

Suelos de humedal del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México

• Lenin E. Medina-Orozco* •

Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, México

*Autor de correspondencia

• Norma E. García-Calderón • Felipe García-Oliva •

Universidad Nacional Autónoma de México

• Elena Ikkonen •

Academia Rusa de las Ciencias

Resumen

Medina-Orozco, L. E., García-Calderón, N. E., García-Oliva, F., & Ikkonen, E. (septiembre-octubre, 2014). Suelos de humedal del lago de Pátzcuaro, Michoacán, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 5(5), 111-124.

En México, en particular en el estado de Michoacán, el estudio sobre la génesis, morfología y función de los suelos hidromórficos no ha sido explorado de forma suficiente, pese a contar con grandes extensiones de humedales continentales, como la zona vadosa del lago de Pátzcuaro. Se estudiaron dos humedales representativos de la costa del lago de Pátzcuaro, Michoacán: uno de ellos saturado permanentemente, con desarrollo de gleysoles, y un humedal con inundación periódica, fluvisoles, desarrollados en una gran planicie aluvial. Los resultados indican la presencia de un gleysol háplico (colúvico, éutrico) (WRB, 2006), de coloración pardo oscuro, con cantidades moderadas de carbono orgánico (0.87% promedio), arcilloso > 30%, de estructura predominante de poliedros subangulares y prismas con segregación de sesquióxidos ferromanganesos, sobresaliendo los hiporrestos de óxidos de hierro, y presencia de restos de ostrácodos en la mayor parte del perfil. Destaca una discontinuidad litológica. Por su parte, en el humedal aluvial se presenta un fluvisol háplico (hiperhúmico, éutrico) (WRB, 2006), un suelo con matriz de color pardo grisáceo, con altos contenidos de materia orgánica en todo el perfil (> 7 %) y restos de ostrácodos. Son suelos con alta saturación de bases (> 50 %). Tres zonas de humedad son bien definidas al interior de los suelos: una zona baja de endosaturación permanente, una zona intermedia producto de la capilaridad, y una zona de secado-humedecimiento alternado en los epipedones.

Palabras clave: zona vadosa, suelos hídricos, rasgos hidromórficos, discontinuidad litológica.

Abstract

Medina-Orozco, L. E., García-Calderón, N. E., García-Oliva, F., & Ikkonen, E. (September-October, 2014). Wetland Soils from Lake Patzcuaro, Michoacan, Mexico. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 5(5), 111-124.

In Mexico and particularly in the state of Michoacan, the genesis, morphology and function of hydromorphic soils has not been sufficiently studied, despite having large areas of continental wetlands such as the vadose region of Lake Patzcuaro. We studied two wetlands representative of the shore of Lake Patzcuaro, Michoacan. One was permanently saturated with Gleysols development and the other was had periodic flooding and fluvisols development in a large floodplain. The results indicate the presence of haplic gleysol (colluvic, eutric) (WRB, 2006), dark brown in color, with moderate amounts of organic carbon (0.87 % average), clay > 30 %, predominant structure of subangular polyhedra and prisms with segregation of sesquioxides ferromanganese protruding from hypo-coatings of iron oxides, and the presence of traces of ostracods throughout most of the profile. Lithological discontinuity is prominent. The alluvial wetlands contain haplic fluvisol (hyperhumic, eutric) (WRB, 2006) with soil having a grayish brown matrix, a high content of organic matter throughout the profile (> 7 %), and traces of ostracods. These soils have a high base saturation (> 50 %). Three wet zones are well defined within the soil: a lower permanent endosaturacion zone, an intermediate zone resulting from capillarity and an alternating wetting-drying zone in the epipedons.

Keywords: Hydric soils, hydromorphic features, lithological discontinuity, vadose region.

Recibido: 03/12/12
Aceptado: 12/02/14

Introducción

Los suelos hidromórficos presentan un nivel freático elevado o condiciones de saturación prolongada debido a procesos de inundación o estancamiento durante un periodo suficientemente largo como para desarrollar condiciones anaerobias en el suelo; estos suelos son reconocidos también como de humedal o hídricos (USDA-NRCS, 2006).

Los suelos temporalmente sumergidos y subacuáticos en México han sido escasamente estudiados, excepto para investigaciones muy puntuales. Por otro lado, en general, se acepta la relación directa entre inundación temporal de un suelo y expresión de rasgos redoximórficos; sin embargo, la anterior presunción no es del todo cierta, como ocurre en suelos donde el agua intersticial es rica en oxígeno disuelto o ésta se renueva de forma constante (Van Diepen, 1984; Driessen, Deckers, Spaargaren, & Nachtergaele, 2001).

Los estudios realizados en nuestro país sobre suelos hidromórficos pueden ser divididos en tres grupos: 1) suelos formados en cuencas altas de montaña no drenados; 2) con el mismo origen que los anteriores, pero drenados artificialmente, ambos con influencia completamente continental; y 3) suelos de lagunas costeras con influencia oceánica.

El primer grupo de estudios se ha realizado en suelos lacustres desarrollados en depresiones de cuencas de montaña de climas templados subhúmedos, típicos del centro del país. Entre ellos se encuentran los llamados "Chinampas" (antrosoles térricos) en la Ciudad de México, con marcada discontinuidad en las propiedades físicas y químicas del perfil (Ramos, Cajuste, Flores, & García, 2001; Bello, García, Ortega, & Krasilnikov, 2011; Reyes-Ortigoza & García-Calderón, 2004). En relación con suelos de montaña en Michoacán, Ramos (2008) informa de gleysoles de reciente formación a partir de suelos arcillosos en la zona vadosa de la presa de Umécuaro.

El segundo grupo de suelos estudiados se formó en condiciones similares a los anteriores, en cuencas altas templadas, pero drenados de modo artificial, como los del ex lago de Texcoco, actualmente con cultivos en su mayor parte. Son suelos que se formaron por depósito en aguas tranquilas con desecación abrupta (Segura, Gutiérrez, Ortiz, David, & Gómez, 2000) y presentan pH de neutro a alcalino (6.9-10.6 salinos). En estos suelos se reportan rasgos micromorfológicos del carbonato de calcio formado en los diferentes ambientes evolutivos del lago con pérdida de rasgos redoximórficos (Gutiérrez, Stoops, & Ortiz, 1998; Ortiz et al., 2000; Segura et al., 2000).

El tercer grupo de suelos se desarrolló por influencia marina y vegetación de mangle, como los del estado de Tabasco. Se han reportado y descrito gleysoles y fluvisoles (Gutiérrez & Zavala, 2001; Rivera, Ferrera, Volker, Fernández, & Rodríguez, 2002). Además de histosoles con formación de materiales sulfhídricos (Moreno et al., 2002; Rivera et al., 2002). Por otro lado, Sedov et al. (2007) reportan suelos saturados de humedad en una toposecuencia del estado de Yucatán, clasificándolos como leptosol gléyico y calcisoles, con pH neutro (de 6.3 a 7.5); mientras Solleiro-Rebolledo et al. (2011) muestran la distribución de los suelos en humedales de Yucatán, reportando leptosoles, calcisoles, histosoles y fluvisoles.

Por otro lado, en el estado de Michoacán se encuentran tres de los lagos más importantes de México: Chapala, Cuitzeo y Pátzcuaro, donde se desarrollan suelos de humedal lacustre; sin embargo, en Pátzcuaro se cuenta con escasa información de suelos desarrollados en la zona vadosa. Por lo anterior, resulta relevante conocer la morfología y clasificar los suelos hidromórficos de la costa del lago.

El presente estudio tuvo como objetivo describir la morfología y los rasgos hidromórficos de los suelos en campo, y clasificarlos con base en los criterios del IUSS Grupo de Trabajo WRB 2007, en dos humedales del lago de Pátzcuaro, Michoacán.

Materiales y métodos

El lago de Pátzcuaro se localiza en el Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT), en donde se reportan más de mil conos volcánicos. Es una cuenca de tipo endorreica de origen tectovolcánico, dominada por derrames de lavas basálticas y andesíticas (Garduño-Monroy *et al.*, 2009). El primer humedal de estudio se ubica en la ribera de Ichupio, municipio de Tzintzuntzan, con coordenadas 19° 38' 22.6" N y 101° 35' 34.3" O, a una altitud de 2 040 msnm, restringido al pastoreo de ganado. El suelo se ha formado sobre un colapso de lavas basálticas del cerro El Metate (Garduño-Monroy *et al.*, 2009) en un piedemonte que ingresa al interior del lago, con una pendiente promedio de 5%. El segundo sitio se ubica en el humedal de Jarácuaro, municipio de Erongarícuaro, con coordenadas 19° 34' 00" N y 101° 41' 17.1" O, con altitud de 2 040 msnm (figura 1).

El suelo se ha formado sobre una secuencia de sedimentos y depósitos de ceniza volcánica del Cuaternario: Holoceno y Pleistoceno

sobre el graben de Pátzcuaro, que conforma una gran planicie aluvial (Israde-Alcántara, Garduño-Monroy, Fisher, Pollar, & Rodríguez-Pascua, 2005; Garduño-Monroy *et al.*, 2009) con pendiente promedio < 2%. El sitio es utilizado como potrero para ganadería extensiva. Las principales fuentes de alimento del hato son pastos hidrófitos y vegetación hidrófita enraizada emergente (figura 2).

Régimen climático de la zona lacustre

El clima zonal de acuerdo con las modificaciones de García (1988) es templado subhúmedo con lluvias en verano, distribuidas de junio a septiembre, con una precipitación total anual de 880 mm, temperatura media anual de 16.8 °C; el mes más cálido es junio; la clave climática es C (w²)(w)b(e)g (cuadro 1).

Descripción y colecta de muestras de suelos

En cada humedal se realizaron cinco perfiles en la zona vadosa para representar la diversidad

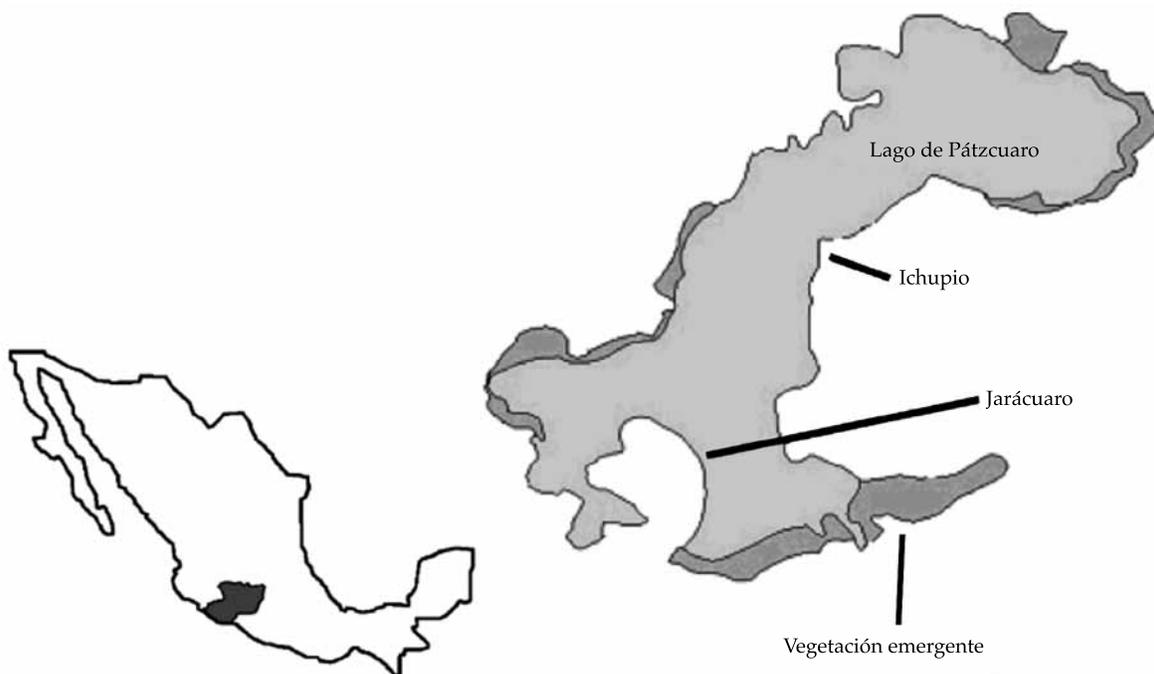


Figura 1. Localización de los humedales estudiados, Ichupio (gleysol) y Jarácuaro (fluvisol).



Figura 2. Sitios de estudio: Ichupio (izquierda) y Jarácuaro (derecha).

Cuadro 1. Balance hídrico para 29 años de registros de la estación climatológica de Pátzcuaro.

Variable	Meses												Total anual*
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	
Precipitación (mm)	37.1	13.8	6.4	8.4	37.1	145.1	206.0	196.4	166.5	72.7	19.4	11.1	919
ETP (mm)	26.3	35.3	46.4	58.7	67.0	68.1	58.5	57.8	55.7	49.6	38.8	30.7	593
Balance hídrico (mm)	-28.2	-49.7	-61.6	-90.4	-82.2	47.1	224.4	285.9	249.3	133.9	3.8	-39	
T media aire (°C)	13.0	14.3	16.4	18.4	19.6	19.7	18.3	18.2	17.9	16.9	15.0	13.3	16.8
T máxima aire (°C)	22.6	24.4	27.1	29.2	29.6	27.2	25.0	24.9	24.4	24.5	23.9	22.7	25.5
T mínima aire (°C)	3.6	4.0	5.7	7.6	9.7	12.2	11.7	11.5	11.3	9.3	6.0	4.1	8.1

*29 años de registros.

puntual del suelo (Ibáñez & Saldaña, 2011). La descripción morfológica y los rasgos redoximórficos se basaron en Schoeneberger, Wysocki, Benham, & Broderson, (2002) y USDA-NRCS (2006). El primer suelo fue descrito en 2008 en Ichupio (gleysol); el segundo fue descrito en 2009 en Jarácuaro (fluvisol). Las calicatas se abrieron hasta 110 y 100 cm de profundidad, respectivamente.

Se colectaron muestras de suelo de 2 kg aproximadamente por cada horizonte del perfil. Las muestras fueron envasadas en bolsas de plástico y se trasladaron a laboratorio para el análisis de propiedades físicas y químicas básicas (cuadros 4 y 5). Además, se colectaron muestras del suelo con un cilindro de volumen conocido para determinar la densidad aparente

del suelo (Blake & Hartge, 1986); el suelo se colocó en bolsas de plástico herméticamente selladas para su posterior pesado y secado en el laboratorio.

Descripción morfológica y clasificación de los suelos

La designación de los horizontes se realizó inicialmente en campo con base en la descripción morfológica y propiedades diagnósticas perceptibles de acuerdo con la guía de descripción de suelos de FAO (2009) y se revisaron posteriormente con los análisis de laboratorio. Los suelos se clasificaron con la clave de la Base Referencial del Recurso Suelo (IUSS Grupo de Trabajo, 2007).

Respuesta química del suelo en campo

En los perfiles del suelo y los agregados del mismo se realizaron las siguientes pruebas: pH y conductividad eléctrica (CE) en condiciones de campo en solución 1:1 (agua:suelo) con un medidor portátil marca Hanna®, prueba recomendada en suelos con condiciones de óxido-reducción (Schoeneberger *et al.*, 2002); prueba de reducción del Fe⁺⁺ adicionando solución α , α' dipiridil al 0.2% de (M/V) en una solución de ácido acético al 10% (V/V), registrando la prueba como positiva cuando ocurrió cambio de color o negativa cuando no se desarrolló el color (Schoeneberger *et al.*, 2002). La presencia de carbonatos se realizó adicionando HCl (10%); se registró la efervescencia y la clase de efervescencia presentada se revisó utilizando lupa 10X para observar la presencia o ausencia de carbonatos secundarios. La aplicación de H₂O₂ (30%) se utilizó como indicador de óxidos de manganeso (MnO₂), que en ocasiones están enmascarados por la materia orgánica (Schoeneberger *et al.*, 2002). La presencia de olores a “huevos podridos” se utilizó como indicador de posible presencia de H₂S (sulfuro de hidrógeno) y registrado como indicador de compuestos sulfurosos (USDA-NRCS, 2006). El color de la matriz del suelo en húmedo y de los rasgos redoximórficos fue registrado en campo, utilizando como referencia los cuadros de color estándar de Munsell® (Munsell Soil Color Charts, 2000) sobre un agregado o masa del suelo recién expuesto, con la finalidad de evitar cambios en el color causado por la oxidación del suelo (Schoeneberger *et al.*, 2002).

Análisis en laboratorio

Se analizaron los suelos de acuerdo con métodos estandarizados y por duplicado para todas las propiedades físicas y químicas. Los análisis básicos fueron los siguientes: textura por el método del hidrómetro de Bouyocous (Gee & Bauder, 1986); densidad aparente del suelo por el método del cilindro (Blake & Hartge, 1986); densidad de partículas por

el método del picnómetro (Blake & Hartge, 1986); porosidad total del suelo (Danielson & Sutherland, 1986); materia orgánica y carbono orgánico por combustión húmeda de Walkley y Black (Nelson & Sommers, 1996); CIC por acetato de amonio 1M, pH 7 (Rhoades, 1982); color del suelo seco y húmedo por comparación con los cuadros de Munsell® (Munsell Soil Color Charts, 2000). Por la dificultad que implica medir la conductividad hidráulica en campo en suelos saturados, se estimó para cada horizonte, según el modelo propuesto por Saxton y Rawls (2006), teniendo como parámetros de entrada el porcentaje relativo de la fracción de tierra fina, materia orgánica, densidad aparente y conductividad eléctrica.

Resultados y discusión

Morfología y clasificación del suelo

Morfología del gleyisol de Ichupio

El suelo está conformado por ocho capas con la siguiente secuencia de horizontes: Ao-A-Bg1-Bg2-Bg3-2Wgr1-2Wgr2-2Wgr3. Es un suelo mineral bien desarrollado dominado por arcillas y limos, de estructura predominante de bloques angulares y subangulares de tamaños medios y gruesos desde la superficie y hasta los 36 cm donde se expresa una estructura prismática bien definida hasta los 60 cm, asociado seguramente a una zona con periodos de secado y humedecimiento lento (Ciolkosz & Waltman, 1995). Se continúa una estructura de bloques, asociada con la zona de saturación permanente del suelo. A los 85 cm se presenta una discontinuidad litológica, sin evidencias de que sea material parental diferente al que dio origen al material suprayacente.

El incremento de arcilla en el horizonte B no se asocia a la migración de arcillas, evidenciado por la ausencia de revestimientos, lo que sugiere la formación *in situ*, vinculado posiblemente a los ciclos de secado y humedecimiento. El perfil presenta una coloración uniforme en los primeros 36 cm de color pardo amarillento

en seco y pardo oscuro en húmedo, que corresponde a las capas temporalmente inundadas. No se presentan motas en las primeras cuatro capas, lo que sugiere un carácter óxico. Por debajo de esta profundidad y hasta 90 cm, la matriz del suelo es de color pardo y pardo muy oscuro, en seco y húmedo, respectivamente. Se presenta un contrastante entre la matriz y la expresión de moteados de color rojizo como hiporrevestimientos de pedos y en canales de raíces abandonadas, lo que sugiere una zona con periodos largos de saturación de agua. Las capas más profundas, > 90 cm, presentan colores pardo amarillento a pardo en seco y pardo muy oscuro cuando húmedo, correspondiente a las zonas endosaturadas del manto freático (cuadro 2).

Las condiciones de humedad del suelo no impiden un buen desarrollo de raíces en los primeros 85 cm, siendo abundantes y comunes, de tamaños medios y finos. Sin embargo, a partir de 85 cm, se presentan raíces negruzcas y un fuerte olor sulfuroso o de pudrición de la raíz. Lo anterior sugiere una zona limitante para el desarrollo de las raíces y corresponde con el nivel freático. La conductividad hidráulica saturada al interior del perfil es baja, posiblemente por el alto contenido de arcilla del perfil (> 20%), con valores inferiores de conductividad de 10 mm h⁻¹ en el epipedón e inferior a 4 mm h⁻¹ en el resto del perfil (cuadro 3). Lo anterior sugiere una pedotransferencia de agua y de secado y humedecimiento lento entre horizontes, con zonas interpedales de flujo preferencial.

Discontinuidad litológica del gleysol. Esta discontinuidad se encuentra entre los 85 y 90 cm. Se presenta como acumulación de sedimentos finos, característico de suelos con procesos coluviales. Asimismo, no se tiene evidencia de que sean materiales distintos entre la discontinuidad litológica y los horizontes suprayacente, característicos de las discontinuidades litológicas (Phillips, 2004; FAO, 2009). Por otra parte, esta discontinuidad coincide con la zona donde se observó una limitante para el crecimiento radicular.

Rasgos redoximórficos. Los rasgos redoximórficos del suelo se presentan por debajo de los 27 cm y hasta 110 cm, en donde se exhibe segregación de sesquióxidos de hierro y manganeso sobre la matriz del suelo. En esta zona se forman motas con bordes difusos y colores rojo amarillento (5 YR 5/8), y se presentan como revestimientos sobre los pedos y en zonas interpedales, que contrastan con el color de la matriz del suelo. Además se presentan motas parduzcas de manganeso de bordes difusos y de tamaño pequeño (< 5 cm) (cuadro 2, figura 3). El contraste de luminosidad e intensidad del color de las motas, comparado con la matriz del suelo, es prominente, excepto para la discontinuidad litológica (de 85 a 90 cm). Este moteado sugiere la presencia de lepidocrocita (FeOOH), el cual es un polimorfo metaestable de la goethita (Fanning & Fanning, 1989), además de motas pardas que sugieren la presencia de manganeso. No se detectaron concreciones o durinódulos en el perfil del suelo, lo anterior puede interpretarse como una difusión lenta del oxígeno dentro del perfil y al interior de los agregados, lo cual no ha permitido que se formen las concreciones. Las motas rojizas se localizan principalmente en las partes medias del perfil, mientras que el manganeso se ubica de modo preferente en las zonas bajas del mismo, lo anterior producto de la mayor movilidad del manganeso (Ponnamperuma, 1972).

Reacción del suelo. El pH del suelo presenta heterogeneidad dentro del perfil, siendo ligeramente menor en la zona más profunda. Los valores oscilan entre 7.7 y 8.5, indicando condiciones de basicidad y sin tener condiciones salinas (CE < 0.8 dS m⁻¹). Por otro lado, la CIC del suelo es media (de 15 a 20 Cmol_c kg⁻¹) y saturación de bases > 50% (cuadro 6), siendo los cationes dominantes que saturan la CIC, Mg y K; lo anterior corresponde con un calificador éutrico.

La reacción del suelo fue positiva al alfa dipiridil en todo el perfil durante la época húmeda, lo que sugiere la presencia de hierro reducido (Fe⁺⁺), indicando condiciones reductoras del suelo, así como el olor de

reducción de sulfatos, siendo más fuerte a mayor profundidad. En contraste, durante el periodo de estiaje no se presentó reacción positiva en los horizontes Ao y A1, que corresponde con los horizontes que no desarrollan motas de sesquioxidos.

El suelo presentó condiciones ligeramente calcáreas, pero no se observaron evidencias de carbonatos secundarios y esta reacción se debe a restos de conchas de moluscos distribuidos a lo largo del perfil del suelo.

Clasificación. Con base en la descripción de campo y los resultados analíticos del laboratorio (cuadros 2, 4, 5 y 6), el suelo fue clasificado como *gleysol háplico* (colúvico, éutrico) en WRB (2006). El patrón de colores rojizos y parduzcos en la cara de los agregados y entre los agregados, y los indicadores de condiciones reductoras fue un diagnóstico para clasificarlos como *gleysol*. La presencia de una discontinuidad y arreglo irregular de las arenas le da un carácter colúvico. Finalmente, la saturación de bases mayor a 50% (cuadro 6) determina el calificador éutrico.

Morfología del fluvisol de Jarácuaro

El suelo presentó la siguiente secuencia de horizontes genéticos: Ah-Ae1-Ae2-Ae3-Ar-Wr. Sobresale un epipedón bioturbado que forma costras poligonales de 5 cm de profundidad cuando la superficie está seca; contiene 42% de arcilla y 21% de limos y material fibrico

compuesto principalmente de raíces muertas (figura 3). El suelo forma grietas reversibles desde la superficie y hasta una profundidad de 30 cm, donde el suelo es húmedo por el movimiento capilar del agua de la capa freática. Las grietas son suficientemente amplias (> 1 cm) como para permitir la aireación de tales estratos cuando el suelo está seco. La estructura es masiva en húmedo y de poliedros angulares cuando se expone suelo, siendo muy dura cuando está seco, a pesar de los altos contenidos de materia orgánica (> 7%). Los agregados no forman cuñas y no se pudieron apreciar caras de fricción.

El color de la matriz del suelo fue negro (10 YR 2/1), variando a pardo muy oscuro con la profundidad (10 YR 2/2) cuando está húmedo, y de pardo grisáceo (10 YR 5/2) a pardo amarillento claro (10 YR 6/2-4) cuando está seco. Los contenidos de materia orgánica son de 11% en la superficie, disminuyendo gradualmente con la profundidad ($\pm 7.0\%$). El suelo presentó pocas gravas gruesas (< 5 cm) de tipo subangular y color blanquecino de arreglo irregular, inmersas en la matriz del suelo, que sugieren su origen fluvial. Si bien los estratos sedimentarios no son fácilmente observables en campo, los sedimentos sugieren procesos de baja energía (pendiente < 2%), que enmascaran las secuencias del depósito mineral (Bradley & Stolt, 2003).

Presenta una textura al tacto arcillo arenosa en todo el perfil, con contenidos de arcilla >



Figura 3. a) Perfil del *gleysol*, Ichupio; b) agregado prismático del *gleysol*, mostrando rasgos hidromórficos; c) perfil del fluvisol.

Cuadro 2. Morfología del gleysol de Ichupio.

Horizonte profundidad, cm	Rasgos del suelo
Horizonte Ao 0 - 10	Color en seco (10 YR 5/4 pardo amarillento), color en húmedo (7.5 YR 3/2 pardo oscuro), sin presencia de motas. Textura al tacto franco-arenosa; estructura moderada granular y en bloques subangulares medios; consistencia firme, no adhesiva, ligeramente plástica; sin pedregosidad; poros abundantes finos y medios; ligero desarrollo de óxidos en bioporos; raíces abundantes y delgadas; drenaje lento, transición al siguiente horizonte tenue, ondulado.
Horizonte A 10 - 15	Color en seco (10YR 5/6 pardo amarillento), color en húmedo (7.5 YR 3/2 pardo oscuro), sin presencia de motas; textura al tacto franco-arenosa; estructura moderada en bloques subangulares medios; consistencia firme, no adherente, ligeramente plástica; sin pedregosidad; poros abundantes medios y finos (poros canales de raíces); ligero desarrollo de óxidos en bioporos; raíces medias y finas; drenaje lento; transición al siguiente horizonte difuso por color y marcado por dureza; forma del límite horizontal ondulado.
Horizonte Bg1 15 - 27	Color en seco (10YR 5/6 pardo amarillento), color en húmedo (7.5 YR 3/3 pardo obscuro), sin presencia de motas; textura al tacto arcillo-limoso; estructura moderada en bloques subangulares medios y gruesos; consistencia firme, adherencia media, ligeramente plástica; sin pedregosidad; porosidad media (poros canales de raíces); ligero desarrollo de óxidos en bioporos; raíces abundantes y delgadas; presencia de restos de conchas; drenaje lento; transición al siguiente horizonte horizontal ondulado marcado por dureza.
Horizonte Bg2 27 - 36	Color en seco (10YR 5/6 pardo amarillento), color en húmedo (7.5 YR 3/3 pardo oscuro), sin presencia de motas; textura al tacto arcillo-limoso; estructura fuerte en bloques subangulares de tamaño grande; consistencia firme más estable que el anterior, moderadamente adhesiva y moderadamente plástica; pedregosidad, pocas < 5% de 2 a 5 cm, redondeadas; porosidad media (poros canales de raíces); raíces finas y comunes; moderado desarrollo de óxidos de hierro en macroporos, mesoporos y bioporos de color (5 YR 5/8 rojo amarillento); bivalvos y caracoles muertos; drenaje lento; transición al siguiente horizonte marcado por color y textura; forma del límite horizontal ondulado.
Horizonte Bg3 36 - 60	Color en seco (7.5 YR 5/4 pardo), color en húmedo (7.5 YR 4/4 pardo); presencia de motas en masas como bandas rojizas (5 YR 5/8 rojo amarillento); abundantes externos e internos de los agregados; textura al tacto arcillosa; estructura fuerte prismática de tamaño muy gruesa > 20 cm; consistencia muy firme, muy adhesiva y muy plástica; sin pedregosidad; poros muy pocos; tubulares dendríticos por raíces; presencia de vacíos interpedales entre prismas cuando no está saturado de 3 a 4 cm de profundidad y < 1 cm de ancho; no se observan revestimientos ni rasgos de tensión, ni caras de deslizamientos entre agregados; raíces comunes y delgadas; presencia de bivalvos y caracoles muertos en menor cantidad que el anterior; drenaje; transición al siguiente horizonte marcado por color; forma del límite horizontal irregular.
Horizonte 2Wgr1 60 - 85	Color en seco (7.5 YR 5/4 pardo), color en húmedo (7.5 YR 2.5/3 pardo muy oscuro); presencia de motas comunes en masas como bandas rojizas (5 YR 5/8 rojo amarillento) en menor cantidad que el anterior, al interior de los agregados y como hiporevestimientos; textura al tacto arcillosa; estructura fuerte en bloques angulares y subangulares; tamaño medios y gruesos; consistencia muy firme, muy adhesiva y muy plástica; sin pedregosidad; poros finos tubulares dendríticos medios pocos; raíces comunes medias; sin drenaje, zona de saturación; transición al siguiente horizonte marcado por color; forma del límite horizontal ondulado.
Horizonte 2Wgr2 85 - 90	Color en seco (10 YR 5/8 pardo amarillento), color en húmedo (10 YR 3/3 pardo oscuro), sin presencia de motas; textura al tacto arenosa; sin estructura; sin consistencia, sin adherencia ni plasticidad; sin pedregosidad; porosidad intersticial alta, con ausencia de motas y concentraciones; raíces comunes medias, algunas en estado de putrefacción; presencia de olor sulfuroso, sulfuro de hidrógeno (olor a huevo podrido); sin drenaje (capa freática); transición al siguiente horizonte marcado por textura abrupta; forma del límite horizontal ondulado.
Horizonte 3Wgr3 90 - 110	Color en seco (7.5 YR 5/4 pardo), color en húmedo (7.5 YR 3/3 pardo oscuro); presencia de motas sobre algunos agregados en menor cantidad que los suprayacentes de color (5 YR 5/8 rojo amarillento); textura al tacto arcillosa; estructura fuerte con forma de bloques angulares de tamaño grueso; consistencia firme, moderadamente adhesiva y moderadamente plástica; sin pedregosidad; porosidad media (poros canales de raíces); raíces medias en estado de putrefacción, fuerte olor sulfuroso; permanentemente saturado por agua.

28% y distribución irregular de las arenas, lo que sugiere su origen flúvico. La porosidad promedio del perfil es muy alta (55%), de abundantes poros finos, disminuyendo hasta una profundidad de 44 cm. Por debajo de los 44 cm de profundidad se presentan notorios macroporos no asociados con raíces; son de tipo vesiculares no dendríticos en su mayoría, que puede interpretarse como formación de gases que escapan a manera de burbujas, dejando a su paso estas singulares formaciones. Además, a los 44 cm de profundidad se encuentra el nivel freático. La porosidad le confiere valores muy altos de conductividad hidráulica saturada, con tasas de $> 30 \text{ mm h}^{-1}$, que permite flujos de agua rápidos a través de los horizontes. Las raíces del suelo son comunes y delgadas en los primeros 20 cm, siendo raras por debajo de esta profundidad, y se presenta restricción para su crecimiento por debajo de los 44 cm, justo sobre el nivel freático. Tiene una densidad aparente muy baja (de 0.7 a 0.8 g cm^{-3}) en toda la profundidad y una densidad real de 1.9 a 1.6 g cm^{-3} , asociado seguramente con los altos contenidos de materia orgánica (cuadro 5). Por otro lado, se observaron restos de conchas en todo el perfil, disminuyendo a mayor profundidad, y presenta reacción al HCl, pero no se observaron carbonatos secundarios.

Rasgos redoximórficos. Presenta una matriz empardecida con colores de 10 YR 5/2 y 10 YR 6/2-4 en seco, y de 10 YR 2/1-2 en húmedo, medianamente reducida con intensidad de color de 6 a 2 y *brillantez* menor de 4, pero posiblemente enmascarada por los altos contenidos de materia orgánica ($> 7\%$) en todo el perfil. No se apreciaron segregaciones de sesquióxidos ferromanganesos o de durinódulos en la matriz y agregados del suelo, pero presenta moteados que corresponden a materia orgánica en estado intermedio de descomposición, que se deshacen al friccionarlos entre los dedos.

No se descartan colores característicos de las condiciones reductimórficas, sin embargo es posible que se encuentren enmascarados por los niveles altos de materia orgánica, como se

ha reportado en otros suelos (Ponnamperuma, 1972; Fanning & Fanning, 1989; Grimley & Vepraskas, 2000).

Reacción del suelo. El suelo es de reacción alcalina, con valores de entre 8.8 de pH en la superficie a 8.2 en las capas profundas, y una CE con valores $< 1.3 \text{ dS m}^{-1}$, descartando salinidad del suelo. Presenta reacción positiva al alfa, alfa dipiridil durante todo el año, de manera más evidente a mayor profundidad, que sugiere acumulación de hierro reducido. El suelo reaccionó levemente, pero de manera persistente, al H_2O_2 en todo el perfil, sugiriendo manganeso reducido libre en la matriz del suelo. Se presenta fuerte olor sulfuroso (olor a huevo podrido) en los horizontes preferentemente por debajo de los 30 cm.

Clasificación. El suelo fue clasificado como un fluvisol háplico (hiperhúmico, éutrico) de acuerdo con la WRB (2006). El suelo fue clasificado como fluvisol por contener material flúvico, evidenciado por la distribución irregular de fragmentos rocosos y de las arenas al interior del pedón; además, presenta un calificador hiperhúmico por los altos contenidos de materia orgánica ($> 7\%$); finalmente, un calificador del tipo éutrico por tener saturación de bases mayor de 50% en todo el perfil (cuadro 6).

La modificación más importante en la clasificación del suelo, con respecto a lo reportado por la cartografía del INEGI, fue el cambio de unidad de gleyisol a fluvisol.

Conclusión

Los suelos del humedal de Ichupio son suelos derivados de procesos coluviales, con un desarrollo estructural bien definido, comparado con los suelos del humedal de Jarácuaro, derivado de procesos sedimentarios de baja energía. Los suelos estudiados presentan un nivel freático somero, y periodos alternados de secado y humedecimiento en las capas superiores, que influye de manera importante en los rasgos redoximórficos y en la estructura de sus horizontes. En el caso de los suelos del humedal de Ichupio, han formado

Cuadro 3. Morfología de fluvisol de Jarácuaro.

Horizonte profundidad, cm	Rasgos del suelo
Horizonte Ah 0 - 5	Color en seco (10YR 5/2 pardo grisáceo), color en húmedo (10YR 2/1 negro); sin presencia de motas ni concreciones; textura al tacto arcillo-arenoso; estructura laminar formando una costra de tamaño medio (5 cm promedio) reversible, iniciada desde la superficie, extremadamente fuerte; consistencia extremadamente firme en seco, moderadamente adhesiva y plástica; sin pedregosidad; poros abundantes y finos; raíces comunes y delgadas con presencia de materia fbrico; drenaje lento; transición al siguiente horizonte abrupto por la costra horizontal.
Horizonte Ae1 5 - 12	Color en seco (10YR 5/2 pardo grisáceo), color en húmedo (10YR 2/2 pardo muy oscuro); sin presencia de motas ni concreciones; grietas reversibles a través del horizonte; textura al tacto arcillo-arenoso; estructura fuerte de forma, masiva en húmedo y poliedros medios en seco; consistencia muy firme, moderadamente adhesiva, ligeramente plástica; pedregosidad, muy pocas; poros abundantes finos; raíces comunes y delgadas, y presencia de material fbrico y restos de conchas de conchas; drenaje lento; transición al siguiente horizonte marcado por color y estructura.
Horizonte Ae2 12 - 20	Color en seco (10 YR 5/2 pardo grisáceo), color en húmedo (10YR 2/2 pardo muy oscuro); sin presencia de concreciones; moteado por material orgánico moderadamente descompuesto de tipo hémico, mezclado por bioturbación (pisoteo de ganado); grietas reversibles iniciadas en la superficie; textura al tacto arcillo-arenoso; estructura fuerte de forma masiva en húmedo y bloques subangulares medios en seco; consistencia muy firme, moderadamente adhesiva, ligeramente plástica; pedregosidad, muy pocas; poros abundantes finos; raíces comunes y finas; restos de conchas de caracol; drenaje lento; transición al siguiente horizonte tenue.
Horizonte Ae3 20 - 30	Color en seco (10YR 5/2 pardo grisáceo), color en húmedo (10YR 2/2 pardo muy oscuro); sin presencia de concreciones; moteado por material orgánico moderadamente descompuesto de tipo hético, mezclado por bioturbación (pisoteo de ganado); grietas reversibles iniciadas desde la superficie; textura al tacto arcillo-arenoso; estructura fuerte de forma masiva en húmedo y bloques subangulares medios en seco; consistencia muy dura, adhesiva y plástica; pedregosidad, muy pocas; poros pocos, finos; raíces raras medias; restos de conchas de caracol; drenaje lento; transición al siguiente horizonte tenue por color y abrupto por ausencia de grietas.
Horizonte Ar 30 - 44	Color en seco (10YR 6/2 pardo amarillento claro), color en húmedo (10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro); sin presencia de concreciones ni moteado; textura al tacto arcillo-arenoso; estructura fuerte masiva en húmedo y bloques subangulares medios en seco; consistencia muy dura, moderadamente adhesiva y plástica; pedregosidad, muy pocas; poros pocos, finos; raíces muy raras, medias; restos de conchas de caracol; fuerte olor sulfuroso (olor a huevo podrido); drenaje lento, transición al siguiente horizonte tenue en color y textura, y marcado por la ausencia de grietas.
Horizonte Wr 44 - 100	Color en seco (10YR 6/4 pardo amarillento claro), color en húmedo (10YR 2/2 pardo muy oscuro); sin presencia de concreciones ni moteado; textura al tacto arcillo-arenoso; estructura fuerte masiva vesicular en húmedo y seco; consistencia muy dura, moderadamente adhesiva y plástica; sin pedregosidad; poros pocos y finos; raíces muy raras, medias; restos de conchas de caracol, fuerte olor sulfuroso; sin drenaje, nivel estático de la capa freática (agua libre dentro del perfil); transición al siguiente horizonte tenue.

estructuras bien desarrolladas de tipo de los bloques y prismas, mientras que en el humedal de Jarácuaro es masiva y dura su estructura, pese a los altos contenidos de materia orgánica.

Los suelos de Ichupio han expresado rasgos redoximórficos en la mayoría de sus horizontes, derivado de la segregación de sesquióxidos de fierro y manganeso, indicando condiciones de secado y humedecimiento alternado. Por su parte, los suelos del humedal de Jarácuaro

presentaron acumulación de materia orgánica, siendo reservorios de carbono, y enmascarando posiblemente los rasgos redoximórficos por los contenidos altos de materia orgánica. En el fluvisol sobresalen en la zona más baja poros de tipo vesicular no asociados con raíces y fuerte olor sulfuroso, que sugiere la formación de gases como el metano, formando burbujas que escapan del suelo, dejando estos rasgos característicos.

Cuadro 4. Propiedades químicas de los suelos de humedal.

Perfil	Horizonte genético	Prof. cm	pH campo	MO %	CO %	CE dS m ⁻¹	Humedad campo (V/V)	Reacciones en campo		
								α , α dip-iridil	H ₂ O ₂ *	HCl**
Ichupio (gleysol)	Ao	0 - 10	8.5	2.2	1.2	0.8	21.6	-, +	++	MO
	A	10 - 15	7.9	1.4	0.8	0.5	20.9	-, +	++	MO
	Bg1	15 - 27	7.8	1.1	0.6	0.3	22.0	+	++	MO
	Bg2	27 - 36	8.0	1.2	0.7	0.2	25.8	+	++	MO
	Bg3	36 - 60	8.4	1.1	0.6	0.2	24.7	+	++	SL
	2Wgr1	60 - 85	7.7	0.8	0.5	0.2	24.9	+	++	SL
	2Wgr2	85 - 90	7.7	0.7	0.4	0.2	19.4	+	+++	MO
	2Wgr3	90 - 110	7.7	0.8	0.4	0.2	28.0	+	+++	MO
Jarácuaro (fluvisol)	A	0 - 5	8.8	11.3	6.6	1.3	9.6	+	++	MO
	Ae1	5 - 12	8.5	9.9	5.7	0.7	57.2	+	++	MO
	Ae2	12 - 20	8.4	9.1	5.3	0.4	62.5	+	++	MO
	Ae3	20 - 30	8.4	8.5	4.9	0.4	67.5	+	++	MO
	Ar	30 - 44	8.3	8.1	4.7	0.3	62.0	+	++	MO
	Wr	44 - 100	8.2	7.2	4.2	0.2	181.1	+	++	MO

* - Negativo; + =, reacción leve; ++ =, reacción fuerte; +++ =, reacción muy fuerte.

**Reacción del carbonato en la matriz del suelo: N = no calcáreo, no detectable visiblemente ni efervescencia audible; SL = ligeramente calcáreo, se escucha la efervescencia, pero no es visible; MO = moderadamente calcáreo, efervescencia visible; ST = fuertemente calcáreo, efervescencia fuertemente visible, las burbujas forman poca espuma; EX = extremadamente calcáreo, reacción extremadamente fuerte, se forma la espuma espesa rápidamente (FAO, 2009). CIC = capacidad de intercambio catiónico total.

Cuadro 5. Propiedades físicas de los suelos de humedal.

Perfil	Horizonte genético	Prof. cm	Textura (%)			Clase textural*	Densidad aparente (g cm ⁻³)	Densidad real (g cm ⁻³)	Poros (%)	CHS** (mm h ⁻¹)
			Arena	Limo	Arcilla					
Ichupio (gleysol)	Ao	0 - 10	53	33	14	Fa	1.1	2.4	38	9.6
	A	10 - 15	41	39	20	F	1.4	2.3	42	3.7
	Bg1	15 - 27	23	57	20	Fl	1.4	2.3	45	3.0
	Bg2	27 - 36	19	57	24	Fl	1.0	2.3	44	3.5
	Bg3	36 - 60	31	39	29	Fa	1.0	2.3	37	2.0
	2Wgr1	60 - 85	11	61	27	Fal	1.2	2.4	46	2.5
	2Wgr2	85 - 90	67	27	6	Fa	1.2	2.3	45	37.9
	2Wgr3	90-110	41	39	20	F	1.2	2.3	38	3.6
Jarácuaro (fluvisol)	Ah	0 - 5	37	21	42	Ar	0.8	1.9	55	24.1
	Ae1	5 - 12	47	25	28	Far	0.8	1.8	54	26.1
	Ae2	12 - 20	28	34	38	Far	0.8	1.6	49	16.9
	Ae3	20 - 30	32	35	33	Far	0.8	1.9	57	20.9
	Ar	30 - 44	44	28	28	Far	0.7	1.7	58	35.7
	Wr	44-100	47	14	38	Ar	0.7	1.6	55	32.2

*F = franco; Fa = franco arenoso; Fl = franco limoso; Fal = franco arcillo limoso; Far = franco arcilloso; Mar = migajón arcilloso; Mal = migajón arcilloso; Al = arcilla limosa; Ma = migajón arenoso; Ar = arcilloso.

**CH = conductividad hidráulica.

Finalmente, los humedales de Ichupio fueron clasificados como gleysoles, como son reportados anteriormente por el INEGI; sin

embargo, los humedales de Jarácuaro cambian de unidad, de gleysol a fluvisol.

Cuadro 6. Propiedades químicas de los suelos de humedal.

Perfil	Horizonte genético	Prof. cm	CIC Cmol _c kg ⁻¹	Ca ⁺⁺ Cmol _c kg ⁻¹	Mg ⁺⁺ Cmol _c kg ⁻¹	Na ⁺ Cmol _c kg ⁻¹	K ⁺ Cmol _c kg ⁻¹¹	SB %
Ichupio (gleysol)	Ao	0 - 10	15	5.9	4.1	0.6	2.4	86.5
	A	10 - 15	20	6.2	3.4	1.5	2.1	65.5
	Bg1	15 - 27	19	6.7	3.4	1.3	1.6	68.6
	Bg2	27 - 36	18	8.2	3.6	1.6	2.2	86.7
	2Wgr1	36 - 60	20	6.4	4.0	1.4	1.7	67.4
	2Wgr2	60 - 85	19	5.7	4.5	1.7	1.8	71.8
	2Wgr3	85 - 90	16	4.2	4.4	1.2	1.6	71.0
Ah	90 - 110	16	3.8	4.4	1.1	1.8	69.5	
Jarácuaro (fluvisol)	A	0 - 5	44	9.6	7.3	4.6	4.2	58.4
	Ae1	5 - 12	40	9.4	7.1	4.2	3.9	61.2
	Ae2	12 - 20	39	9.6	5.5	3.5	2.9	55.2
	Ae3	20 - 30	37	9.8	5.6	3.5	2.5	57.9
	Ar	30 - 44	36	7.5	4.7	2.2	2.1	46.1
	Wr	44 - 100	34	8.2	5.6	3.3	2.0	56.4

Agradecimientos

Se agradece al proyecto *Focos rojos de gases con efecto de invernadero en México: estructura y funcionamiento de los suelos saturados de humedad Semarnat-Conacyt 23489* y al proyecto *PAPIIT-IN224410: estructura y funcionamiento de la materia orgánica en suelos de humedales: importancia de los almacenes de carbono en ecosistemas tropicales costeros*.

Referencias

- Bello, R. R., García, N. E., Ortega, H. M., & Krasilnikov, P. (2011). Artificial *Chinampas* Soils of Mexico City: their Properties and Salinization Hazards. *Spanish Journal of Soil Science*, 1(1). DOI: 10.3232/SJSS.2011.V1.N1.05.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Bulk Density. In A. Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods* (pp. 363-375). 2nd edition. Monograph N° 9. Madison: Soil Science Society of America.
- Bradley, M. P., & Stolt, M. H. (2003). Subaqueous Soil-Landscape Relationship in Rhode Island Estuary. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67, 1487-1495.
- Ciolkosz, E. J., & Waltman, W. J. (1995). *Cambic Horizons in Pennsylvania Soils* (26 pp.). Agronomy Series Number 133. University Park, USA: Agronomy Department, The Pennsylvania State University.
- Danielson, R. E., & Sutherland, P. L. (1986). Bulk Density. In: A. Klute (Ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd Edition. Monograph N° 9. Madison: Soil Science Society of America.
- Driessen, P., Deckers, J., Spaargaren, O., & Nachtergaele, F. (2001). *Lecture Notes on the Major Soils of the World* (334 pp.). Rome: FAO.
- FAO (2009). *Guía para la descripción de suelos* (99 pp.). 4^a ed. Rome, Wageningen (The Netherlands): FAO, ISRIC.
- Garduño-Monroy, V. H., Chávez-Hernández, J., Aguirre-González, J., Vázquez-Rosas, R., Mijares-Arellano, H., Israde-Alacántara, I., Hernández-Madrigal, V. M., Rodríguez-Pascua, M. A., & Pérez-López, R. (2009). Zonificación de periodos naturales de oscilación superficial en la ciudad de Pátzcuaro, Mich., México, con base en microtemores y estudios de paleosismología. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 6(3), 623-637.
- Gee, G. W., & Bauder, J. W. (1986). Particle-Size Analysis. In A. Klute (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods* (pp. 383-411). 2nd edition. Monograph N° 9. Madison: Soil Science Society of America.
- Grimley, D. A., & Vepraskas, M. J. (2000). Magnetic Susceptibility for Use in Delineating Hydric Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64, 2174-2180.
- Gutiérrez, C. Ma. C., Stoops, G., & Ortiz, C. A. (1998). Carbonatos de calcio en los suelos del ex lago de Texcoco. *Terra*, 16(1), 11-19.
- Gutiérrez, C. Ma. C., & Zavala, J. (2001). Rasgos hidromórficos de suelos tropicales contaminados con hidrocarburos. *Terra Latinoamericana*, 20, 101-111.
- Israde-Alcántara, I., Garduño-Monroy, V. H., Fisher, C. T., Pollar, H. P., & Rodríguez-Pascua, M. A. (2005). Lake Level Change, Climate, and the Impact of Natural Events: The Role of Seismic and Volcanic Events in the Formation of the Lake Patzcuaro Basin, Michoacan, Mexico. *Quaternary International*, 135, 35-46.

- WRB (2007). *World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007* (128 pp.). Iuss Working Group, World Soil Resources Reports No. 103. Rome: FAO.
- Ibáñez, J. J., & Saldaña, A. (2011). Capítulo 9. Edafodiversidad: concepto, estimación y utilidad en el análisis global de suelos (145-172 pp.). In P. Krasilnikov, F. J. Jiménez, T. Reyna, & N. E. García (Eds.). *Geografía de suelos de México*. México, DF: UNAM.
- Munsell Soil Color Charts (2000). *Revised Washable Edition*. New Windsor: Gretag Macbeth.
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (1996). Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In D. L. Sparks (Ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods* (pp. 573-579). Monograph N° 5. Madison: Soil Science Society of America.
- Ortiz, S. C. A., Gutiérrez, C. Ma. C., López, A. G., Rodríguez, T. S. A., & Segura, M. A. (2000). *Guía de la gira técnica en el Municipio de Texcoco, México*. Congreso Universitario Internacional de Edafología, "Nicolás Aguilera", octubre.
- Phillips, J. D. (2004). Geogenesis, Pedogenesis, and Multiple Causality in the Formation of Texture-Contrast Soils. *Catena*, 58, 275-295.
- Ponnamperuma, F. N. (1972). The Chemistry of Submerged Soils. *Advances in Agronomy*, 24, 96.
- Ramos, A. R. (2008). *Relación entre el tiempo de cambio de uso y el nivel de degradación de suelos en la cuenca de Cointzio Michoacán* (108 pp.). Tesis de Maestría en Conservación y Manejo de Recursos Naturales. Morelia, México: Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo (UMSNH).
- Ramos, B. R., Cajuste, L. J., Flores, D., García, N. E. (2001). Metales pesados, sales y sodio en suelos de chinampa en México. *Agrociencia*, 35(4), 385-395.
- Reyes-Ortigoza, A. L. & García-Calderón, N. E. (2004). Evolución de las fracciones húmicas de suelos en la zona chinampera de la ciudad de México. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 289-298.
- Rhoades, J. D. (1982). Cation Exchange Capacity. In A. L. Page, R. H. Miller, & D. R. Keeney (Eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 2. Agron. Monogr. 9.* (pp. 149-157). Madison: Am. Soc. Agron.
- Rivera, C. M. del C., Ferrera, R., Volker, V., Fernández, L., & Rodríguez, R. (2002). Poblaciones microbianas en perfiles de suelos afectados por hidrocarburos del petróleo en el estado de Tabasco. *Agrociencia*, 36(2), 149-160.
- Saxton, K. E., & Rawls, W. J. (2006). Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 70, 1569-1578. Doi:10.2136/sssaj2005.0117.
- Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., & Broderson, W. D. (Eds.) (2002). *Field Book for Describing and Sampling Soils, version 2.0*. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE.
- USDA-NRCS (2006). *Field Indicators of Hydric Soils in the United States, version 6.0*. G. W. Hurt & L. M. Vasilas (Eds.). United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service (NRCS), in Cooperation with the National Technical Committee for Hydric Soils.
- Sedov, S., Solleiro-Rebolledo, E., Fedick, S. L., Gama-Castro, J., Palacios-Mayorga, S., & Vallejo-Gómez, E. (2007). Soil Genesis in Relation to Landscape Evolution and Ancient Sustainable Land Use in the Northeastern Yucatán Peninsula, Mexico. *Atti. Soc. Tosc. Sci. Nat., Mem., Serie A*, 112, 115-126.
- Segura, C. M. A., Gutiérrez, M. del C., Ortiz, C. A., David, Y., & Gómez, J. (2000). Suelos arcillosos de la zona oriente del estado de México. *Terra Latinoamericana*, 18(1), 35-44.
- Solleiro-Rebolledo, E., Cabadas-Báez, H. V., González, A., Fedick, S. L., Chmilar, J. A., & Leonard, D. (2011). Genesis of Hydromorphic Calcisols in Wetlands of the Northeast Yucatan. *Geomorphology*, 135, 322-331. Doi:10.1016/j.geomorph.2011.02.009.
- Van Diepen, C. A. (1984). *Wetland Soils of the World, their Characterization and Distribution in the FAO-UNESCO Approach* (23 pp.). VII International Soil Classification Workshop on Characterization, Classification and Utilization of Wetland Soil. Los Banos, Philippines, March 26 to April 16.

Dirección institucional de los autores

M.C. Lenin E. Medina-Orozco

Licenciatura en Genómica Alimentaria
 Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo
 Avenida Universidad # 3000
 59000 Sahuayo, Michoacán, MÉXICO
 Teléfono: +52 (353) 5320 762
 leninmed@gmail.com

Dra. Norma E. García-Calderón

Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación
 Facultad de Ciencias
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Boulevard Juriquilla # 3001
 76230 Juriquilla, Querétaro, MÉXICO
 Teléfono: +52 (442) 1926 201
 negc@ciencias.unam.mx

Dr. Felipe García-Oliva

Centro de Investigaciones en Ecosistemas
 Instituto de Biología
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Antigua carretera a Pátzcuaro # 8701
 Col. ExHacienda de San José de la Huerta
 58190 Morelia, Michoacán, MÉXICO
 Teléfono: +52 (443) 3222 704
 fgarcia@cieco.unam.mx

Dra. Elena Ikkonen

Academia Rusa de las Ciencias
Petrozavodsk
185610 RUSIA
Teléfono: (8142) 769 810
likkonen@gmail.com