



Terra Latinoamericana

E-ISSN: 2395-8030

terra@correo.chapingo.mx

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo,
A.C.
México

Bautista-Zuñiga, Francisco; Estrada-Medina, Héctor; Jiménez-Osornio, Juan J. Ma.; González-Iturbe, José A.

Relación entre el relieve y unidades de suelo en zonas cársticas de Yucatán

Terra Latinoamericana, vol. 22, núm. 3, julio-septiembre, 2004, pp. 243-254

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.

Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57322301>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

RELACIÓN ENTRE EL RELIEVE Y UNIDADES DE SUELO EN ZONAS CÁRSTICAS DE YUCATÁN

Relationship Between Landforms and Soils in Karst Zones of Yucatán

Francisco Bautista-Zuñiga^{1‡}, Héctor Estrada-Medina¹, Juan J. Ma. Jiménez-Osornio¹ y José A. González-Iturbe²

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue el estudio de la relación entre los patrones de relieve y las unidades de suelo según la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) en zonas cársticas con dos zonas geológicamente diferentes, en Yucatán, México, así como la selección de un grupo mínimo de datos necesarios para la identificación de los suelos, que disminuyan el costo de levantamientos utilitarios. La zona de estudio se dividió en tres subzonas, una con calizas del Plioceno-Mioceno (PM), otra con calizas del Eoceno (E) y la frontera geológica (FG). Se caracterizaron los patrones de relieve y las rocas. En cada patrón de relieve, se realizaron pozos pedológicos en los montículos y planicies. Se identificaron los estadios y el grado de evolución del paisaje geopedológico. En las dos zonas geológicas y su frontera se reconocieron ocho patrones de relieve. Los suelos fueron: Leptosol lítico (LPli), Cambisol (CM) y Luvisol (LV). En los suelos de montículo, los suelos fueron LPli, Leptosol hiperesquelético (LPhsk) y Calcisol (CL). Se identificaron cuatro grados de evolución, I en PM, II en PM y en la FG; y III y IV en la zona E. En PM se presentaron los menores grados de evolución, como se esperaba. Los suelos de acuerdo con los grados de evolución del karst presentan las siguientes catenas: Leptosol-Leptosol, Leptosol-Cambisol, Calcisol-Cambisol, Leptosol-Luvisol. La utilización de los patrones de relieve en el estudio de suelos facilita la comprensión de su distribución, lográndose una caracterización más útil y práctica para la toma de decisiones relacionadas con el uso del recurso suelo.

Palabras clave: Evolución del karst, Calcisol, Leptosol, Luvisol, sistemas geopedológicos.

SUMMARY

The aim of this work was to study the relationship between the landform pattern and the soil unit using the World Reference Base for Soil Resources in karst zones with two geology zones in Yucatán, Mexico, as well as to identify a minimum data set of soil properties to reduce costs of utilitarian soil surveys. The study zone comprises three distinctive subzones with rocky limestone substrates dating from the Pliocene-Miocene (PM), Eocene (E), and geologic boundary (FG). Both landform patterns and superficial rocks were characterized; the soil pits were carried out on small hills and plains. The evolution of the geopedological landscape was then identified. Results showed eight landform patterns in the two areas and their boundaries. Soils in plains were Litic leptosol (LPli), Cambisol (CM), and Luvisol (LV). Soil on hills were: LPli, LPhsk, and CL. Four degrees of evolution were identified: I for PM, II for PM and the geological frontier, and III and IV in the Ezone. The zone PM had the lowest degree of evolution. Soils showed the following catenas according to the degrees of evolution: Leptosol-Leptosol, Leptosol-Cambisol, Calcisol-Cambisol, and Leptosol-Luvisol. The use of landform patterns for the study of soils facilitates the understanding of present-day soil distribution and makes characterizations more useful and practical for decision-making related to soil management.

Index words: Karst evolution, Calcisol, Leptosol, Luvisol, geopedological systems.

INTRODUCCIÓN

En México, desde la década de los 90s se ha promovido la elaboración de planes de ordenamiento ecológico del territorio (POET), para lo cual se recomienda, en primer término, la realización de un

¹Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.

[‡] Autor responsable (bzuniga@tunku.uady.mx)

³Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.

diagnóstico ambiental con cartografía temática a escala 1:20 000 (geomorfología, suelos, uso del suelo y vegetación).

En la metodología para el levantamiento de suelos, se ha establecido la influencia de los procesos geomorfológicos sobre sus propiedades y evolución (Nash, 1980; Gerrard, 1992). Esta influencia resulta en particular notable en zonas montañosas, con relieves abruptos, donde los procesos geomorfológicos son activos y las variaciones de los tipos edáficos resultan dependientes de la litología y de la geomorfología. En estos casos, las imágenes de satélite y fotografías aéreas son de gran utilidad en la realización de inventarios de suelos. Por esto, la norma oficial mexicana (NOM-023-RECNAT-2000) para la elaboración de cartografía de suelos 1:20 000 indica que las unidades de fotointerpretación se trazan sobre fotografía aérea de escala mayor que el mapa de publicación, como 1:10 000 p.e. Todos los linderos se verifican en toda su extensión mediante barrenaciones sistemáticas (SEMARNAP, 2000). Sin embargo, en las zonas cársticas, como en el centro y norte de Yucatán, se presentan planicies onduladas con montículos de 1 a 5 m de altura y con cobertura vegetal; por esta razón, las fotografías aéreas 1:20 000 no son de utilidad para trazar las unidades de mapeo en levantamientos de suelo. Además, se sabe de la gran heterogeneidad espacial, en la que se encuentran las unidades de suelo a unos cuantos metros de distancia (Duch, 1988; 1991; Pope *et al.*, 1996; Bautista-Zúñiga *et al.*, 2000; 2003).

En este estudio, se parte de la premisa siguiente: muchos componentes del paisaje son predecibles, así los suelos asociados a los componentes del paisaje como el relieve, también son predecibles; sin embargo, hay dos categorías de variabilidad en estudios de paisaje: la sistemática y al azar dependientes del grado de observación (Hall y Olson, 1991). En ambos casos, se requiere la caracterización de los patrones espaciales en las formas del paisaje para identificar el error sistemático y el error por azar, para: a) entender las relaciones existentes entre el mesorelieve y las unidades de suelos; b) la identificación del grado de evolución de la asociación relieve-suelos; y c) la identificación del grado de estabilidad, penestabilidad e inestabilidad (Cvijic, 1918; Arnold y Wilding, 1991; Geisert, 2000). En la actualidad, la relación meso y microrelieve-suelos se está estudiando debido al interés en el conocimiento de la variabilidad espacial para la instrumentación de planes de agricultura de precisión o también llamada

de sitio específico. Para esto, se requiere de la medición de la variabilidad espacial del suelo y determinar las escalas de ocurrencia para generar explicaciones sobre la variabilidad observable y determinar las posibilidades de predicción.

Por otro lado, los estudios de suelo en zonas de karst tropical son escasos y de tipo cualitativo debido a: a) la presencia de varios grupos de suelo en espacios menores que 1 ha; b) la dificultad de hacer inventarios de suelo en zonas de alta variabilidad espacial por el micro y mesorelieve; c) el “escaso valor agrícola” desde el punto de vista de la agricultura moderna (Isphording, 1975, 1984; Magier y Rabina, 1984; Caamal *et al.*, 2001; Weisbach *et al.*, 2002; Bautista-Zúñiga *et al.*, 2003).

A estos inconvenientes se le suma el costo elevado de los levantamientos de suelo (Zinck, 1990), lo cual ha ocasionado que las prácticas de manejo agrícola del suelo se realicen sin el conocimiento de sus propiedades químicas, físicas y biológicas, así como de los procesos involucrados, lo que origina: la presencia de problemas de degradación edáfica, sobre uso de insumos agrícolas y deficiente disposición de desechos.

Ante esta situación, en el mundo han surgido nuevos enfoques, tanto en la generación de datos de suelos, como en su manejo, por ejemplo: a) elaboración de mapas de atributos de suelo y clasificación y manejo de los epipedones (FAO 1998); b) tratamientos geoestadísticos (Cipra *et al.*, 2003); c) mapas morfométricos de suelos-terreno elaborados con base en modelos digitales de elevación (Wagenet *et al.*, 1991); d) generación de datos mediante funciones de transferencia; e) Mapas participativos de suelos/clases de tierra, con la participación activa de campesinos/agricultores, considerando el conocimiento indígena o local (Ortiz *et al.*, 1990; Barrera-Bassols y Zinck, 2000); y f) Mapas de paisaje edáfico considerando la integración de la geomorfología como base cartográfica y de la pedología como el contenido edáfico (Hartung *et al.*, 1991).

En esta investigación, se planteó como objetivo la generación de datos que le den precisión al estudio de la relación mesorelieve y unidades de suelo con el fin de identificar los patrones de variación de suelos en zonas de karst en Yucatán, México, así como la selección de un grupo de propiedades mínimas con las que se puedan identificar los suelos en levantamientos utilitarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de Estudio

El municipio de Hocabá se encuentra en la región central del estado de Yucatán a 20° 49' N y 89° 15' O, paisaje geomorfológico definido por Lugo y García (1999) como planicie estructural casi horizontal marginal a la costa de hasta 10 m de altitud (Figura 1). El clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano $AW_1(i')g$ (Orellana *et al.*, 1999). El tipo de vegetación corresponde a selva baja caducifolia (Flores y Espejel, 1994) y los principales usos del suelo son la producción de henequén y la agricultura de roza-tumba-quema. Por la geología, la zona de estudio se puede dividir en dos zonas: sureste con calizas del Plioceno-Mioceno (PM) (13 a 25 millones de años) de color crema y pardo, microcristalinas y con gran cantidad de fósiles y, en el resto de la zona, calizas del Eoceno (E) (58 millones de años) de grano fino silicatadas con escasa presencia de fósiles (INEGI, 1983).

Patrones de Relieve

Para la identificación, caracterización y localización geográfica de los patrones de relieve, se analizaron 45 sitios de muestreo fotográfico sobre fotografías aéreas 1:20 000 en escala de grises. Los sitios seleccionados fueron aquellos lugares que no presentaban cobertura vegetal y que permitían la observación de las formas del relieve. Cada sitio de muestreo fue de una extensión de 40 000 m² (200 x 200 m). En cada sitio, se contaron los montículos y se midió la superficie y el diámetro de las planicies de disolución con el módulo AREA del programa Idrisi (Eastman, 1997).

En campo, se revisaron 74 sitios de muestreo, en los cuales se tomó nota del tipo de patrón de relieve de acuerdo con el tamaño de los montículos (altura y diámetro) y la extensión de las planicies de disolución; además, se tomaron muestras de rocas y sus fragmentos.

Rocas

Se realizaron recorridos de campo para la toma de muestras de rocas en la zona que corresponden a la época PM, E y en la frontera geológica (FG) entre ambas (INEGI, 1983). En cada una, se tomaron muestras de rocas, tanto superficiales, como



Figura 1. Etapas evolutivas lineales del paisaje carsotectónico.

subsuperficiales, con la finalidad de explorar la relación entre las rocas, los patrones de mesorelieve y los suelos.

Los análisis realizados a las rocas y piedras fueron, en primer término, reacción al HCl a 10% y consistencia. También se realizaron observaciones con microscopio estereoscópico para la medición del tamaño de los cristales. Los minerales que componen las rocas se identificaron mediante análisis de difracción de rayos X (DRX) con un difractómetro Philips PW-1050. El contenido total de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, CaO, MgO, K₂O, Na₂O y P₂O₅ se midió por espectroscopía de fluorescencia de rayos X con un espectrómetro secuencial Siemens SRS 3000 automatizado.

Suelos

Una vez seleccionados los patrones de relieve, se realizaron pozos pedológicos en las dos formas de relieve, montículos y planicies. Los perfiles de suelo se describieron de acuerdo con Siebe *et al.* (1996).

Las muestras de suelo se tomaron por horizonte para la realización de análisis físicos y químicos. Los análisis de las muestras de suelo fueron: color por comparación con las tablas Munsell; separación y medición de la tierra fina y grava; textura por el método del densímetro de Bouyoucos (Okalebo *et al.*, 1993); el porcentaje de gravas por tamizado a 2mm, pH por el método potenciométrico relación suelo:agua 1:2.5 (Lean, 1982); carbonato de calcio equivalente por el método del calcímetro (USDA, 1996); materia orgánica con dicromato de potasio y aplicación de calor externo (Nelson y Sommers, 1982); capacidad de intercambio de cationes y cationes intercambiables desplazados con acetato de amonio y medidos con espectroscopía de absorción atómica. Los suelos se clasificaron de acuerdo con la World Reference Base (SICS-ISRIC-FAO, 1999).

Catenas y Evolución del Karst

El grado de evolución de las catenas se definió con base en dos criterios: 1) El grado de evolución del relieve, siendo menor en las planicies grandes y mayor en las planicies pequeñas según la teoría de evolución del karst (Cvijic, 1918; Mateo, 1981); y 2) El desarrollo de los suelos de la catena, considerando que existe una secuencia de desarrollo pedogénico de los grupos de suelo en zonas de karst que va de LP < CM < CL < LV (Gile *et al.*, 1966).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Patrones de Mesorelieve

El análisis de las fotografías aéreas, escala 1:20 000, permitió la identificación de 12 patrones de relieve; sin embargo, con el trabajo de campo se reconocieron ocho patrones de relieve (Cuadro 1). La verificación en campo reveló que, cuando los montículos se encuentran muy cerca uno de otro, en la fotografía aérea no se alcanza a observar la separación y dan la impresión de ser montículos grandes. Otra limitante para la identificación de los patrones de relieve con fotografías aéreas es la cobertura vegetal abundante que no permite la observación de los montículos. Esto debido a que, en la zona de estudio, se practica una agricultura de roza, tumba y quema que genera un mosaico de superficies que van de 1 a 6 ha que se encuentran desprovistas de vegetación dentro de una matriz de vegetación secundaria.

Los Patrones de relieve 3 y 5 incluyen dos tipos de montículos siendo, por lo mismo, los de mayor heterogeneidad espacial; dos de estos patrones de relieve se localizan en la zona E y una en FG.

Existen dos formas de relieve: montículos y planicies, es decir, formas positivas y neutras, respectivamente. El término local que los campesinos le dan a los montículos es "altillos" y a las planicies les denominan "planadas".

En la zona E, el tamaño de las planicies es menor que en las planicies de las zonas PM y FG (Cuadro 1). Esta situación es producto del escaso desarrollo del karst en el centro y norte de Yucatán.

Por otro lado, el escaso contraste en el relieve de la zona de estudio en comparación con el sur del estado de Yucatán, en el que los montículos de mayor tamaño y las planicies de mayor superficie, como lo mencionaron Lugo *et al.* (1992), se debe a la menor precipitación en el norte de Yucatán (990 mm año⁻¹) en comparación con la del sur (1200 mm).

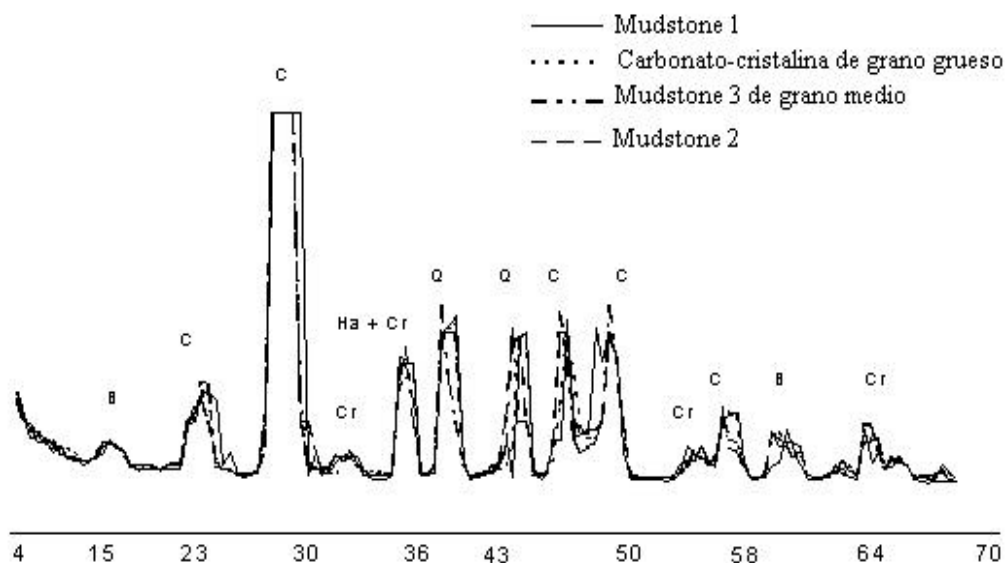
Rocas y sus Fragmentos

En la zona de estudio, se encontraron dos tipos de roca: un fragmento de roca (piedra) y otra con dos modalidades: roca y fragmento, nombradas por el tamaño del cristal predominante y por su posición en el perfil.

La roca más abundante en la superficie es la calcita con microcristales (Mudstone 1), presenta canales de disolución y también se llega a encontrar en la parte baja del perfil de los suelos someros de las planicies. En ella se forman colonias de algas que van solubilizando la roca hasta formar hoyos, localmente llamados "sartenejas", donde el suelo y la materia orgánica se acumulan. Es la roca con menor contenido de óxidos y es el material parental consolidado, que le imprime el carácter lítico a los suelos someros (LPi) (Figura 2; Cuadro 2). Se localiza principalmente en la zona PM.

Cuadro 1. Características de los patrones de relieve.

| Geología | Patrón de relieve | Diámetro de planicies | Diámetro de montículos | Altura de montículos | Número de montículos |
|----------|-------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| | | ----- m ----- | | | |
| PM | 7 | 36.2 ? 19.1 | 30 ? 5 | 3.5 ? 0.5 | 17 ? 4 |
| PM | 8 | 52.2 ? 2.8 | 25 ? 5 | 2.5 ? 0.5 | 10 ? 2 |
| PM | 4 | 36.5 ? 10.3 | 30 ? 10 | 4.0 ? 0.5 | 16 ? 1 |
| FG | 6 | 33.0 ? 3.5 | 25 ? 5 | 4.0 ? 0.5 | 17 ? 2 |
| E | 2 | 28.0 ? 8.8 | 25 ? 5 | 4.0 ? 0.5 | 18 ? 9 |
| E | 5 | 25.4 ? 17.0 | 15 ? 5 | 1.5 ? 0.5 | 9 ? 4 |
| | | | 25 ? 5 | 2.5 ? 0.5 | |
| E | 3 | 30.3 ? 4.8 | 15 ? 5 | < 1 | 17 ? 6 |
| | | | 30 ? 10 | 3.5 ? 0.5 | |
| E | 1 | 32.1 ? 2.4 | 25 ? 5 | 3.0 ? 0.5 | 12 ? 1 |



2?

Figura 2. Identificación de los minerales presentes en las rocas y fragmentos de caliza. B = bohemia, C = calcita, Q= cuarzo, Cr = cristobalita, Ha = halloisita.

Cuadro 2. Propiedades físicas y químicas de las calizas.

| Características | Roca (Mudstone 1) | Roca (Mudstone 2) | Fragmento de roca (Mudstone 3) | Roca y fragmentos (carbonato cristalina de grano grueso) |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|
| | Cristales <0.25 mm | Cristales <0.25 mm | Grano mediano < 10 mm > 0.05 mm | Granos grandes > 10 mm |
| Localización | Superficie y en el perfil | Parte baja del perfil | Superficie y parte baja del perfil | Superficie |
| Reacción al HCl | Débil | Muy fuerte | Fuerte | Muy débil |
| Grado de consolidación | Alto | Muy bajo | Bajo | Alto |
| SiO ₂ (%) | 0.19 | 0.58 | 1.61 | 0.59 |
| TiO ₂ (%) | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| Al ₂ O ₃ (%) | 0.48 | 0.49 | 1.03 | 0.49 |
| Fe ₂ O _{3t} (%) | <0.006 | <0.006 | 0.03 | <0.006 |
| MnO (%) | 0.005 | 0.005 | 0.008 | 0.003 |
| MgO (%) | 0.35 | 0.59 | 0.71 | 0.70 |
| CaO (%) | 55.1 | 54.9 | 52.8 | 54.6 |
| Na ₂ O (%) | <0.03 | <0.03 | <0.03 | <0.03 |
| K ₂ O (%) | <0.02 | <0.02 | <0.02 | <0.02 |
| P ₂ O ₅ (%) | 0.019 | 0.024 | 0.035 | 0.015 |

Otra roca con microcristales (Mudstone 2) que se localiza en la parte baja de los Calcisoles y bajo la roca en la mayoría de los Leptosoles, es de color blanco a crema, presenta estructura laminar de alta

porosidad, es la roca de menor consolidación; su consistencia es muy semejante al banco de caliza no petrificado.

La calcita de granos medianos (Mudstone 3) en general se encuentra en la superficie y en la parte baja del perfil, como fragmento de roca que, al romperse por efecto del intemperismo o de la quema agrícola, forma gravas (diámetro de 0.2 a 2 cm), es porosa y presenta el mayor contenido de óxidos insolubles de silicio, aluminio y hierro (2.93%). Es común en los suelos de montículo y predomina en la zona E.

La calcita con granos grandes (carbonato-cristalina) es de color blanco, se encuentra en la superficie del suelo, se rompe con el calor de la quema agrícola para formar piedras de diámetro entre 15 y 25 cm. Este tipo de roca se localiza en los suelos esqueléticos e hiperesqueléticos.

La presencia de halloisita en las rocas y piedras revela que este aluminosilicato, también encontrado en los suelos de la región, no es de neoformación, sino heredado, lo cual explica su presencia en suelos de alta saturación de bases.

El contenido de óxidos totales revela la predominancia de la caliza sobre la dolomita que, además, no se identificó con el análisis de DRX.

Unidades de Suelo

Suelos de planicie. Los suelos localizados en las planicies no presentan fases pedregosas en comparación con los suelos de montículo en los que abundan las piedras (50 a 100%). Los suelos de planicie presentan contenido de materia orgánica de 11.4 a 17.2%, valores menores que en los suelos de montículo que van de 21.3 a 49.9% (Cuadro 3).

En cuanto a la clasificación del suelo, en las planicies del paisaje cárstico del municipio de Hocabá, se encuentran las unidades: 1) Luvisol crómico (LVcr) por la presencia de un horizonte Bt y CIC mayor que 24 cmol(+) kg⁻¹ de arcilla en todo el perfil; 2) Cambisol epiléptico (CMlep) y Cambisol endoléptico (CMlen) y endoesquelético (CMskn), todos por la presencia del horizonte B cámbico y por la profundidad y pedregosidad, respectivamente; y 3) Leptosol lítico (Lpli) por la profundidad inferior a 10 cm (Cuadro 3).

Los suelos de las planicies son la parte de la catena por la que se infiltra la mayor cantidad de agua hacia el acuífero, por esto son los suelos más lavados y con menor contenido de carbonato de calcio en la tierra fina. La secuencia de desarrollo de estos suelos, producto de la disolución de la caliza y de la translocación de arcilla, es del tipo Lpli < CM < LV (Figura 3).

La principal restricción para el cultivo es la profundidad efectiva inferior a 10 cm en Lpli.

Suelos de montículo. En los montículos, se encuentran Leptosoles (LP) y Calcisoles (CL), ambos presentan alto contenido de materia orgánica de 23.5 a 49.9% y de 21.3 a 45.0%, respectivamente. Ambos grupos tienen escasa cantidad de tierra fina por las fases pedregosas y líticas que presentan y son de colores oscuros que van del pardo al negro (Cuadro 4; Figura 4).

Los LP son: 1) Leptosol hiperesquelético (LPhsk) por la pedregosidad mayor que 90% en peso; 2) Lpli por la profundidad menor que 10 cm; y 3) Leptosol húmico calcárico, por el contenido de materia orgánica y el carbonato de calcio menor que 40% (profundidad mayor que 10 cm, no es réndzico y no es mólico).

Los CL son: 1) Calcisol epiléptico esquelético (CLlpt sk) y 2) Calcisol epiléptico esquelético (CLlep-sk);. Los CL encontrados se localizan en la zona E.

La secuencia de desarrollo de los suelos de montículo, producto de la disolución y del grado de consolidación de la caliza, puede ser de dos formas: 1) Lpli < LPhsk en el caso de la caliza consolidada y 2) LP < CL en la caliza de menor consolidación (Figura 4).

En los montículos hay principalmente suelos con problemas de profundidad efectiva. En estos suelos, se dificulta la utilización de maquinaria agrícola, tanto por la pendiente, como por la pedregosidad superficial.

Las propiedades de los suelos, sencillas y económicas, que pueden ser de utilidad para la realización de esquemas de clasificación utilitaria son: posición en el relieve, color, profundidad, pedregosidad o rocosidad, y el contenido de CaCO₃. Las fases y la posición en el relieve se pueden utilizar como criterio de mecanización potencial, y la profundidad como criterio de extensión radical potencial o profundidad efectiva.

Catenas y Evolución del Karst

De acuerdo con las características del mesorelieve y el desarrollo de los suelos, se identificaron cuatro grados de evolución, I en la zona PM, II en PM y FG, III y IV en E (Cuadro 5; Figura 5). Las zonas de menor tiempo geológico de formación y con rocas microcristalinas presentaron los menores grados de evolución, como se ha encontrado en otros trabajos realizados en la misma zona de estudio (Pope *et al.*, 1996).

Cuadro 3. Propiedades de los suelos de las planicies.

| H | Prof . | Color seco | Estructura | Aren | Arc | Limo | Clase textural | Gravas | Piedras | CaCO ₃ | pH | MO | CIC | Ca | Mg | Na | K | CIC (Arc) | SB | |
|---------|--------|------------|------------|----------|------|-------|----------------|-----------|---------|-------------------|---------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----|-----|
| | cm | | | - - - | % | - - - | | - - - - - | % | - - - - - | % | - - - - - | -cmol+kg ⁻¹ | - - - - - | -cmol+kg ⁻¹ | - - - - - | - - - - - | % | | |
| LVro | A1 | 0-6 | 5YR2.5/3 | G-f-a | 47.1 | 25.5 | 27.5 | M | 0 | 0 | 0.117.4 | 11.4 | 36.2 | 21.6 | 3.6 | 0.1 | 1.1 | 142 | 73 | |
| PR 1 | A2 | 6-20 | 5YR3/3 | Bsa-f-m | 48.0 | 26.0 | 26.0 | M | 0 | 0 | 0.086.6 | 8.1 | 25.5 | 12.6 | 2.5 | 0.3 | 0.3 | 98 | 61 | |
| | Bt1 | 20-45 | 2.5YR3/6 | Ba-m-b | 40.2 | 37.7 | 22.1 | M-Arc | 0 | 0 | 0.086.7 | 3.8 | 24.9 | 15.3 | 0.9 | 0.2 | 0.3 | 66 | 67 | |
| | Bt2 | 45-85 | 2.5YR3/6 | Ba-m-b | 30.4 | 47.7 | 22.5 | Arcilloso | 0 | 0 | 0.087.0 | 3.1 | 19.0 | 16.2 | 1.8 | 0.4 | 0.3 | 40 | 97 | |
| | Bt3 | 85-109 | 2.5YR4/6 | Ba-m-b | 36.8 | 39.2 | 24.0 | M-Arc | 0 | 0 | 0.087.1 | 3.3 | 15.1 | 16.2 | 1.0 | 0.3 | 0.3 | 39 | 100 | |
| | Bt4 | 109-150 | 2.5YR4/6 | Ba-m-b | 34.3 | 37.3 | 28.4 | M-Arc | 0 | 0 | 0.097.2 | 2.7 | 10.4 | 14.8 | 3.2 | 0.3 | 0.3 | 28 | 100 | |
| CMlep | A | 0-11 | 5YR3/3 | Bsa-f-a | 48.8 | 20.6 | 31.4 | M | 0 | 0 | 0.067.6 | 15.8 | 39.7 | 31.5 | 2.7 | 0.3 | 0.8 | 193 | 89 | |
| PR 2 | Bw1 | 11-23 | 5YR3/3 | Bsa-f-a | 48.0 | 19.6 | 32.4 | M | 0 | 0 | 0.077.6 | 13.8 | 47.8 | 31.0 | 2.9 | 0.1 | 4.4 | 244 | 81 | |
| | Bw2 | 23-38 | 5YR3/2 | Ba-mf-b | 46.1 | 24.5 | 29.4 | M | 0 | 0 | 0.097.5 | 11.7 | 29.2 | 25.8 | 3.2 | 0.2 | 0.4 | 119 | 100 | |
| LVcr | A | 0-14 | 5YR4/4 | Bsa-f-a | 47.0 | 20.6 | 32.4 | M | 0 | 0 | 0.417.9 | 12.3 | 39.5 | 35.2 | 8.3 | 0.1 | 3.7 | 192 | 100 | |
| PR 3 | Bt1 | 14-34 | 5YR4/5 | Bsa-mf-m | 39.2 | 30.4 | 30.4 | M-Arc | 0 | 0 | 0.076.8 | 5.1 | 11.6 | 13.0 | 1.4 | 0.1 | 1.3 | 38 | 100 | |
| | Bt2 | 34-50 | 5YR4/5 | Ba-mf-m | 42.2 | 32.3 | 25.5 | M-Arc | 0 | 0 | 0.076.8 | 4.2 | 20.6 | 23.4 | 0.7 | 0.2 | 0.6 | 64 | 100 | |
| | Bt3 | 50-80 | 5YR4/3 | Ba-mf-m | 37.3 | 37.2 | 25.5 | M-Arc | 0 | 0 | 0.066.9 | 3.6 | 24.4 | 19.1 | 0.7 | 0.1 | 0.4 | 66 | 86 | |
| CMlen | A1 | 0-4 | 5YR4/3 | G-f-a | 45.1 | 21.6 | 33.3 | M | 5.2 | 0 | 0.527.4 | 18.8 | 46.0 | 39.0 | 3.6 | 0.2 | 2.3 | 213 | 100 | |
| PR 4 | A2 | 4-22 | 5YR4/4 | Bsa-mf-m | 49.0 | 19.6 | 31.4 | M | 0 | 0 | 0.137.3 | 12.3 | 33.2 | 38.5 | 2.3 | 0.1 | 1.0 | 169 | 100 | |
| | Bw1 | 22-33 | 5YR3/6 | Ba-mf-m | 54.9 | 15.7 | 25.5 | M-Arn | 5.3 | 0 | 0.137.3 | 8.1 | 29.0 | 30.0 | 2.5 | 0.1 | 0.4 | 185 | 100 | |
| | Bw2 | 33-55 | 5YR4/3 | Ba-mf-b | 61.8 | 16.5 | 22.5 | M-Arn | 3 | 0 | 0.397.5 | 9.1 | 25.5 | 19.5 | 1.2 | 0.1 | 0.3 | 155 | 100 | |
| | Bw3 | 55-75 | 5YR4/3 | Ba-mf-b | 51.0 | 17.5 | 32.5 | M | 2.3 | 0 | 1.537.5 | 5.5 | 34.8 | 35.5 | 1.0 | 0.1 | 0.2 | 199 | 100 | |
| CMlen | A1 | 0-5 | 5YR4/4 | Bsa-mf-m | 47.0 | 19.0 | 34.0 | M | 1 | 0 | 0.147.1 | 15.4 | 33.9 | 23.5 | 11.7 | 0.1 | 2.0 | 178 | 100 | |
| PR 5 | A2 | 5-19 | 5YR3/3 | Bsa-mf-m | 51.0 | 21.6 | 28.0 | MAA | 0 | 0 | 0.116.8 | 11.0 | 38.1 | 26.6 | 3.4 | 0.1 | 0.9 | 176 | 82 | |
| | Bw | 19-32 | 5YR3/6 | Ba-mf-b | 57.0 | 18.0 | 25.0 | M-Arn | 0 | 5 | 0.087.4 | 7.9 | 42.0 | 23.0 | 5.4 | 0.1 | 1.2 | 233 | 71 | |
| | C | 32-54 | 5YR3/6 | Ba-mf-b | 65.0 | 19.0 | 16.0 | M-Arn | 0 | 90 | 0.117.7 | 6.9 | 45.5 | 20.7 | 12.2 | 0.1 | 0.6 | 239 | 74 | |
| CMlen | A1 | 0-4 | 7.5YR3/3 | G-mf-m | 58.0 | 18.0 | 24.0 | M-Arn | 0 | 0 | 0.47.0 | 14.8 | 53.3 | 36.2 | 34.4 | 0.1 | 2.1 | 296 | 100 | |
| PR 6 | A2 | 4-15 | 7.5YR3/4 | Bsa-mf-m | 51.0 | 18.0 | 31.0 | M-Arn | 0 | 0 | 0.086.4 | 11.6 | 67.5 | 25.0 | 45.6 | 0.1 | 0.6 | 375 | 100 | |
| | Bw1 | 15-30 | 5YR4/4 | Ba-mf-m | 53.0 | 18.0 | 29.0 | M-Arn | 0 | 0 | 0.086.3 | 7.7 | 66.2 | 33.2 | 46.6 | 0.1 | 0.3 | 368 | 100 | |
| | Bw2 | 30-42 | 5YR4/4 | BA-mf-b | 52.0 | 20.0 | 28.0 | M-Arn | 0 | 0 | 0.086.4 | 9.5 | 75.4 | 39.6 | 51.2 | 0.1 | 0.3 | 377 | 100 | |
| | B/C | 42-62 | 5YR4/4 | Ba-mf-b | 48.0 | 20.0 | 32.0 | M | 0 | 0 | 0.096.7 | 10.9 | 56.2 | 26.8 | 32.2 | 0.1 | 0.3 | 281 | 100 | |
| LPli-ro | A | 0-9 | 5YR 4/4 | Bsa-mf-m | 43.0 | 19.0 | 38.0 | M | 0 | 0 | 0.377.4 | 14.0 | 47.2 | 23.6 | 16.6 | 0.1 | 2.8 | 248 | 100 | |
| CMskn | A1 | 0-9 | 5YR3/3 | Bsa-mf-m | 42.0 | 26.0 | 32.0 | M | 0 | 0 | 0.10 | 7.2 | 17.2 | 51.2 | 32.0 | 21.4 | 0.1 | 0.8 | 197 | 100 |
| | A2 | 9-17 | 5YR4/4 | Bsa-mf-b | 50.0 | 22.0 | 28.0 | M | 0 | 0 | 0.09 | 7.0 | 11.0 | 49.9 | 27.8 | 25.3 | 0.7 | 0.6 | 100 | |
| PR 8 | | | | mf-b | | | | | | | | | | | | | | 227 | | |
| | Bw1 | 17-39 | 5YR4/6 | Ba-mf-b | 51.0 | 21.0 | 28.0 | M | 0 | 0 | 0.06 | 6.9 | 10.0 | 43.2 | 30.5 | 15.9 | 0.1 | 0.3 | 206 | 100 |
| | Bw2 | 39-56 | 5YR4/6 | Ba-mf-b | 58.0 | 16.0 | 26.0 | M-Arn | 0 | 20 | 0.08 | 7.0 | 6.9 | 44.1 | 29.2 | 18.8 | 0 | 0.2 | 276 | 100 |
| | C | 56-100 | 5YR4/6 | Ba-mf-b | 47.0 | 19.0 | 33.0 | M | 23 | 67 | 0.09 | 7.2 | 7.2 | 29.2 | 20.5 | 12.2 | 0.1 | 0.3 | 154 | 100 |

PR = patrón de relieve; M = migajón; M-Arn = migajón arenoso; M-Arc = migajón arcillosos; MAA = migajón arcillo-arenosos. Forma de los agregados (G= granular, Bsa = bloques subangulares, Ba = bloques angulares). Tamaño de agregados (mf = muy fino, f = fino, medio)- Estabilidad (b = baja, m = moderada, a = alta).

La altura y el diámetro de los montículos no tienen relación con el grado y con la evolución, sólo el diámetro de la planicie indica que a mayor grado de evolución del karst, menor tamaño de planicie (25 a 32 m); esto parecería una contradicción con la teoría del karst en ambientes tropicales, en los cuales dominan las formas positivas del relieve y a mayor grado de evolución presentan mayor altura de las formas de relieve (Mateo, 1981; Trudgill, 1985). Sin embargo, como el karst de la zona de estudio se encuentra en su etapa de formación reciente, las formas positivas del relieve (montículos) comienzan a formarse, motivo por el cual la expresión altitudinales

escasa y los piedemontículo son extensos, lo que reduce el tamaño de las planicies en los mayores grados de evolución.

En las regiones de mayor precipitación pluvial (1047 mm), como en el sur de la península de Yucatán, el relieve y los suelos muestren un mayor grado de evolución del karst, es decir, etapa tardía de relictos caracterizada por la presencia de planicies del doble al triple de tamaño de las encontradas en este estudio y con predominancia de LV (Lugo, 1999).

En este estudio, las planicies de menor tamaño corresponden a las zonas de mayor grado de evolución (IV y V). Por el contrario, en las etapas reciente y

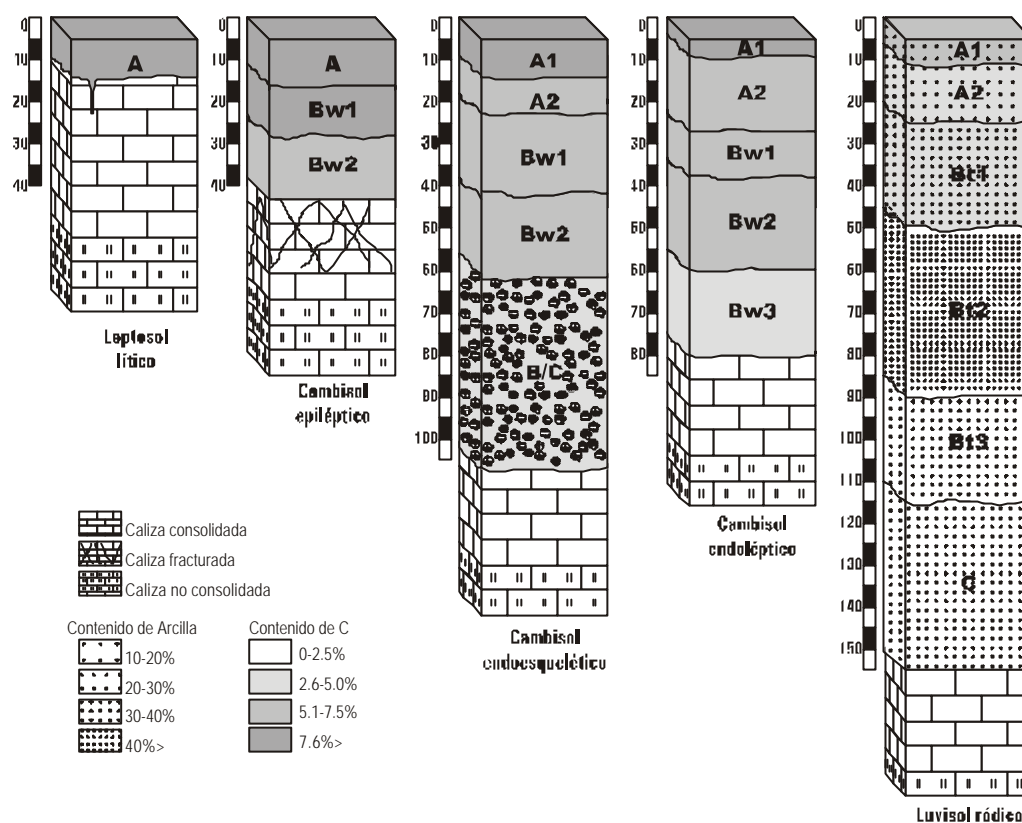


Figura 3. Modelos de la secuencia de desarrollo de los suelos de planicie-

Cuadro 4. Propiedades de los suelos localizados en los montículos.

| | H | Prof. | Color seco | Estructura | Are | Arc | Limo | Clase textural | Gravas | Piedras | CaCO ₃ | pH | MO | CIC | Ca | Mg | Na | K | SB |
|-------------------|-------|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------------|-----------|-----------|-------------------|-----|------|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | | cm | | | - - - - % | - - - - % | - - - - % | | - - - - % | - - - - % | - - - - % | | % | - - - - cmol+kg ⁻¹ | - - - - % | - - - - % | - - - - % | - - - - % | - - - - % |
| CLptp-sk PR= 2 | Ak | 0-4 | 10YR3/3 | G-f-a | 49.0 | 19.6 | 31.4 | M | 22.1 | 0 | 29.6 | 8.0 | 21.3 | 35.5 | 25.4 | 4.0 | 0.3 | 1.8 | 100 |
| | Bk1 | 4-20 | 10YR4/3 | Bsa-f-m | 53.9 | 31.4 | 14.7 | MAA | 25.4 | 15 | 35.3 | 8.2 | 11.3 | 16.7 | 14.9 | 1.1 | 0.3 | 1.0 | 100 |
| | Bk2 | 20-35 | 10YR4/1 | Bsa-mf-b | 52.9 | 21.6 | 25.6 | MAA | 20.4 | 20 | 36.4 | 8.3 | 12.9 | 18.2 | 16.5 | 1.1 | 0.3 | 0.8 | 100 |
| | Ckm | 35-40 | | | | | | | | | <50.0 | | | | | | | | |
| | IIAk | 40-60 | 10YR5/1 | G-mf-b | 59.8 | 19.6 | 20.6 | M-Arn | 22.5 | 15 | 37.3 | 8.6 | 10.6 | 14.4 | 12.1 | 0.4 | 0.2 | 0.5 | 100 |
| LPhsk PR=3 | A | 0-1 | 7.5YR2.5/1 | G-mf-m | 70.6 | 15.7 | 13.7 | M-Arn | 50.1 | 30 | 12.4 | 8.0 | 45.0 | 66.2 | 54.0 | 1.8 | 0.1 | 3.3 | 89 |
| | Ak/C | 1-45 | 7.5YR3/1 | G-mf-b | 58.8 | 17.6 | 23.5 | M-Arn | 67.2 | 25 | 4 | 8.0 | 36.4 | 19 | 19.2 | 5.4 | 0.4 | 3.1 | 100 |
| LPhsk-rz PR=4 | A | 0-7 | 10YR2.5/1 | G-f-m | 63.7 | 15.7 | 20.6 | M-Arn | 50.9 | 40 | 31.5 | 7.8 | 34.5 | 54.1 | 38.4 | 12.6 | 0.2 | 0.9 | 100 |
| | A/C | 7-23 | 10YR2.5/1 | G-mf-m | 71.6 | 13.7 | 14.7 | M-Arn | 50.8 | 45 | 43.0 | 7.7 | 28.6 | 24.4 | 39.0 | 27.0 | 0.2 | 1.0 | 100 |
| CLlep-sk PR=5 | A | 0-1 | 7.5YR2.5/1 | G-mf-b | 55.0 | 20.0 | 25.0 | MAA | 30.4 | 10 | 41.42 | 8.0 | 30.6 | 40.7 | 38.6 | 0.7 | 0.2 | 2.8 | 100 |
| | Ak/Ck | 1-15 | 7.5YR4/3 | G-mf-m | 62.7 | 13.7 | 23.5 | M-Arn | 36.4 | 17 | 33.9 | 8.1 | 19.4 | 32.2 | 35.3 | 1.1 | ND | 0.6 | 100 |
| | Ck/Ak | 15-50 | 7.5YR4/3 | Bsa-mf-b | 62.7 | 15.7 | 21.6 | M-Arn | 33.7 | 20 | 42.2 | 8.0 | 19.5 | 26.7 | 35.3 | 0.9 | 0.5 | 0.6 | 100 |
| LPhu PR=6 | A | 0-3 | 7.5YR3/1 | G-mf-b | 65.0 | 26.0 | 9.0 | MAA | 36.6 | 5 | 32.8 | 7.3 | 31.0 | 56.2 | 44.4 | 34.2 | 0.2 | 0.6 | 100 |
| | A/C | 3-18 | 7.5YR3/1 | Bsa-mf-b | 58.0 | 18.0 | 24.0 | M-Arn | 45.2 | 10 | 28.3 | 7.5 | 24.5 | 53.2 | 34.0 | 25.8 | 0.2 | 0.6 | 100 |
| LPli-rz | Ah | 0-10 | 7.5YR3/1 | G-f-m | 61.0 | 14.0 | 25.0 | M-Arn | 42.2 | 0 | 46.0 | 7.7 | 23.5 | 40.2 | 23.0 | 12.3 | 0.1 | 0.5 | 90 |
| LPhsk-hu PR=8 | Ak1 | 0-2 | 7.5YR2.5/1 | G-mf-m | 69.0 | 11.0 | 20.0 | M-Arn | 31.0 | 0 | 36.5 | 7.5 | 49.9 | 59.9 | 32.8 | 34.1 | 0.1 | 1.1 | 100 |
| | Ak2 | 2-22 | 7.5YR3.5/1 | G-mf-b | 67.0 | 13.0 | 20.0 | M-Arn | 0 | 90 | 43.6 | 7.7 | 42.6 | 37.6 | 41.8 | 22.3 | 0.1 | 1.2 | 100 |
| | C/A | 22-80 | 7.5YR4/1 | Bsa-mf-b | 71.0 | 12.0 | 17.0 | M-Arn | 0 | 95 | 46.4 | 7.8 | 18.0 | 28.6 | 21.1 | 8.4 | 0.1 | 0.2 | 100 |

PR = patrón de relieve; M = migajón; M-Arn = migajón arenoso; M-Arc = migajón arcillosos; MAA = migajón arcillo-arenosos. Forma de los agregados (G = granular; Bsa = bloques subangulares; Ba = bloques angulares). Tamaño de agregados (mf = muy fino; f = fino); Estabilidad (b = baja; m = moderada; me = media; a = alta).

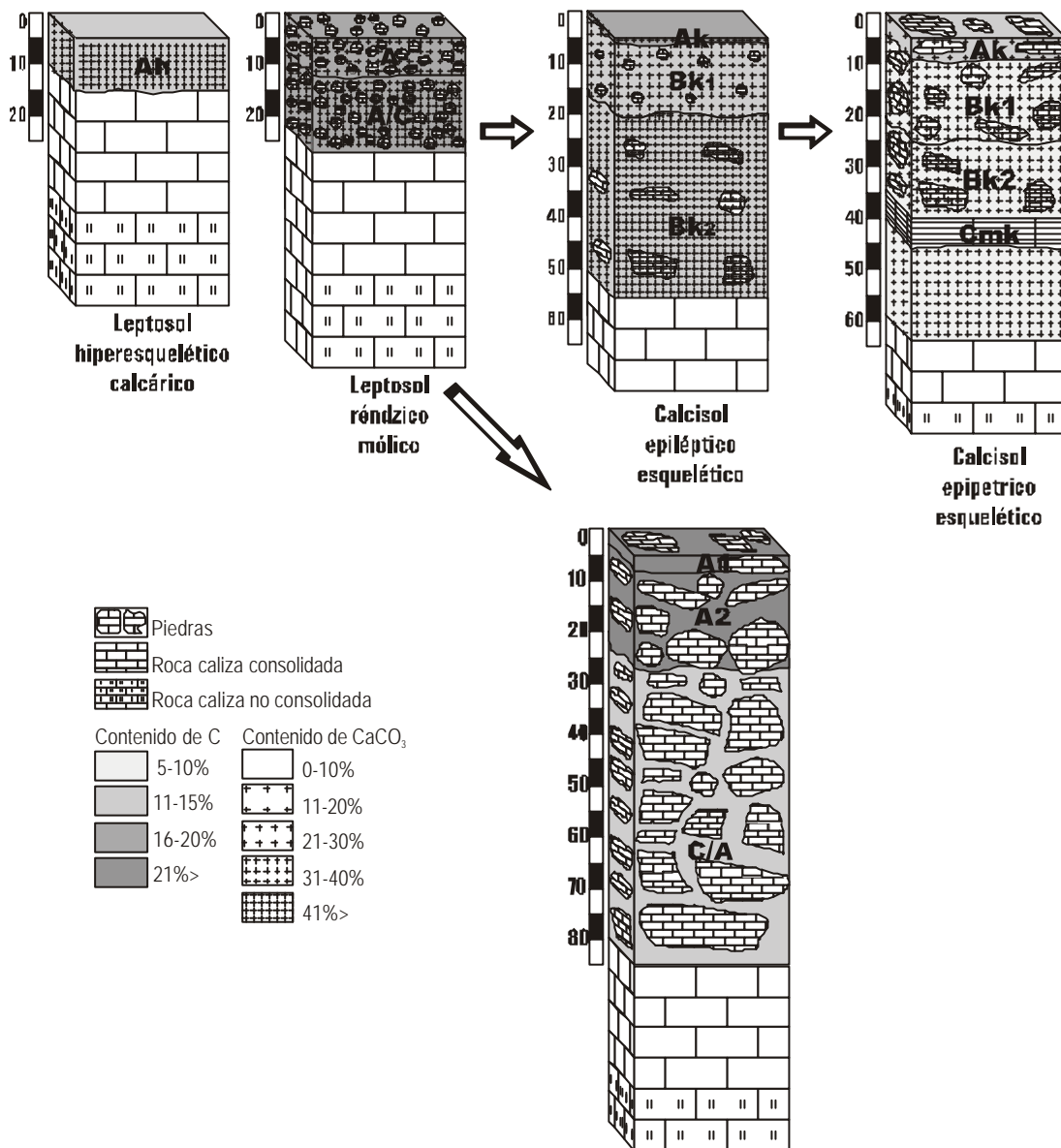


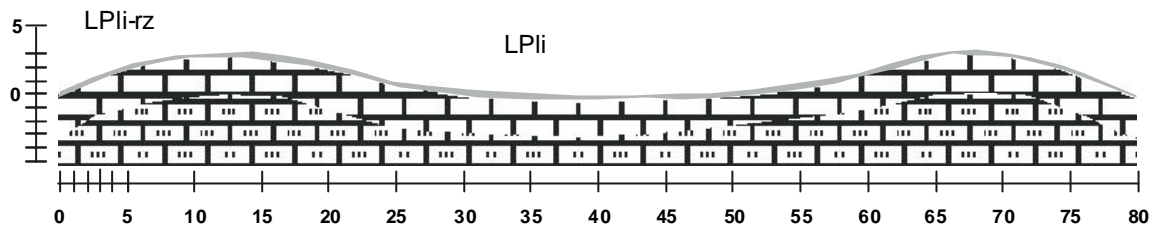
Figura 4. Modelos de la secuencia de desarrollo de los suelos de montículo.

tardía de relictos, se presentan planicies grandes en comparación con las formas positivas del relieve (Cvijic, 1918; Mateo, 1981).

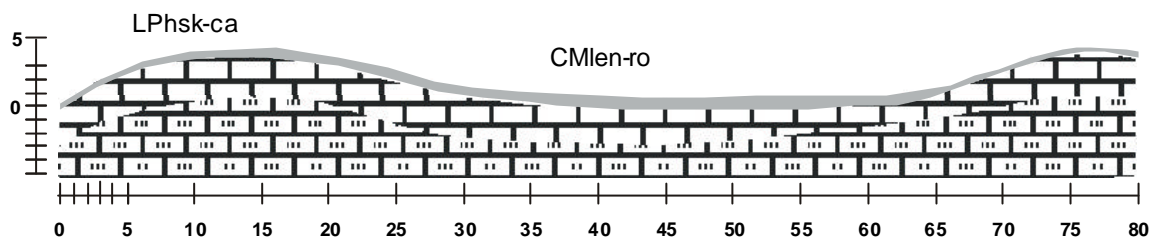
En la zona de estudio, el contraste es claro entre las dos zonas, presentándose catenas de menor desarrollo en PM, del tipo LP-LP y LP-CM, en comparación con las catenas del E en las que hay suelos de mayor desarrollo pedogénico, tanto en montículos, como en planicies del tipo CL-CM y LP-LV (Cuadro 5).

CONCLUSIONES

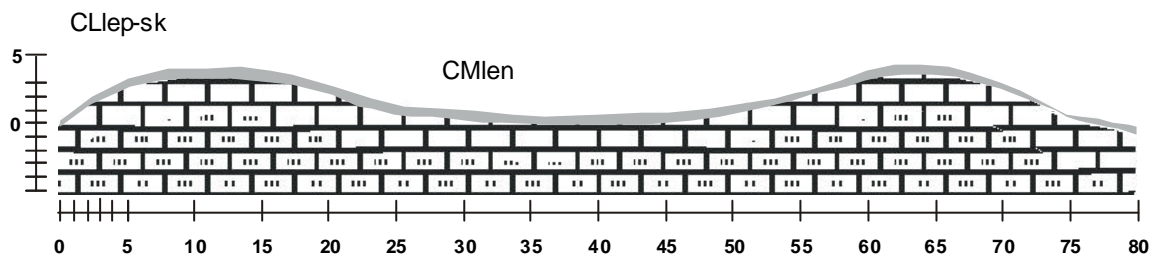
- En la zona PM, la relación mesorelieve-suelos presenta los menores grados de evolución, por lo contrario, en la zona E se localizan los grados de evolución mayores dentro del paisaje cárstico. A mayor grado de evolución, el diámetro de las planicies es menor y los suelos son de mayor desarrollo.
- La variabilidad sistemática de los suelos en los sistemas geopedológicos estudiados revela que, en la



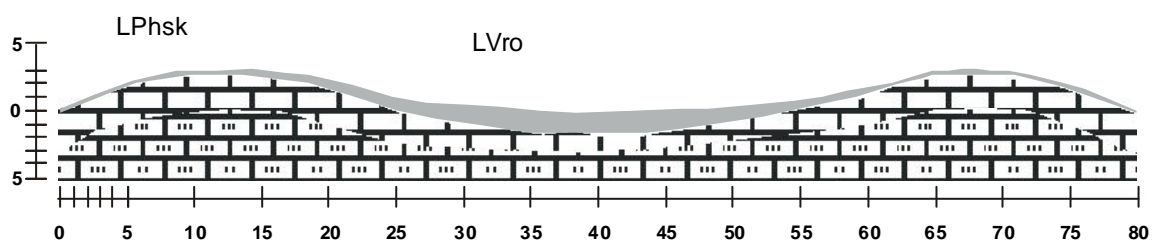
Grado de evolución I en Plioceno-Mioceno



Grado de evolución II en Plioceno-Mioceno



Grado de evolución III en Eoceno



Grado de evolución IV en Eoceno

Figura 5. Modelos de los grados de evolución de los geosistemas cársticos con base en los patrones de relieve y las catenas.

Cuadro 5. Grados de evolución de las catenas.

| Grado de evolución | Geología | Suelos montículo-planicie |
|--------------------|----------|---------------------------|
| I | PM | LPli-rz y LPli |
| II | PM | LPhsk-hu y CMskn |
| II | PM | LPhu-ca y CMlen |
| II | FG | LPhsk-ca y CMlen |
| III | E | CLptp y CMlep |
| III | E | CLlep-sk y CMlen |
| IV | E | LPhsk y LVcr |
| IV | E | LPhsk y LVro |

PM = plioceno-mioceno; FG = frontera geológica; E = eoceno.

zona PM y en la FG en las que se encuentran los menores grados de evolución del karst, se presentan catenas del tipo LP-LP y LP-CM. En la zona de mayor grado de evolución, la secuencia de suelos de las catenas son CL-CM y LP-LV. La variabilidad al azar en el suelo se debe: a) al tipo de roca predominante en el caso del grupo LP; b) a la profundidad y a la presencia de roca y/o piedras en el grupo CM; y c) a la dinámica de los carbonatos de calcio en el caso del grupo CL.

-Las propiedades de los suelos que pueden ser utilizadas en la realización de levantamientos rápidos con fines utilitarios son: profundidad, cantidad y profundidad de los fragmentos de roca, acumulación de carbonato de calcio y acumulación de arcilla en el horizonte B.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para la realización de los estudios de maestría del segundo autor. Al CONACyT (Clave R31624-B) y al American Institute for Global Change Research por el financiamiento. Al Dr. A. J. Zinck por la revisión del manuscrito y a los revisores anónimos.

LITERATURA CITADA

- Arnold, R.W. y L.P. Wilding. 1991. The need to quantify spatial variability. pp. 1-8. *In*: Mausbach, M.L. y L.P. Wilding (eds.). Spatial variabilities of soils and landforms. Special Publication 28. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Barrera-Bassols, N. y A.J. Zinck. 2000. Ethnopedology in a worldwide perspectives: An annotated bibliography. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science. Enschede, The Netherlands.
- Bautista-Zúñiga, F., H. Estrada-Medina, C. Delgado-Carranza y M. Sosa-Padilla. 2000. Propuesta metodológica para el levantamiento de terrenos en zonas cársticas de la Península de Yucatán. *Jaina* 10: 7-9.
- Bautista-Zúñiga, F., J. Jiménez-Osornio, J. Navarro-Alberto, A. Manu y R. Lozano. 2003. icorelieve y color del suelo como propiedades de diagnóstico en Leptosoles cársticos. *Terra* 21: 1-11.
- Caamal-Maldonado, A., J. Jiménez-Osornio, A. Torres-Barragan y A. Anaya. 2001. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agron. J.* 93: 27-36.
- Cipra, J., E. Kelly, S. Lynn, L. Neve, M. Petersen, T. Wheeler y S. Blecker. 2003. Use of geostatistics and remotely sensed data in conducting the soil survey of rocky mountain national park. *Soil Survey Horizons* 44: 9-15.
- Cvijic, J. 1918. "Hydrographie souterraine et évolution morphologique du karst". *Rev. Trab. Inst. Geog. Alpine* 6(4): 375-426.
- Duch, J. 1988. La conformación territorial del estado de Yucatán: Los componentes del medio físico. Centro Regional de la Península de Yucatán (CRUPY), Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México.
- Duch, J. 1991. Fisiografía del estado de Yucatán: Su relación con la agricultura. Centro Regional de la Península de Yucatán (CRUPY), Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, estado de México, México.
- Eastman, R.J. 1997. Idrisi para Windows 2.0. Clark University Graduate School of Geography. Worcester, MA.
- FAO. Food and Agricultural Organization. 1998. Topsoil characterization for sustainable land management. Land and Water Development Division. Rome, Italy.
- Flores, S. e I. Espejel. 1994. Tipos de vegetación de la Península de Yucatán. *Etnoflora yucatanense*, Fascículo 3. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Geisert, D.K. 2000. La cartografía morfoedafológica: Un método integral para la evaluación del recurso suelo. pp. 1-14. *In*: López-Olguín, J.F., A. Aragón y M.A. Valera (eds.). Métodos de investigación en las ciencias ambientales. Publicación Especial. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Puebla, México.
- Gerrard, J. 1992. Soil Geomorphology: An integration of pedology and geomorphology. Chapman y Hall. London, UK.
- Gile, L.H., F.F. Peterson y R.B. Grossman. 1966. Morphological and genetic sequences of carbonate accumulations in desert soils. *Soil Sci.* 101: 347-354.
- Hall, G.F. y C.G. Olson. 1991. Predicting variability of soils from landscape models. pp. 9-24. *In*: Mausbach, M.L. y L.P. Wilding (eds.). Spatial variabilities of soils and landforms. Special Publication 28. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Hartung, S.L., S.A. Scheinost y R.J. Ahrens. 1991. Scientific methodology of the national cooperative soil survey. pp. 39-49. *In*: Mausbach, M.L. y L.P. Wilding (eds.). Spatial variabilities of soils and landforms. Special Publication 28. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 1983. Carta geológica 1:250 000. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, D.F.
- Ishording, W.C. 1975. Chemical differentiation of temperate and tropical limestone derived clays. *Trans. Gulf Coast Assoc. Geol. Soc.* 29: 252-256.

- Ispording, W.C. 1984. The clays of Yucatán, Mexico. pp. 59-73. *In: Singer, A. y E. Galan (eds.). Palygorskite-Sepiolite: Occurrences and uses.* Elsevier. Amsterdam, The Netherlands.
- Lean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement. pp 199-224. *In: Page, A.L., R.H. Miller y D.R. Keeney (eds.). Methods of soil analysis. Part 2.* American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Lugo, J. y M.T. García. 1999. Geomorfología. pp. 159-162. *In: Chico, P.P. (ed.). Atlas de procesos territoriales de Yucatán.* Universidad Autónoma de Yucatán. Yucatán, Mérida, México.
- Lugo, J., J.F. Aceves-Quezada y R. Espinosa-Pereño. 1992. Rasgos geomorfológicos mayores de la península de Yucatán. *Universidad Nacional Autónoma de México. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 10(2): 143-150.
- Magier J. e I. Rabina. 1984. Rock fragments and soil depth as factor in land evaluation of terra Rossa. *Special Public. Soil Sci. Soc. Am.* 13: 13-30.
- Mateo, J. 1981. Morfología cárstica. Ministerio de Educación Superior. La Habana, Cuba.
- Nash, D. 1980. Forms of bluffs degraded for different lengths of time in Emmet County. *Earth Surface Processes* 5: 331-383.
- Nelson, D.W. y L.E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp 535-577. *In: Page, A.L., R.H. Miller y D.R. Keeney. Methods of soil analysis. Part 2.* American Society of Agronomy-Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Okalebo, R., K.W. Gathua y P.L. Woomer. 1993. Laboratory methods of soil and plant analysis: A working manual. Tropical Soil Biology and Fertility Program. Nairobi, Kenya.
- Orellana, L.R., M. Balam, I. Bañuelos, E. Miranda, J. González-Iturbe, F. Herrera y J. López. 1999. Evaluación climática. pp. 164-166. *In: Chico, P.P. (ed.). Atlas de procesos territoriales de Yucatán.* Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México.
- Ortiz, C., D. Pájaro y V. Ordaz. 1990. Manual para la cartografía de clases de tierras campesinas. Serie Cuadernos de Edafología 15. Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.
- Pope, O., A. Ocampo, G.L. Kinsland y R. Smith. 1996. Surface expression of the Chicxulub crater. *Geology* 24(6): 527-530.
- SEMARNAP. Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. 2000. Proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-023-RECNAT-2000, que establece las especificaciones técnicas que deberá contener la cartografía y la clasificación para la elaboración de los inventarios de suelo. México, D.F.
- SICS-ISRIC-FAO. 1999. Base referencial mundial del recurso suelo. *World Soil Resources Report* 84. Roma, Italia.
- Siebe, C., R. Jahn y K. Stahr. 1996. Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. *Publicación Especial 4.* Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, estado de México.
- Trudgill, S. 1985. Limestone geomorphology. *Geomorphology texts.* Longman, New York.
- USDA. United States Department of Agriculture. 1996. Soil survey laboratory methods manual. *Soil survey investigations report 42, Version 3.0.* Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. Washington, DC.
- Wagenet, R.J., J. Bouma y R.B. Grossman. 1991. Minimum data sets for use of soil survey information in soil interpretative models. pp. 161-182. *In: Mausbach, M.L. y L.P. Wilding (eds.). Spatial variabilities of soils and landforms.* Special Publication 28. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Weisbach, C, H. Tiessen y J. Jiménez-Osornio. 2002. Soil fertility during shifting cultivation in the tropical karst soils of Yucatán. *Agronomie* 2: 253-263.
- Zinck, J.A. 1990. Soil survey epistemology of a vital discipline. *International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC).* Enschede, The Netherlands.