman PEV y Murphy BW (eds) Soils their properties an management. Oxford University Press, South Melbourne, Australia. 461 p.
- ESRI (2007) ArcGis vs 9.0. ESRI Gis and Mapping Software. Environmental Systems Research Institue. Redlands, California, USA.
- FAO, ISRIC, SICS (1999) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre recursos mundiales de suelos 84. Roma, Italia. 101 p.
- Geissen V, López de Llergo-Juárez JG, Galindo-Alcántara A, Ramos-Reyes R (2008) Erosión superficial y carstificación en Macuspana, Tabasco, Sureste de México. *Agrociencia* 42 (6): 605-614.
- Guerrero-Eufracio EG, Cruz-Gaistardo CO (2011) Cartografía edáfica y mapas edáficos en México. En: Krasilnikov P, Jiménez-Nava FJ, Reyna-Trujillo T, García-Calderón NE (Eds). Geografía de suelos de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Distrito Federal, México. 462 p.
- INEGI (1984a) Cartas topográficas 1: 50,000 E15C17, E15C18, E15C27 Y E15C28. México Distrito Federal.
- INEGI (1984b) Fotografías aéreas 1: 75,000, líneas 212 a la 215. Distrito Federal, México.
- INEGI (2001a) Síntesis de información geográfica del estado de Tabasco. Distrito Federal, México. 90 p.

- INEGI (2001b) Fotografías aéreas 1: 75,000, líneas 212 a la 215. Aguascalientes, Distrito Federal, México.
- IUSS, ISRIC, FAO (2007) World reference base for soil resources 2006. A framework for international classification, correlation and communication. No. 103. Rome, Italy. 132 p.
- Krasilnikov P (2011) Distribución espacial de los suelos y los factores que lo determinan. En: Krasilnikov P, Jiménez-Nava FJ, Reyna-Trujillo T, García-Calderón NE (Eds). Geografía de suelos de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Distrito Federal, México. 462 p.
- Martínez-Villegas N (2007) An overview of different soil classification systems used in México. *Terra Latinoamericana* 25 (4): 357-362.
- Munsell (2000) Munsell soil color charts. US Department of Agriculture, Baltimore. USA. 29 p.
- NOM-021-RECNAT (2000) Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial de la Federación. SEMARNAT. Distrito federal, México. 85 p.
- Ortiz-Pérez MA, Siebe C, Cram S (2005) Diferenciación ecogeográfica de Tabasco. En: Bueno J, Álvarez F, Santiago S (eds) Biodiversidad del estado de Tabasco. Instituto de Biología. UNAM-CONABIO. Distrito Federal, México. pp: 305-322.
- Ortiz-Solorio CA, Gutiérrez CMC (1999) Fundamentos de pedología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de México. 104 p.
- Ortiz-Solorio CA, Gutiérrez CMC, Sánchez-Guzmán P, Gutiérrez-Castorena EV (2011) Cartografía de la degradación de suelos en la República Mexicana: evolución y perspectivas. En: Krasilnikov P, Jiménez-Nava FJ, Reyna-Trujillo T, García-Calderón NE (eds) Geografía de suelos de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Distrito Federal. 462 p.
- 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, México. 195 p.
- Palma-López DJ, Moreno CE, Rincón RJA, Shirma TED (2008) Degradación y conservación de los suelos del estado de Tabasco. Colegio de Postgraduados, CONACYT, CCYTET. Villahermosa, México. 74 p.
- Porta CJ, López-Acevedo M, Roquero LC (2003) Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. 929 p.
- Porta CJ, López-Acevedo RM (2005) Agenda de campo de suelos: información de suelos para agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 541 p.
- Salgado GS, Palma-LDJ, Zavala CJ, Lagunes ELC, Castelán EM, Ortiz GCF, Ventura UF, Marín AA, Moreno CE, Rincón RJA (2007) Sistema integrado para recomendar dosis de fertilizantes en las plantaciones de cítricos de Tabasco, México. Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. H Cárdenas, México. 89 p.
- Schoeneberger PJ, Wysocki DA, Benham EC, Broderson WD (eds) (2002) Field book describing and sampling soils version 2.0. National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service, US Department of Agriculture, Lincoln. USA. 221 p.
- Servicio Geológico Mexicano (2005) Carta geológico-minera Villahermosa E15-8 Tabasco, Veracruz, Chiapas y Oaxaca. Servicio Geológico Mexicano, Pachuca Hidalgo, México.
- Sonter RO, Lawrie JW (2007) Soils and rural land capability. En: Charman PEV, Murphy BW (Eds). Soils their properties and management. Oxford University Press, South Melbourne, Australia. 461 p.
- Toledo MR, Etchevers BJD (1988) Estado nutricional de los cítricos de la Sabana de Huimanguillo, Tabasco. *Terra* 6 (2): 140-150.

- Ventura UF, Salgado GS, Castelán EM, Palma-López DJ, Rivera CMC, Sánchez GP (2012) Métodos de interpretación del análisis nutrimental en Naranja valencia (*Citrus sinensis* L. Osbeck). *Terra Latinoamericana* 30 (2): 139-145.
- Zavala-Cruz J, Palma-López DJ, Fernández-Cabrera CR, López-Castañeda A, Shirma-Tórres E (2012) Degradación y conservación de suelos en la cuenca del río Grijalva, Tabasco. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental, Colegio de Postgraduados, PEMEX. Villahermosa, México. 90 p.
- Zetina LR, Pastrana AL, Romero MJ, Jiménez ChJA (2002) Manejo de suelos ácidos para la región tropical húmeda de México. Libro Técnico Número 10. Campos experimentales Papaloapan y Huimanguillo. INIFAP-CIRGOC. Veracruz, México. 170 p.
- Zinck JA (2012) Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios suelos y riesgos naturales. Faculty Geo-Information Science and Earth observation Enschede, the Netherlands. 123 p.

