

ESTUDIO MORFOGENÉTICO DE ALGUNOS SUELOS DE LA REGIÓN DE LOS TUXTLAS, VERACRUZ, MÉXICO

*Lourdes Flores-Delgadillo¹, Irene Sommer-Cervantes²,
Jorge R. Alcalá-Martínez¹, y Javier Álvarez-Sánchez³*

RESUMEN

Se ha estudiado la formación del suelo en relación con las propiedades morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas de seis perfiles de suelo pertenecientes al área de la Estación de Biología Tropical, de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Los Tuxtlas. Los suelos estuvieron bajo una vegetación de selva alta perennifolia y fueron formados a partir de ceniza volcánica de composición basáltica y andesítico-basáltica. Se encontró andisoles en la zona de mayor elevación de la reserva, los cuales fueron sustituidos por alfisoles que, en algunos sitios, presentaron problemas de drenaje muy deficiente. En las partes más bajas de la reserva, se observó el rejuvenecimiento de los suelos debido a la actividad volcánica muy reciente; sus características también permitieron ubicarlos dentro de los alfisoles. Se encontró, asimismo, una zona con inceptisoles.

Palabras clave: Estudio morfogénético, suelos, región de Los Tuxtlas, Veracruz, México.

ABSTRACT

Morphological, physical, chemical and some mineralogical properties of six soil profiles were studied. The soils were sampled within the Reserve of the Tropical Biology Station of the Los Tuxtlas, State of Veracruz. The purpose of this study was to determine the morphogenesis and classification of the soils, which have derived from volcanic materials. The soils developed from volcanic ash of basaltic and basaltic-andesitic composition. In the areas of higher altitude within the reserve were found andisols, which were replaced for alfisols that in some sites presented problems of drainage deficiency. In the lower part of the Reserve it was possible to observe soil rejuvenation because of very recent volcanic activity; the characteristics of these soils allow to place them within the alfisols. In the reserve, a region of inceptisols was also found.

Key words: Morphogenetic study, soils, Los Tuxtlas region, Veracruz, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de formación del suelo se llevan a cabo con mayor velocidad en ambientes con clima tropical lluvioso debido: (1) al movimiento descendente casi continuo del agua, (2) a las grandes cantidades de biomasa que se agregan al suelo, y (3) a las temperaturas constantemente altas. En régimen údico, los suelos predominantes son oxisoles, ultisoles, alfisoles e inceptisoles (Soil Survey Staff, 1987). En las áreas de tierras altas afectadas por ceniza volcánica, la distribución de suelos en el paisaje depende, principalmente, de la edad de la ceniza y del clima. En regiones húmedas, la ceniza volcánica se meteoriza rápidamente convirtiéndose en alófono (Sánchez, 1981).

Los suelos de origen volcánico pueden ser recientes, y el origen de sus perfiles es fácil de identificar a través de la presencia de volcanes, conos cineríticos, y del material parental del suelo. Los estudios de campo y de laboratorio, gene-

ralmente, revelan la presencia de ceniza volcánica rica en materiales tales como piroxenos (incluyendo augita), hornblenda, cuarzo, labradorita, magnetita, plagioclasa, cristobalita y vidrio volcánico. Estos materiales pueden ser encontrados en las capas más profundas de los perfiles, o en las capas superficiales si se trata de suelos demasiado jóvenes o que pudieran estar afectados por depósitos recientes (discontinuidad litológica). En algunos lugares, los perfiles pueden estar separados por una capa de material pumítico (palagonita), lo cual genera suelos bien drenados y con aeración buena, con una porosidad alta. Estas propiedades, aunadas a los altos contenidos de materia orgánica, condicionan sus densidades bajas. Los suelos de ceniza volcánica que provienen de basalto contienen, generalmente, piroxeno (incluyendo augita), hornblenda, feldespato, olivino y vidrio volcánico, como ocurre con los suelos del Popocatepetl y del Parícutín. La ceniza volcánica de andesita contiene labradorita e hiperstena, como en los suelos del Iztaccihuatl.

Bajo condiciones ambientales tales como las que predominan en la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas, los productos del intemperismo en estos suelos incluyen materiales arcillosos, como haloisita, metahaloisita y caolinita, además de óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, aunque los materiales dominantes en los suelos de mayor desarrollo por meteoro-

¹Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510, México, D.F.

²Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510, México, D.F.

³Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, 04510, México, D.F.

rización son la haloisita y la caolinita. La gibsita puede encontrarse también en suelos que contengan haloisita. En suelos más jóvenes, el material dominante es el alófono, el cual, bajo complicados mecanismos de meteorización, se transforma en haloisita o caolinita, dependiendo de las condiciones de humedad y sequía (Aguilera-Herrera, 1969).

Los suelos originados de ceniza volcánica tienen como propiedades dominantes las siguientes: un contenido alto de materia orgánica en las capas superficiales, cuyos valores pueden variar de 5 a 20%; las concentraciones de nitrógeno total van de 0.2 a 0.7%; los valores de pH pueden variar de 4 a 6.5; la capacidad de intercambio catiónico fluctúa de 15 a 60 cmol (+) kg⁻¹, el complejo de intercambio es alto en el horizonte A y disminuye en el B; de las bases intercambiables domina el calcio y le sigue el magnesio. Otra característica importante en estos suelos es su alto contenido de Al³⁺ en forma intercambiable. El alófono y el Al³⁺ se encuentran desde la superficie del suelo y son los responsables, en buena medida, de la fijación de cantidades considerables de fósforo (Aguilera-Herrera, 1965).

LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Reserva de la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas se localiza en la vertiente del Golfo de México, al SE del estado de Veracruz, entre los 18°34' y los 18°36' de latitud norte y los 95°04' y 95°09' de longitud oeste, enclavada en las estribaciones del volcán San Martín (Figura 1). La superficie total de la reserva consta de 700 ha, con altitudes que varían desde los 150 hasta los 530 m s.n.m. (Lot-Helgueras, 1976).

CLIMA

Debido a que no se dispone de datos precisos y completos sobre el clima de la Estación, Ibarra-Manríquez y Sinaca-

Colín (1987) consignaron datos meteorológicos de la Estación de Coyame (que es la más cercana) extrapolados para la Estación de Biología Tropical. Los autores mencionan que ambos sitios presentan el mismo tipo de clima Af(m)w'(i)g, que es el más húmedo de los cálido-húmedos, con una clara concentración de la precipitación en los meses de verano y con un porcentaje de lluvia invernal inferior a 18%. La precipitación promedio anual es de 4,725.2 mm; la precipitación del mes más seco es superior a 60 mm. Las temperaturas máxima, media y mínima anuales alcanzan valores de 32.18°C, 24.3°C y 16.4°C, respectivamente, con una oscilación media anual de 6°C.

GEOLOGÍA

El macizo volcánico de Los Tuxtlas se localiza en la costa del Golfo de México, entre las grandes zonas aluviales formadas por las cuencas de los ríos Papaloapan y Coatzacoalcos, por lo tanto, el relieve general de la región se debe a procesos distintos. Por una parte, los aportes fluviales han elaborado una gran llanura con abundantes pantanos y, por la otra, las emisiones volcánicas han creado el macizo mencionado constituido por 276 estructuras volcánicas (Coll de Hurtado, 1970). Este campo volcánico es una zona montañosa de unos 80 km de largo cuyos edificios mayores son: el volcán San Martín Pajapan, con una altura de 1,160 m; los volcanes Santa Martha y Yohualtapan, que forman parte de la sierra de Santa Martha, con elevaciones de 1,460 m; y el volcán San Martín Tuxtla, cuyo pico más alto tiene 1,650 m y cuenta con un diámetro aproximado de 12 km (Nelson and González-Caver, 1992).

López-Ramos (1983) indica que el vulcanismo de Los Tuxtlas se remonta, cuando menos, hasta el Oligoceno. Su actividad se manifiesta por el alto contenido de ceniza y arena volcánica que están presentes en las Formaciones La Laja, del Oligoceno, y Depósito, del Mioceno inferior, constituidas por arcillas tobáceas y areniscas. Las erupciones que se han presentado son de tipo efusivo-fisural, correspondiendo con magmas de composición alcalina que datan desde el Mioceno-Oligoceno hasta el Holoceno.

La actividad volcánica ha continuado hasta tiempos recientes con erupciones registradas en 1664 y en 1793. De acuerdo con Moziño (1870, *in* Nelson y González-Caver, 1992), dentro del cráter del volcán San Martín Tuxtla hay dos pequeños conos cineríticos que fueron formados durante la última erupción de 1793. Este volcán parece haber sido el más activo en la historia reciente del campo volcánico; no obstante, los conos cineríticos de toda el área, especialmente los de la parte noroccidental, también han servido para numerosas erupciones.

Las descripciones petrográficas y los análisis químicos de Friedlander y Sonder (1923, *in* Verma *et al.*, 1993), indican que las lavas de este campo volcánico son predominantemente basálticas e incluyen picritas y andesitas; además, son fuertemente subsaturadas en sílice y de carácter poco diferenciado o más primitivos, en comparación con el magma de otras regiones.

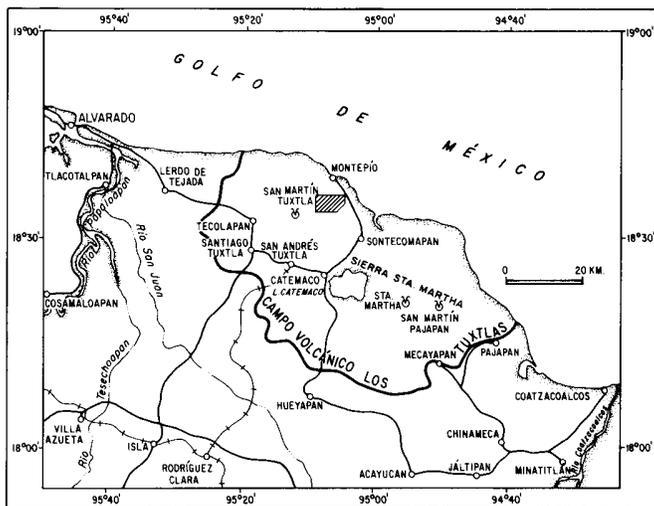


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio.

Ríos-MacBeth (1952) hace un estudio geológico detallado de la región, en el cual menciona que el tipo de sedimentos marinos que afloran en la región de Los Tuxtlas, corresponden al Terciario superior y tienen características, tanto litológicas como faunísticas, muy semejantes a las formaciones de la Cuenca Salina del Istmo. Hay escasez de este tipo de afloramientos debido a los extensos depósitos volcánicos, los cuales se presentan como una cubierta de material piroclástico muy gruesa. Los sedimentos marinos más antiguos en la región pertenecen a la Formación Depósito-La Laja, que data del Oligoceno, los cuales están constituidos esencialmente por arcillas tobáceas y areniscas de grano medio a grueso, de forma lenticular, con un porcentaje alto de material volcánico. El Mioceno está representado por las Formaciones Encanto y Concepción Superior e Inferior compuestas, principalmente, por arcilla y arcilla arenosa, además de la Formación Filisola, en cuyos sedimentos predominan la arcilla muy arenosa, arena y arenisca.

El mismo autor señala que el Plioceno-Pleistoceno consta, casi totalmente, de arena, ceniza volcánica, toba y conglomerado formado por grava de basalto y cuarcita. Los colores varían de pardo negruzco y rojizo al negro en la ceniza y arena volcánica, mientras que en el conglomerado predominan los colores amarillo ocre y rojizo. Hacia el este y noreste de San Andrés Tuxtla, donde fue mayor el depósito de ceniza y arena volcánica, la erosión determinó una topografía de lomeríos suaves, entre los que destacan numerosos volcanes cineríticos con cráteres aún muy visibles.

A través de un análisis petrográfico realizado en el área por Jacobo-Albarrán y Aguilera-Gómez (1988), se determinó que los materiales volcánicos del área corresponden a basalto de olivino y piroxeno, basalto nefelínico, basanita y, en menor proporción, andesita. Algunas muestras fueron analizadas isotópicamente por el método K-Ar, encontrando que el evento volcánico se inicia en el Mioceno tardío (5.8 Ma), y la extrusión de material andesítico se restringe a los 2.6 ± 0.132 Ma. Por otra parte, dichos autores también confirmaron el carácter alcalino de las rocas volcánicas.

Nelson y González-Caver (1992) también hicieron determinaciones isotópicas por el mismo método de K-Ar en diferentes muestras de lava y consignaron una edad de 0.8 ± 0.1 Ma para su muestra más joven. Aguilera-Gómez (1988), asimismo, obtiene datos sobre otra serie de derrames de lava de la misma región de Los Tuxtlas, consignando edades de 0.80 ± 0.04 , 0.38 ± 0.02 , 0.3 ± 0.02 y 0.21 ± 0.01 Ma.

ANTECEDENTES

Se dispone de algunos estudios de investigación en la región, en los que se tuvo como objetivo colateral la caracterización física y química de algunos suelos de la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas, de la Universidad Nacional Autónoma de México. En dichos estudios se consideró al suelo como un factor del medio ambiente que tiene influencia y rela-

ción con la dinámica y distribución de la vegetación en la región. Sousa-S. (1968) consignó las interpretaciones pedológicas de dos perfiles que corresponden a suelos que tienen el mismo material de origen pero diferentes niveles de fertilidad y grado de desarrollo, lo cual se reflejó, aparentemente, en el tipo de vegetación que soportaba cada sitio. Dicho autor observó que la vegetación de selva alta perennifolia se encontraba tanto en suelo pardo forestal, regosol y litosol, como en suelos de mayor desarrollo por meteorización, como el latosol rojo arcilloso. Salvador-Flores (1971) estudió la vegetación del cerro El Vigía, y los análisis de cuatro perfiles de suelo mostraron variaciones mínimas debidas a las diferencias altitudinales; con relación a los nutrimentos, se observó la zona de lavado o lixiviación en la parte alta del cerro, y la de acumulación en la baja encontrando, en general, niveles bajos de N, P y K, y niveles altos sólo en calcio. El autor antes citado describe el afloramiento progresivo de rocas de abajo hacia arriba del cerro, así como el espesor del suelo que se incrementa en sentido contrario. Rico-Bernal (1972) hizo un estudio de vegetación secundaria de selva tropical húmeda en la Estación de Biología. Tal autor también consignó condiciones de pobreza en nutrimentos y contenidos muy bajos de materia orgánica. Las pequeñas diferencias encontradas en las características del suelo por las diferentes épocas de muestreo, no pudieron ser relacionadas con los procesos de la sucesión. Posteriormente, Chizón-Sánchez (1984) hace un análisis de la distribución de diferentes tipos de suelo en relación con la vegetación. Se realizaron nueve perfiles considerando diferencias altitudinales, de vegetación y pendiente. En tal estudio, dicho autor tampoco encontró diferencias significativas en las propiedades del suelo que influyeran en la distribución de la vegetación; se hace mención de que la topografía y factores climáticos y meteorológicos, son los que más influyen en la vegetación. El autor antes referido, clasifica a seis de los nueve perfiles como feozems, y los otros tres perfiles como gleysol, regosol y arenosol. García-Aguirre (1988) también proporciona el nombre de las unidades de suelo analizadas en la zona, y éstas corresponden a asociaciones tales como andosol-regosol, andosol-luvisol-feozem, gleysol-feozem y litosoles. En el presente estudio, se hace un estudio edafogénico de los suelos de la reserva, con el objeto de hacer la mejor aproximación para definir las categorías a las que pertenecen.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se hizo la elección de seis pedones de suelo de la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas, habiendo hecho, previamente, un reconocimiento de campo. Los perfiles tuvieron 2 m de largo por 1.5 m de anchura y una profundidad variable que osciló entre 0.40 y 2.05 m. La ubicación de los perfiles se estableció con base en el recorrido de campo, con diferencias altitudinales que variaron de 200 a 550 m, ubicados en una región montañosa con pendientes cóncavas y convexas que variarían desde 4 hasta 30%. Los perfiles 1 y 2 se hicieron en una zona de pastos, y los otros perfiles bajo una vegetación de sel-

va alta perennifolia. Se hizo la recolección de muestras de suelo de los diferentes horizontes, las cuales fueron sometidas a diversos análisis. Todas las muestras fueron secadas al aire y tamizadas en malla de 2 mm de abertura antes de los análisis. Las características morfológicas de los pedones en el campo fueron descritas de acuerdo con el manual elaborado por Cuauale de la Cerda (1975), y se encuentran consignadas en la Tabla 1. El color fue determinado sobre el material húmedo y secado al aire. La densidad aparente se determinó por el método de la probeta (Blake, 1965). Los valores de densidad real se obtuvieron por el método del picnómetro (Blake, 1965). La porosidad se obtuvo relacionando la densidad real y la densidad aparente del suelo (Vomocil, 1965). El tamaño de las partículas fue determinado después de un tratamiento con oxalato de amonio ácido, seguido de la oxidación de la materia orgánica con H_2O_2 (30%) y, finalmente, la dispersión se llevó a cabo usando HCl (pH = 4) en los perfiles 1 y 2, y una mezcla de carbonato y hexametáfosfato de sodio (pH = 8.3) en los otros cuatro perfiles. La metodología empleada en este procedimiento es la que describe Smith (1994). La arena gruesa, fina y muy fina fueron obtenidas mediante tamizado en húmedo para someterlas a un análisis por microscopía electrónica de barrido con espectrómetro de energía dispersiva de rayos X (MEB-EDX); la arcilla fue obtenida por pipeta y sometida a un análisis de difracción de rayos X (DRX) y MEB-EDX. Los valores de pH del suelo fueron medidos en suspensiones, tanto con agua como con CaCl_2 0.01 M (relación 1:5). Los contenidos de materia orgánica se determinaron por el método de Walkley-Black (Allison, 1965). Los valores de pH en NaF fueron medidos en muestras de 1 g de suelo después de agitarse 2 minutos con 50 mL de NaF. Las bases intercambiables fueron medidas en una solución de acetato de amonio 1 M (pH = 7). La capacidad de intercambio catiónico fue determinada midiendo el NH_4^+ adsorbido, después de lavar el suelo con etanol y reemplazar el NH_4^+ con K^+ usando KCl 1 M. La capacidad de retención de fosfatos fue determinada de acuerdo con el método de Blakemore y colaboradores (1981), en la fracción de suelo de menos de 2 mm. Se efectuó la extracción de Fe, Al y Si con una solución de oxalato de amonio ácido (Blakemore *et al.*, 1981), cuantificando los elementos por espectrofotometría de absorción atómica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos de la zona de estudio se han desarrollado bajo condiciones muy similares de temperatura y humedad, con una variación relativamente pequeña en altitud (150–550 m), lo cual se ha reflejado en una morfología relativamente uniforme de sus perfiles. Sin embargo, la topografía y cambios en las condiciones de drenaje y lixiviación, han tenido influencia en el proceso de desarrollo de los mismos, que ha conducido a una variabilidad en algunas de sus propiedades físicas y químicas. La mayor parte de los suelos de la zona de estudio tienen pedones profundos. Los suelos que se encuentran en las partes

más altas de la reserva (550 m, aproximadamente) presentan epipedones úmbricos, los cuales son modificados a epipedones mólicos cuando la altitud disminuye y se forma un microclima más caliente. Las partes altas alojan suelos muy pedregosos, característica por la que recibe el nombre de El Pedregal. Los perfiles 1 y 2 fueron cavados en esta zona y sus propiedades morfológicas se muestran en la Tabla 1, y algunas de sus características físicas y químicas se observan en la Tabla 2.

A través de estos dos perfiles, se encontró una zona muy bien drenada, con suelos ligeros, porosos y de reacción ligeramente ácida. El matiz 10 YR de la escala de Munsell (pardo) es dominante, y los valores de intensidad y pureza del color son bajos en los epipedones úmbricos y aumentan ligeramente en los endopedones. Los valores de capacidad de intercambio catiónico son relativamente altos y varían de 30 a 47 $\text{cmol} (+)$ kg^{-1} y están dados, principalmente, por la gran cantidad de material amorfo y de materia orgánica. La saturación de bases es baja (menor del 30% en los dos perfiles), lo cual indica un cierto grado de desaturación o eliminación de bases (Ca, Mg, Na, K) por lixiviación y lavado del suelo. Esta saturación de bases baja, aparentemente, no corresponde con los valores de pH obtenidos en estos dos perfiles, cuyo rango va de 6.1 a 6.6 unidades (Tabla 2); sin embargo, en este tipo de suelos los valores de pH, determinados en agua, se ven más influenciados por el tipo de material parental que por el agua de poro. Presentan propiedades ándicas al menos en los horizontes superficiales (Van Wambeke, 1991). Estas propiedades ándicas se pudieron observar a través de la cantidad de aluminio + 1/2 hierro que fue mayor de 2%, extraídos con el oxalato de amonio ácido; por la capacidad de fijación de fósforo superior al 85%, y por la baja densidad aparente (Tabla 2). Estas tres características se obtuvieron en los 30 cm superficiales de los dos perfiles y en la fracción del suelo de menos de 2 mm.

Entre los horizontes de diagnóstico superficiales, y con base en la taxonomía de suelos americana, está el epipedón melánico, el cual es un horizonte de color negro que, además de tener propiedades ándicas, tiene concentraciones altas de carbono orgánico (más de 4%), y valores de pureza e intensidad del color en húmedo de 2 o menos. Estos perfiles, 1 y 2, fueron clasificados a nivel de Gran Grupo como fulvudands, es decir, andisoles fúlvicos con un régimen údico de humedad del suelo y presencia de un epipedón parecido al melánico (Soil Survey Staff, 1990). A través del análisis de DRX, se encontró que la fracción arcillosa de estos suelos está constituida, principalmente, por material amorfo, además de pequeñas proporciones de caolinita desordenada, ilita y esmectita. De los óxidos e hidróxidos pobremente cristalizados o amorfos que predominan en la fracción de menos de 2 μm la cantidad de alófono varía de 8.1 a 11.4%, en los horizontes superficiales de los dos perfiles. La fracción de arena fina y muy fina obtenida del horizonte C y analizada a través de MEB-EDX, indica que los minerales constitutivos de la tefra o ceniza volcánica son: piroxeno (35%), olivino (31%), anfíbol (22%), vidrio volcánico (8%) y plagioclasa cálcica (4%).

Tabla 1. Características macromorfológicas de los perfiles.

Perfil	Hor.	Prof. (cm)	Color		Textura	Estructura	Consist. en húmedo	Adhesividad Plasticidad	Cutanes	Piedras	Raíces	Separación
			seco	húmedo								
1	A ₁₁	28	10YR3/3	10YR3/1	F. are.	granular	suelta	m. lig. pl. m. lig. ad. -----		esc. peq.	ab. fi.	difusa
	A ₁₂	46	10YR4/3	10YR3/2	F. are.	granular	suelta	m. lig. pl. m. lig. ad. -----		esc. peq.	ab. fi. m.	difusa
	A ₁₃	90	10YR5/4	10YR3/2	F. are.	suban. débil	friable	lig. pl. lig. ad. \tab -----		com. p. m.	com. med.	difusa
	AC	150	10YR5/4	10YR3/3	F. are.	suban. débil	friable	no pl. no ad. \tab -----		com. med.	poc. med.	
2	A ₁₁	27	10YR4/2	10YR3/1	F. are.	granular	suelta	no pl. m. lig. ad. -----		com. peq.	ab. fi.	difusa
	A ₁₂	39	10YR4/2	10YR3/1	F. are.	granular	m. friable	no pl. m. lig. ad. -----		com. peq.	fre. fi. med.	difusa
	A ₁₃	60	10YR5/2	10YR3/1	F. are.	granular	m. friable	no pl. m. lig. ad. -----		com. peq. m.	com. med.	difusa
	AC	80	10YR4/3	10YR3/2	F. are.	granular	friable	no pl. m. lig. ad. -----		com. med.	esc. med.	difusa
	C	100	10YR6/4	10YR3/3	Are. f.	granular	friable	no pl. no ad. -----		com. med.	esc. med.	gradual
3	A ₁₁	10	10YR4/3	10YR3/2	F. lim.	granular	friable	lig. ad. y pl. -----		m. esc. peq.	ab. fi. med.	gradual
	A ₁₂	30	10YR4/3	10YR3/3	Franco	migajosa	friable	mod. ad. y pl. -----		esc. peq.	ab. med.	gradual
	B _{21t}	48	10YR5/4	10YR4/3	F. lim.	subang.	friable	m. ad. y pl. -----	delg. hor.	frec. peq.	frec. fi. m.	gradual
	B _{22t}	70	10YR5/4	10YR4/3	F. arc. lim.	subang.	firme	m. ad. y pl. -----	delg. hor.	m. es. m.	esc. med.	difusa
	BC	100	10YR5/4	10YR4/3	F. arc. lim.	angular	firme	m. ad. y pl. -----	delg. hor.	esc. med.	esc. med.	gradual
	C	150	10YR5/4	10YR4/3	F. lim.	angular	firme	ad. y pl. -----		esc. med.	m. esc. med.	
4	A	35	10YR4/4	10YR3/4	F. arc.	migajosa	friable	m. ad. y pl. -----		esc. peq.	ab. fi.	clara
	EB	41	10YR4/3	10YR3/3	Franco	subang.	firme	ad. -----		esc. peq.	fre. fi. med.	clara
	B _{21t}	66	10YR4/3	10YR3/3	F. lim.	angular	firme	m. ad. y pl. -----	delg. hor.	m. esc. peq.	fre. med.	gradual
	B _{22t}	110	10YR4/4	10YR3/4	F. arc.	masiva	firme	m. ad. y pl. -----	ab. delg. hor.	m. esc. peq.	esc. med.	gradual
	Cb ₁	135	10YR5/4	10YR4/4	F. lim.	angular	m. firme	m. ad. y pl. -----	esc. delg.	sin piedras	m. esc. m.	difusa
	Cb ₂	205	10YR7/1	10YR4/1	F. lim.	angular	m. firme	m. ad. y pl. -----		m. esc. peq.	m. esc. m.	difusa
5	A ₁₁	7	10YR4/3	10YR2/2	F. are.	granular	m. friable	lig. pl. lig. ad. -----		m. esc. peq.	fre. fi.	
	A ₁₂	25	10YR4/4	10YR2/2	Franco	subang.	friable	pl. y ad. -----		m. esc. peq.	fre. fi.	gradual
	A ₁₃	40	10YR4/4	10YR2/2	Franco	subang.	friable	pl. y ad. -----		m. esc. peq.	esc. fi.	gradual
6	A ₁₁	15	10YR4/2	10YR2/2	F. are.	granular	m. friable	m. lig. pl. no ad. -----		com. peq.	ab. fi.	
	A ₁₂	50	10YR4/4	10YR2/2	Franco	subang.	friable	lig. pl. y lig. ad. -----		com. peq. m.	ab. med.	difusa
	Cb	70	10YR6/3	10YR4/3	F. are.	granular	friable	m. lig. pl. no ad. -----		com. peq. m.	poc. med.	difusa

Este tipo de tefra basáltica con vidrio volcánico coloreado favorece la formación de suelos alofánicos, debido a que la gran cantidad de Ca y Mg que son liberados por meteorización mantienen altos los valores de pH en el suelo, necesarios para la formación del alofano. Por lo anterior, resulta importante conocer las propiedades químicas y mineralógicas de los materiales parentales, pues ellos están determinando, por un lado, la acidez del suelo a través de la liberación de bases y, por otro, la formación del tipo de arcilla alofánica.

Existen registros de actividad muy reciente del volcán San Martín Tuxtla, con erupciones en el año de 1664 y en 1793 (Moziño, 1870, *in* Nelson y González-Caver, 1992) y por Sousa-S. (1968), por lo que los suelos de la zona de estudio son muy jóvenes; sin embargo, en algunas regiones presentan ya un moderado grado de desarrollo. Esto puede ser posible si se considera que la clase de tefra que fue depositada en el área tiene vidrio volcánico coloreado sobre el cual el intemperismo químico se efectúa en forma mucho más rápida que en otro tipo de tefra; por otro lado, las condiciones climáticas de la zona aceleran todas las reacciones de meteorización. Estos tipos de suelo fueron descritos en Hakkoda, en el noreste del Japón, bajo un tipo de vegetación de bosque. En estos suelos, las caracte-

erísticas del humus acumulado determinan sustancialmente el color del horizonte superficial. Este humus está dominado por ácidos fúlvicos, y los ácidos húmicos son de tipo P con un grado relativamente bajo de humificación (Shoji *et al.*, 1993). En la zona de estudio, donde los suelos tienen buena aeración y son poco ácidos, se presenta una fuerte actividad biológica que descompone en una forma rápida la hojarasca, la cual, en general, es de tipo mejorante, pues aporta contenidos altos de nitrógeno.

La relación de la topografía con el depósito de la tefra, la erosión y la redistribución de los materiales de acuerdo a la pendiente, son factores importantes que afectan la génesis y propiedades de los andisoles. Otro factor muy importante es el movimiento vertical y lateral del agua que se produce a lo largo de una pendiente, que también va a influir y a orientar la edafogénesis de manera diferente en los distintos niveles de la pendiente, lo cual da lugar a un escalonamiento de suelos ligados genéticamente entre sí (Duchaufour, 1984). Es por esto, que los andisoles que encontramos en la parte más alta de la reserva, sufrieron una sustitución por formas de transición o intergradados hacia otras clases de suelo más ricos en arcillas. En altitudes inferiores a la de los andisoles, se presentó un aporte

Tabla 2. Algunas propiedades físicas y químicas de los perfiles.

Perfil	Hor.	Prof. (cm)	Densidad		Porosidad (%)	Textura			Materia orgánica (%)	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	Bases intercambiables (Cmol [+] kg ⁻¹)				Retención		pH NaF	Al ⁺	
			aparente	real		Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)				Ca	Mg	K	Na	CIC	P (%)		1/2 Fe (%)	Alóf. (%)
1	A ₁₁	28	0.95	2.33	59.2	60.5	34.3	5.2	7.00	6.5	5.6	7.3	1.5	1.0	1.25	39.2	91	10.9	2.85	8.1
	A ₁₂	46	0.81	2.25	64.0	49.0	47.1	3.9	5.30	6.6	5.5	4.6	1.0	1.0	1.27	43.5	88	11.0	2.50	10.2
	A ₁₃	90	0.92	2.43	62.1	56.8	39.0	4.2	2.60	6.6	5.7	nd	nd	nd	nd	37.8	nd	10.8	nd	nd
	AC	150	0.92	2.48	63.0	57.4	40.9	1.7	2.12	6.5	6.0	nd	nd	nd	nd	32.8	nd	10.7	nd	nd
2	A ₁₁	27	0.93	2.37	60.8	67.4	28.6	4.0	11.11	6.2	5.4	7.2	1.5	0.92	1.33	45.0	96	11.1	3.51	8.7
	A ₁₂	39	0.80	2.43	67.1	68.3	29.6	2.1	8.63	6.3	5.6	5.8	1.2	0.84	1.35	46.9	95	11.5	3.46	11.4
	A ₁₃	60	0.87	2.51	65.2	55.0	42.9	2.1	7.61	6.4	5.6	3.2	0.8	0.79	1.31	44.7	nd	11.3	nd	nd
	AC	80	0.87	2.47	66.1	57.8	40.7	1.4	4.55	6.1	5.7	1.9	0.4	0.87	1.29	43.3	nd	11.3	nd	nd
	C	100	1.08	2.56	58.0	73.4	23.2	3.4	1.23	6.1	5.9	0.1	0.4	0.85	1.23	31.4	nd	10.8	nd	nd
3	A ₁₁	10	0.83	2.22	62.6	33.7	50.5	15.9	6.48	5.6	5.0	11.6	6.1	0.54	0.66	29.9	63	10.1	1.00	0.3
	A ₁₂	30	0.83	2.24	62.9	47.0	40.6	12.4	4.05	5.8	5.1	8.7	5.3	0.33	0.73	24.8	69	10.1	0.96	0.4
	B _{21t}	48	0.97	2.46	60.6	16.8	57.5	25.7	1.78	5.9	5.3	6.5	5.9	0.17	0.85	23.4	68	10.1	0.95	1.0
	B _{22t}	70	0.91	2.41	62.2	13.7	50.4	35.9	0.81	5.6	5.0	5.7	8.0	nd	0.88	20.7	nd	10.0	nd	nd
	BC	100	0.87	2.03	57.1	11.1	59.7	29.2	0.31	5.5	4.7	5.6	9.7	nd	0.90	25.5	nd	10.1	nd	nd
	C	150	0.91	2.31	60.6	20.9	56.5	22.6	0.21	5.4	4.4	3.6	8.0	nd	0.95	20.4	nd	10.1	nd	nd
4	A	35	0.90	2.29	60.7	20.5	45.2	34.3	1.64	5.8	4.8	7.3	5.7	0.17	0.94	18.8	60	10.1	0.91	0.5
	EB	41	0.88	2.30	61.7	39.6	45.0	15.4	3.83	6.7	5.3	9.6	5.7	nd	0.82	24.2	61	10.0	0.90	0.8
	B _{21t}	66	0.90	2.42	62.8	24.3	52.6	23.1	2.16	6.6	5.3	7.7	5.2	nd	0.72	19.8	59	10.0	0.88	1.3
	B _{22t}	110	0.87	2.24	61.1	18.5	41.8	39.7	1.11	6.5	5.4	7.3	5.7	nd	0.78	17.7	nd	10.1	nd	nd
	Cb ₁	135	0.90	2.19	58.9	26.6	54.9	18.5	0.12	5.3	4.2	2.7	5.4	nd	0.75	20.7	nd	10.1	nd	nd
	Cb ₂	205	0.86	2.34	63.2	20.7	66.0	12.5	0.14	5.4	4.1	2.1	5.6	nd	0.72	25.9	nd	10.1	nd	nd
5	A ₁₁	7	0.87	1.96	55.6	53.6	42.7	3.7	6.03	5.9	5.4	20.3	7.7	0.27	0.43	39.1	61	10.1	0.91	0.4
	A ₁₂	25	0.95	2.38	60.0	40.7	44.9	14.5	4.02	6.0	4.9	5.0	3.4	nd	0.44	24.9	75	10.2	1.05	0.8
	A ₁₃	40	0.92	2.09	55.9	46.0	42.0	12.1	3.01	5.9	4.7	3.1	3.2	nd	0.79	19.5	74	10.1	1.00	1.8
6	A ₁₁	15	0.91	2.36	61.4	55.5	36.0	8.5	5.30	6.7	6.2	10.3	8.3	2.64	1.44	29.1	57	10.1	1.10	0.2
	A ₁₂	50	1.02	2.37	56.9	40.0	45.5	14.5	2.74	6.8	6.1	6.9	8.0	2.16	1.75	29.3	67	10.1	1.20	0.4
	Cb	70	1.29	2.40	46.2	72.4	23.8	3.8	0.41	6.8	6.1	3.0	2.0	1.15	1.33	9.1	nd	10.2	nd	nd

nd: no determinado

de sustancias solubles, además de transporte de minerales primarios re trabajados, que le proporcionaron al suelo algunas de sus propiedades. Dentro de esta zona más baja, fueron muestreados otros dos perfiles, designados con los números 3 y 4. Las altitudes variaron entre 450 y 200 m. La zona está dominada por suelos cuyas características comunes, pero diferentes a las de los perfiles anteriores, son las siguientes: no presentan propiedades ándicas, pues la capacidad de fijación de fósforo ha disminuido y fluctúa entre 59 y 68%; sus texturas son más finas, es decir, hay un aumento en el contenido de arcilla que, en la mayoría de los casos, proporciona al suelo plasticidad y adhesividad muy altas; tienen valores más bajos de capacidad de intercambio catiónico y mayor saturación de bases, la cual alcanza valores por arriba del 50%. En el complejo de cambio ha disminuido la cantidad de material amorfo, lo cual se observa a través de la cantidad de aluminio + 1/2 hierro que en estos suelos presenta valores que oscilan entre 0.88 y 1.00%. Las características morfológicas de estos perfiles se muestran también en la Tabla 1, y algunas de sus propiedades físicas y químicas se muestran en la Tabla 2.

Otra característica que se presentó en estos perfiles, fue la acumulación subsuperficial de arcillas debida a procesos de lavado, constituyendo un horizonte B árgico (B_t), con una capacidad de intercambio catiónico de menos de 22 cmol (+) kg⁻¹, en promedio. Esta zona tiene buen drenaje, sus suelos son de textura franca o más fina, lo cual les proporciona un mayor grado de estructura, también son porosos y de reacción ligeramente ácida. El matiz dominante, al igual que en los andisoles, es 10 YR, y los valores de pureza e intensidad en los epipedones mólicos es menor que 3.5 cuando están húmedos. Estos valores de pureza e intensidad del color van a aumentar ligeramente en los endopedones, como ocurre en los andisoles.

Su color pardo obedece a una evolución particular de los óxidos de hierro cuyo contenido, en suelos de clima cálido, es siempre mayor al de los suelos de clima templado, considerando materiales de origen equivalentes, debido a que el grado de alteración de los minerales en suelos de clima cálido es más elevado y, por el bajo grado de evolución de los suelos de la zona de estudio, los óxidos de hierro liberados se conservan, casi íntegramente, a lo largo del perfil.

Los suelos de la mayor parte de la zona de estudio que fueron muestreados entre los 450 y 200 m s.n.m., se encuentran en las primeras fases de un amplio proceso evolutivo. Estos suelos poco evolucionados están aún muy empardecidos, y se parecen en muchos de sus caracteres a los suelos empardecidos de clima templado. Por lo cual, estos suelos pardos eutróficos tropicales de la zona de estudio, se pueden considerar aún en proceso de fersialitización. Los estudios de DRX y MEB-EDX realizados en la fracción del suelo menor que 2 μm indicaron que el material arcilloso dominante es de tipo 1:1, correspondiendo a caolinita, pero estructuralmente desordenada, además de goethita y maghemita.

La presencia de caolinita en suelos de clima tropical sería indicativo de etapas avanzadas de su evolución. Sin embargo, la edafogénesis de empardecimiento por la que atraviesan los suelos de la zona de estudio, indica su bajo grado evolutivo, por lo que la presencia y predominio de esta caolinita puede ser debida a una rápida remoción de bases del material parental, como olivino, piroxeno y plagioclasa, dadas las condiciones de intemperismo intenso que se presentan en la región (Ortiz-Villanueva, 1975). También, hay que considerar el hecho de que en el Japón se ha observado que algunas tefras contienen minerales arcillosos hidrotermalmente formados en los cráteres volcánicos antes de la erupción (Ossaka, 1982, *in* Shoji *et al.*, 1993), por lo que la caolinita desordenada que se encuentra en los suelos de la reserva, pudiera haber venido como mineral accesorio en la ceniza volcánica, habiendo sufrido alteraciones en su cristalinidad quizás antes de haber sido expulsada. Por otra parte, como el contenido de vidrio volcánico en el material parental es relativamente bajo, esto está conduciendo a que los materiales metaestables, como el alófono, se transformen rápidamente a fases minerales más estables, como la caolinita; estas transformaciones de materiales no cristalinos, generalmente, ocurren en el punto en donde los suelos de ceniza volcánica pasan de andisoles a suelos intergradados y a órdenes tales como Spodosol, Alfisol, Ultisol y Oxisol. Se ha observado una intensa formación de caolinita en Palehumults en Costa Rica, en Hapludults en Filipinas, y en Udalfs y Udults en Camerún (Shoji *et al.*, 1993). Los suelos de los perfiles 3 y 4 se ubicaron en el orden de los alfisoles y, el perfil núm. 3 puede ser incluido dentro del Gran Grupo de los Hapludalf pues el epipedón mólico tiene más de 1% de carbono orgánico (Soil Survey Staff, 1990).

Dentro de esta misma clase de suelos, se encontraron zonas que mostraron problemas de mal drenaje, pues al cavar el perfil núm. 5, se observó una capa de agua a una profundidad de 40 cm de la superficie. Este perfil fue hecho en una zona de depresión en donde se han formado condiciones particulares. En estas depresiones se concentran los elementos solubles (sílice y bases) liberados por la alteración de los minerales que ocurre en las cimas, lo cual pudiera estar induciendo a una fuerte neoformación o agradación masiva de arcillas ricas en sílice, como la esmectita (Duchaufour, 1984). Este tipo de arcillas y la cantidad en que están presentes, van frenando el libre

paso del agua. El perfil se observó con los colores dominantes de la zona (pardos).

Como se ha mencionado, la topografía ha tenido una acción importante en el desarrollo de estos suelos y, a través del proceso de rejuvenecimiento debido a actividad volcánica muy reciente, algunos suelos de la parte más baja de la reserva (150–200 m) se observaron sobre una capa de material parental enterrada que, incluso, imparte un color gris a estos suelos, presentándose también un movimiento y arrastre de los óxidos de hierro que, al precipitar y cristalizar, iniciaron, en la parte inferior de la pendiente, un proceso de concrecionamiento en masa, este fue el caso del perfil núm. 4.

Es conveniente mencionar que los climas subtropicales húmedos, con un período seco reducido, están caracterizados por tener suelos más evolucionados como los suelos ácidos ferruginosos (ultisoles). Sin embargo, la presencia de suelos fersialíticos en la zona de estudio con este mismo tipo de clima, se debe a circunstancias particulares como materiales de origen básicos, rejuvenecimientos por erosión y depositaciones recientes de materiales, que han frenado su evolución normal. Los perfiles de los suelos fersialíticos no van a presentar una fuerte acidez ya que se realiza un eficaz ciclo biogeoquímico de las bases y una humificación favorable que garantiza su almacenamiento (mull mesotrófico); además de un movimiento ascendente de las bases, principalmente, Ca^{++} y Mg^{++} por capilaridad, al iniciarse el período seco, lo que produce una resaturación del complejo de cambio absorbente (Duchaufour 1984).

Los suelos de la mayor parte de la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas, con altitudes entre 200 y 450 m, son suelos pardos eutróficos con pedones desarrollados y diferenciados; sin embargo, son suelos jóvenes que están aún en las primeras etapas de su evolución. Todavía están sometidos a la influencia de la materia orgánica y, por lo tanto, no están rubificados. Las arcillas predominantes son de tipo 1:1; el medio es todavía rico en Ca^{++} y Mg^{++} , y el complejo de cambio está altamente saturado. Mientras que los suelos de mayor altitud, aunque también son pardos, éstos se encuentran menos diferenciados y más desaturados. Todos son producto de la alteración rápida de ceniza volcánica provenientes de basalto y andesita basáltica, cuyos minerales son ricos en metales alcali-notérreos y bajos en sílice.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer patente su reconocimiento al M. en C. Nicolás Aguilera-Herrera, por la revisión crítica del manuscrito y sus valiosos comentarios. Un especial agradecimiento al Dr. Liberto de Pablo-Galán, por su colaboración en la identificación del material caolinítico desordenado. Asimismo, al Dr. Jorge Gama-Castro por sus sugerencias en la clasificación de los suelos, a la M. en C. Ernestina Vallejo Gómez por su colaboración en la separación de las arcillas, a la M. en C. Patricia Altuzar-Coello por los análisis de difracción de ra-

yos X, y a la M. en C. Margarita Reyes-Salas por los análisis de microscopía electrónica de barrido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera-Gómez, L., 1988, Petrología de las rocas ígneas del área de Los Tuxtlas, Veracruz: México, D.F., Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Tesis profesional, 58 p. (inédita).
- Aguilera-Herrera, Nicolás, 1965, Suelos de Ando—génesis, morfología y clasificación: Chapingo, Méx., Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados, Serie de Investigación, núm. 6, 12 p.
- 1969, Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soils in Mexico: Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Cent., IICA-OEA-UNESCO, Panel on volcanic ash soils of Latin-America, A.6.1-A.6.12.
- Allison, L.E., 1965, Organic carbon, *in* Black, C.A.; Evans, D.D.; Ensminger, L.E.; White, J.L.; y Clark, F.E., eds., *Methods of soil analysis: Madison, Wis., American Society of Agronomy Publisher, Agronomy series, núm. 9, part 2, p. 1367-1378.*
- Blake, G.R., 1965, Particle density, bulk density, *in* Black, C.A.; Evans, D.D.; Ensminger, L.E.; White, J.L.; y Clark, F.E., eds., *Methods of soil analysis: Madison, Wis., American Society of Agronomy Publisher, Agronomy series, núm. 9, part 2, p. 371-390.*
- Blakemore, L.C.; Searle, P.L.; and Daly, B.K., 1981, Soil Bureau Laboratory methods—a method for chemical analysis of soils: Nueva Zelanda, N.Z. Soil Bureau Sci. Rep. 10 A. DSIRO.
- Coll de Hurtado, Atlántida, 1970, Carta geomorfológica de la región costera de Los Tuxtlas, estado de Veracruz: Universidad Nacional Autónoma de México, Boletín del Instituto de Geografía, v. 3, mapa de escala 1:50,000, p. 23-28.
- Cuanalo de la Cerda, H.E., 1975, Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo: Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados, 40 p.
- Chizón-Sánchez, Eduardo, 1984, Relación suelo-vegetación en la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas, Veracruz—un análisis de la distribución de diferentes tipos de suelos en relación a la cubierta vegetal que soporta: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza, Tesis profesional, 66 p. (inédita).
- Duchaufour, Philippe, 1984, Edafología, edafogénesis y clasificación: Barcelona, Ed. Masson, 493 p.
- García-Aguirre, M.C., 1988, Land unit map of the northern region Los Tuxtlas, Veracruz: The Netherlands, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Tesis de maestría, 147 p. (inédita).
- Ibarra-Manríquez, Guillermo, y Sinaca-Colín, Santiago, 1987, Listados florísticos de México; VII, Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, Veracruz: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Listados, v. 7, p. 5.
- Jacobo-Albarrán, Jorge, y Aguilera-Gómez, L., 1988, Análisis petrográfico y determinaciones radiométricas por el método K-Ar de las rocas volcánicas de la región de Los Tuxtlas, Veracruz: Sociedad Geológica Mexicana, Convención Geológica Nacional, 9ª, México, D.F., p. 118-119 (resumen).
- López-Ramos, Ernesto, 1983, Geología de México, 3ª ed.: México, D.F., edición privada, t. 3, 453 p.
- Lot-Helgueras, Antonio, 1976, La Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas—pasado, presente y futuro, *in* Gómez, P.A.; Vázquez Y.C.; del Amo, R.S.; y Butanda, C.A., eds., *Investigaciones sobre la regeneración de selvas altas en Veracruz, México: México, D.F., Cia. Ed. Continental, p. 31-53.*
- Nelson, S.A., y González-Caver, Erika, 1992, Geology and K-Ar dating of the Tuxtla volcanic field, Veracruz, Mexico: *Bulletin of Volcanology, v. 55, p. 85-96*
- Ortiz, V.B., 1975, Edafología: Chapingo, México, Escuela Nacional de Agricultura, 291 p.
- Rico-Bernal, Faustino, 1972, Estudio de la sucesión secundaria en la Estación de Biología Tropical de Los Tuxtlas: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis profesional, 28 p. (inédita).
- Ríos-MacBeth, Fernando, 1952, Estudio geológico de la región de Los Tuxtlas, Veracruz: Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, v. 4, núm. 9-10, p. 325-376.
- Salvador-Flores, José, 1971, Estudio de la vegetación del cerro El Vigía de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas, Veracruz: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias, Tesis profesional, 78 p. (inédita).
- Sánchez, P.A., 1981, Suelos del trópico—características y manejo: Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura Cent. (IICA), 634 p.
- Shoji, S.; Nanzyo, M.; y Dahlgren, R.A., 1993, Volcanic ash soils—genesis, properties and utilization: Amsterdam, Elsevier, 288 p.
- Smith, B.F.L., 1994, Characterization of poorly ordered minerals by selective chemical methods, *in* Wilson, M.J., ed., *Clay mineralogy—spectroscopic and chemical determinative methods: Londres, Chapman & Hall, p. 333-357.*
- Soil Survey Staff, 1987, Keys to soil taxonomy: Nueva York, Cornell University, Agronomy Department, SMSS Monograph 6, International Soils.
- 1990, Keys to soil taxonomy, 4ª ed.: Blacksburg, Va., SMSS Monograph 19, 422 p.
- Sousa-S., Mario, 1968, Ecología de las leguminosas de Los Tuxtlas, Veracruz: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Biología, Anales, Serie Botánica, v. 39, núm. 1, p. 121-160.
- Van Wambeke, A., 1991, Soils of the tropics—properties and appraisal: Nueva York, McGraw-Hill, 343 p.
- Verma, S.P.; Salazar, V.A.; Negendank, J.F.W.; Milán-Navarro, M.L.I.; y Besch, T., 1993, Características petrográficas y geoquímicas de elementos mayores del campo volcánico de Los Tuxtlas, Veracruz, México: *Geofísica Internacional (México), v. 32, núm. 2, p. 237-248.*
- Vomocil, J.A., 1965, Porosity, *in* Black, C.A.; Evans, D.D.; Ensminger, L.E.; White, J.L.; y Clark, F.E., eds., *Methods of soil analysis: Madison, Wis., American Society of Agronomy Publisher, Agronomy series, núm. 9, part 1, p. 299-314.*