

# SEGUNDA REUNIÓN NACIONAL DE LA ASOCIACIÓN MEXICANA DE ESTUDIOS SOBRE EL KARST

Tuxtla Gutiérrez Chiapas del 24 al 26 de agosto del 2018



*“Particularidades en la estructura, función y manejo  
de las zonas kársticas”*

Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst, AMEK

Consejo directivo

Presidente: Dr. Francisco Bautista

Secretaria: Dra. Patricia Fragoso Servón

Tesorera: Dra. Yameli Aguilar Duarte

Vocal 1: Dr. Alberto Pereira

Vocal 2: Dr. David Palma López

Bautista F., Fragoso P., Aguilar Y., Pereira A., Palma D. 2018. Resúmenes de la segunda reunión anual de la Asociación Mexicana de Estudios del Karst. Skiu. Ciudad de México. 37 pp.

Ciudad de México a 24 de agosto del 2018.

## **Presentación**

Comprometidos para que los resultados de las investigaciones científicas puedan permear en la toma de decisiones hacia los diferentes ámbitos del quehacer humano, la Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst ha convocado a todos los sectores, a presentar sus aportaciones relacionadas a las “Particularidades en la estructura, función y manejo de las zonas de karst”, en los que se abordan temas relacionados a los sistemas kársticos no solo de la Península de Yucatán, sino también de otras regiones de México.

En esta Segunda Reunión, nos complace haber reunido diversos estudios con enfoques innovadores y en diferentes temáticas, que reflejan la complejidad e importancia de los sistemas kársticos. Así mismo, en el marco de esta segunda reunión se involucra una mesa redonda para el análisis, la reflexión y la discusión sobre lo que actualmente acontece en muchas regiones kársticas del país, en especial, en temas estratégicos relacionados con el uso del suelo, cambio climático y recursos hídricos.

Si bien es cierto que han existido avances en algunas entidades mexicanas para reconocer a las zonas kársticas como áreas con características particulares, entre los que se encuentran leyes estatales y declaraciones de áreas naturales protegidas, estos mecanismos no han sido lo suficientemente aplicados por múltiples motivos y por ende, las problemáticas en zonas de karst aún siguen persistiendo.

Por esta razón, uno de los objetivos de la AMEK, es fomentar la divulgación científica sobre el karst a públicos amplios de la sociedad mexicana y en especial a las poblaciones que habitan el karst, mediante actividades como esta reunión, boletines, videos y contenidos digitales que sirvan como medios de difusión para promover la participación ciudadana, el cumplimiento de las leyes y en general, el cuidado de las zonas kársticas de México.

Consejo directivo

## Segunda Reunión Nacional de la Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst

“Particularidades en la estructura, función y manejo de las zonas kársticas”

Agosto 24 al 26, Tuxtla Gutiérrez Chiapas

### Programa de actividades

Día/hora	Ponente	Ponencia
<b>Viernes 24</b>		
10:00-10:30	Oscar Frausto-Martínez	Análisis de alta resolución espacial para el estudio de depresiones cársticas en relieve de bajo contraste altitudinal: Isla de Cozumel
10:30-11:00	Neftaly Gijón Yescas	Drones para el análisis del relieve y morfometría detallada de depresiones kársticas
11:00-11:30	Yameli Aguilar	En defensa del patrimonio natural y cultural: El caso de los cenotes de Homún Yucatán
11:30-12:00	Oscar Frausto-Martínez	Detección automatizada de formas exokársticas a través de datos Lidar: Isla de Cozumel
12:00-12:30	Café	
12:30-13:00	Patricia Fragoso	Toposecuencia costera en el ANP X´Cacel-X´Cacelito, como base para la actualización del programa de manejo
13:00-13:30	Brianda Díaz Aké	Cartografía de las propiedades químicas de los suelos del estado de Yucatán
13:30-14:00	Mariana López-Díaz	Variación estacional del pH y contenido de aluminio en suelos de la sabana de Yucatán, México
14:00-16:00	Comida	
16:00-16.30	Rufo Sánchez-Hernández	Micromorfología de un paleosuelo en zonas de karst en Quintana Roo, México
16:30-17:00	Joel Zavala	Suelos kársticos de la cuenca del río Grijalva
17:00-19:00	Mesa redonda sobre Homún	Alberto Pereira, Patricia Fragosos, Yameli Aguilar, Héctor Estrada, Oscar Frausto, Francisco Bautista
<b>Sábado 25</b>		
10:00-10:30	Yameli Aguilar	Cambio climático local y probables efectos sobre la apicultura
10:30-11:00	Oscar Álvarez-Rivera	Propiedades fisicoquímicas edáficas asociadas a <i>Brosimum malicastrum</i> creciendo en solares y selva en Yucatán, México
11:00-11:30	Héctor Estrada-Medina	Contenido foliar de nutrientes en árboles de huertos familiares y selvas de Yucatán, México

11:30-12:00	Horacio Morales	Ambientes morfogenéticos del estado de Chiapas
12:00-12:30	Café	
12:30-13:00	Neftaly Gijón Yescas	Drones para monitoreo de gases de efecto invernadero en sistemas naturales y antrópicos en Yucatán
13:00-13:30	Carolina Lerma-Treviño	Gas radón en casas-habitación de Aldama, Chihuahua, México y el riesgo de cáncer de pulmón
13:30-14:00	Jesús Manuel Ochoa-Rivero	Extracción de metales en agua utilizando filtros empacados con diversos tamaños de zeolita natural
14:00-16:00	Comida	
16:00-16-30	Alberto Pereira Corona	Análisis del carbono y la materia orgánica en suelos: métodos y usos
16:30-17:00	Carlos Zetina-Moguel	Una aproximación eco-hidrológica de un campo experimental de pozos en el karst de Yucatán
17:00-17:30	Silvia Ramos	Vulnerabilidad, fenómenos naturales e hidrometereológicos ante cambio climático en el Estado de Chiapas.
17:30-18:30	Francisco Bautista	Junta de la AMEK
<b>Domingo 26</b>	Silvia Ramos	Recorrido de campo para la observación de las formas kársticas de Chiapas

**ANÁLISIS DE ALTA RESOLUCIÓN ESPACIAL PARA EL ESTUDIO DE  
DEPRESIONES CÁRSTICAS EN RELIEVE DE BAJO CONTRASTE  
ALTITUDINAL: ISLA DE COZUMEL, MÉXICO**

**[HIGH RESOLUTION SPATIAL ANALYSIS FOR THE STUDY OF KARSTIC  
DEPRESSIONS IN LOW ALTITUDINAL CONTRAST RELIEF: COZUMEL  
ISLAND, MEXICO]**

Oscar Frausto-Martínez<sup>§1</sup>, Gonzalo Neftaly Gijón-Yescas<sup>2</sup>, Yameli Guadalupe Aguilar-Duarte<sup>3</sup>,  
Orlando Colín-Olivares<sup>1</sup> y Manuel Islas-García<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Quintana Roo – Laboratorio de Observación e Investigación Espacial. Avenida Andrés Quintana Roo, S/N, frente a colonia San Gervasio, Cozumel, Quintana Roo, 077600, México.<sup>2</sup> Universidad Autónoma de Yucatán <sup>3</sup> Instituto nacional de investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias – Mérida. <sup>4</sup>Universidad Autónoma de México – Facultad de Ingeniería

<sup>§</sup>Autor de correspondencia: [ofrausto@uqroo.edu.mx](mailto:ofrausto@uqroo.edu.mx)

## Resumen

Los vehículos aéreos no tripulados (VANS) y los datos LiDAR (*light detection and ranging*) se han vuelto herramientas disponibles para su uso en una amplia gama de disciplinas científicas. A pesar del desarrollo tecnológico de plataformas, sensores y software, y la disminución de los costos, el uso de los datos derivados de los drones y el LiDAR en estudios de formas exocársticas de bajo contraste altitudinal aún no se ha explotado. Sin embargo, los datos derivados de estas dos técnicas ofrecen múltiples ventajas sobre los tradicionales trabajos de campo y técnicas de teledetección a gran altitud, ya que permiten la identificación y reconstrucción de modelos tridimensionales de depresiones de origen cárstico inaccesibles y pueden reducir las brechas de escala, resolución y el mapeo tradicionalmente discutidas en el uso de técnicas manuales de campo, datos topográficos generalizados y métodos de teledetección poco finos. En este trabajo, se presenta la propuesta de análisis producto del uso de datos de alta resolución generados por la estructura de la fotogrametría en movimiento en imágenes capturadas por drones; conjuntamente, se muestran los resultados de la manipulación de datos superficiales del terreno producto de las imágenes LiDAR, señalando las oportunidades y desafíos de usar este tipo de datos en ambientes de bajo contraste altitudinal. Finalmente, se lleva a cabo el proceso de revisar la distribución espacial y dimensiones de depresiones cársticas de las unidades muestra (cenote Aerolito y cenote de la Universidad), la supervisión y análisis se lleva a cabo en la comparación de dos vuelos de ortofotos a escala 1:4,500 (el primero de 2008 y, el segundo, de 2017). Los resultados indican que las unidades del relieve fácilmente reconocibles siguen patrones similares cuando se usa un análisis morfométrico clásico a escala media (altimetría, inclinación del terreno, modelos digitales de elevación y modelos tridimensionales del terreno), además de un análisis de perfiles de terreno con el fin de caracterizar la morfología de cada unidad. Asimismo, las unidades se evidencian por medio de contrastes entre los tipos de vegetación, escarpas de hundimiento y cuerpos de agua, donde las imágenes resultan de relevancia en la evaluación multitemporal de las unidades. El contraste altitudinal de las unidades no supera los 7.35 metros de profundidad en todo el territorio insular y, en el 54% del territorio, es inferior a 1

metro. Las dimensiones de la unidad del relieve oscilan en los 120 m<sup>2</sup> y menor a 5.0 m<sup>2</sup> (límite espacial de las unidades reconocidas a través de los datos LiDAR). Los elementos anteriores, muestran el potencial del uso de estas técnicas para el estudio de las depresiones geomorfológicas en áreas donde los datos del contraste altitudinal y la disposición de información detallada es mínima.

Palabras clave: *morfometría, relieve, Drones, LiDAR, planicies.*

## **DRONES PARA EL ANÁLISIS DEL RELIEVE Y MORFOMETRÍA DETALLADA DE DEPRESIONES KÁRSTICAS**

### **[DRONES FOR THE RELIEF ANALYSIS AND DETAILED MORPHOMETRY OF KARSTIC DEPRESSIONS]**

Neftaly Gijón Yescas<sup>1</sup>, Yameli Aguilar-Duarte<sup>2§</sup>, Oscar Frausto<sup>3</sup>, Francisco Bautista<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst (AMEK), A.C.<sup>2</sup>Centro de Investigación Regional Sureste, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Calle 6 No. 398, Colonia Díaz Ordaz, Mérida Yucatán, México. C.P. 97130. Tel: 01-800-088-2222 Ext. 88514.

<sup>3</sup>Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía s/n colonia del Bosque, Chetumal, Quintana Roo, México. C.P. 77019.<sup>4</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, antigua carretera a Pátzcuaro, col. Ex Hacienda de San José de la Huerta. Morelia, Michoacán. México. C.P. 58190.

<sup>§</sup>Autor de correspondencia: [yaguilarduarte@gmail.com](mailto:yaguilarduarte@gmail.com)

#### Resumen

El análisis del relieve en zonas kársticas de baja amplitud es un reto en la disciplina geomorfológica, además en Yucatán las depresiones generan procesos de inundación, permanente y temporal, contacto directo con el acuífero y, en algunos casos, desarrollan procesos limnológicos, lo que genera relieves complejos que permite enriquecer la caracterización geomorfológica de Yucatán. Sin embargo, el estudio geomorfológico a detalle de las depresiones kársticas ha sido poco atendido debido a que, de manera convencional, la medición de los parámetros morfométricos se realiza a través de levantamientos sobre el terreno o sobre mapas y fotografías aéreas, lo cual implica mucho trabajo, tiempo y dinero. Además de que muchos sitios son de difícil acceso. En la actualidad, las tecnologías emergentes como los drones, sensores, softwares especializados y las técnicas de foto-reconstrucción 3D permiten un análisis morfométrico rápido y detallado de las depresiones, principalmente de dolinas y formas menores como los sumideros. El objetivo de este trabajo fue el análisis morfométrico y del relieve de una depresión kárstica comparando el uso de imágenes satelitales y las obtenidas con un dron de bajo costo. El área de estudio fue un cuerpo de agua denominado “Polol”, también conocido localmente como “aguada” que

técnicamente corresponde a una dolina en contacto con el acuífero, ubicada dentro del sistema central del anillo de cenotes en la región rural del Municipio de Chapab Yucatán. Se realizó la planeación del vuelo del dron a través de la plataforma web y appDroneDeploy, donde se definieron los parámetros de vuelo: altura (80 m), superficie (20 ha), traslape lateral (60%) y traslape frontal (70%); una vez definidos los parámetros, el sistema genera una serie de transectos los cuales recorrerá el dron de forma autónoma capturando imágenes sobre el área especificada. El vuelo en campo se efectuó el 10 de septiembre de 2016 con un dron Phantom 3 Standard. Se obtuvieron 259 imágenes las cuales fueron cargadas a la plataforma DroneDeploy para obtener el ortomosaico con una resolución de 3.2 cm/pixel, proyección WGS84 y en formato geotiff para su manipulación en ArcGis 10. El análisis y procesamiento consistió en: a) migración de datos (imagen y nube de puntos en Arcgis 10.4), b) manipulación de datos visible - RGB y trabajo de filtros en ArcMap (clasificación de rasters, Isoclusters y Contour) y Arcscene (Las.dataset.layer), c) migración de imagen Google Earth, (imagen del 24/01/2017), y finalmente d) diferenciación de las formas del relieve y análisis comparativo de las imágenes. Se identificaron a detalle las siguientes unidades del relieve kárstico-lacustre: lago permanente, lago intermitente, zona sujeta a inundación, playa, boca, ladera inundada, ladera superior, escarpa y litoral lacustre. Cabe mencionar que con la imagen de Google Earth (resolución aproximada 1m), también se diferenciaron la mayoría de estas unidades del relieve. Los indicadores morfométricos calculados tanto para la dolina como el lago, con ambos insumos fueron: longitud máxima (LMax), ancho máximo (WMax), área, perímetro, compacidad y circularidad. En las imágenes obtenidas con dron, los indicadores morfométricos LMax, WMax, superficie y perímetro presentaron valores superiores tanto para la dolina como para el lago, en comparación con los obtenidos en la imagen de Google Earth en las que fueron subestimados. La estructura física de la dolina es el marco de su funcionamiento hidrológico. Las dolinas y sumidero tienen múltiples usos, pero a pesar de su importancia, no siempre se han estudiado desde el punto de vista geomorfológico. Los drones suponen una revolución tecnológica que permiten caracterizar de una manera rápida y sencilla los recursos kársticos de un sitio ya que para desarrollar tecnologías adaptadas o proponer modelos de uso turístico sustentables de los cenotes y depresiones en general, implica el conocimiento detallado no únicamente de sus atributos morfométricos sino también de sus áreas de influencia. Asimismo, los drones permitirían documentar en tiempo real, cualquier disturbio o perturbación ocasionada por factores naturales o antrópicos. El presente ejercicio reconoció la exploración de la complejidad del relieve, lo que permite una nueva propuesta en la diferenciación geomorfológica en el norte de la Península de Yucatán.

Palabras clave: *Anillo de cenotes, dolinas, RGB, Yucatán*

## **EN DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL Y CULTURAL: EL CASO DE HOMÚN YUCATÁN**



## [IN DEFENSE OF THE NATURAL AND CULTURAL HERITAGE: THE CASE OF HOMÚN YUCATÁN]

Yameli Aguilar<sup>1,2§</sup> Francisco Bautista<sup>1,3</sup> y Fátima Tec Pool<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst (AMEK), A.C.<sup>2</sup>Centro de Investigación Regional Sureste, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Calle 6 No. 398, Colonia Díaz Ordaz, Mérida Yucatán, México. C.P. 97130. Tel: 01-800-088-2222 Ext. 88514.<sup>3</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, antigua carretera a Pátzcuaro, col. Ex Hacienda de San José de la Huerta. Morelia, Michoacán. México. C.P. 58190. [leptosol@ciga.unam.mx](mailto:leptosol@ciga.unam.mx).<sup>4</sup>Grupo Espeleológico Ajau, Mérida Yucatán. [fatima.tec@ajau.org.mx](mailto:fatima.tec@ajau.org.mx).<sup>5</sup>Autor de correspondencia: [yaguilarduarte@gmail.com](mailto:yaguilarduarte@gmail.com)

### Resumen

En años recientes, el estado de Yucatán se ha visto como un polo de desarrollo económico en donde se están implementando numerosos megaproyectos. Uno de los casos más controversiales, es el de una meggranja porcina que se pretende establecer en el municipio de Homún, que forma parte de la zona declarada como “Reserva Estatal Geohidrológica del Anillo de Cenotes”. Y aunque existen opiniones a favor del megaproyecto por parte de las autoridades, los pobladores se han manifestado en contra debido a la preocupación en torno a la probable degradación de los cuerpos de agua de los cuales se obtienen cientos de fuentes de empleo como el ecoturismo de bajo impacto. El objetivo de este texto es documentar científicamente la importancia de la conservación del territorio denominado “Reserva Estatal Geohidrológica Anillo de cenotes” con la finalidad de que esta información sirva como antecedente para una mejor toma de decisiones en torno al manejo del territorio. La información aquí plasmada se realizó con base en la revisión documental de diversos artículos científicos, de divulgación, legislación, así como de entrevistas directas con los pobladores. Homún, al igual que otros municipios que colindan a su alrededor como Cuzamá, Tekit, Sanahcat, Huhí, entre otros, se ubican en una región hidrogeológicamente estratégica ya que encuentran en la zona central del semicírculo de cenotes. De acuerdo a diversos estudios, esta área es geomorfoedafológicamente frágil debido a sus características biofísicas, como suelos de poco espesor (Leptosoles), gran número de cenotes, acuífero poco profundo y con extrema vulnerabilidad a la contaminación. Sin embargo, desde el punto de vista biológico tiene una gran relevancia debido a las numerosas especies de vertebrados que se han registrado, desde especies migratorias, residentes, endémicas o con alguna categoría de protección especial. Además, el Anillo de cenotes también tiene otra importancia muy reconocida internacionalmente pero poco conocida en el ámbito local. Este es en el ámbito de las Ciencias Planetarias, pues el anillo de cenotes no puede ser explicado por la teoría tradicional de las manifestaciones kársticas comunes, sino que coincide con el quinto y principal círculo concéntrico de un enorme cráter producto del impacto de un meteoro. En las ciencias planetarias, el estudio de las colisiones entre cuerpos del sistema solar es un

fenómeno fundamental en la teoría de su origen. Otra importancia es su contexto sociocultural, histórico, antropológico y arqueológico, pues es una región en donde se asentó la cultura maya. La evidencia que más abunda en las cuevas y cenotes es la de la época prehispánica que va desde el preclásico hasta el posclásico en un tiempo situado desde el 600 a.C. hasta el 1500 d.C. La presencia de los vestigios arqueológicos en las cuevas y cenotes remarca lo importante que fueron los espacios subterráneos en la cosmovisión maya, incluso en la actualidad, muchas poblaciones consideran a las cuevas como lugares sagrados. Además de los paisajes endokársticos como son los espeleotemas y los cuerpos de agua, la cosmogonía en torno a estos espacios, es lo que sustenta una de las actividades económicas de los pobladores, que es el ecoturismo de bajo impacto. Según la Secretaría de Fomento Turístico (SEFOTUR) sólo durante el primer trimestre de 2015, más de 310 000 visitantes pernoctaron en el estado de Yucatán. El turismo convencional del “sol y playa” ahora es una opción más de tantas que Yucatán puede ofrecer gracias a su riqueza cultural y paisajística como los humedales, cenotes, grutas y selvas. En particular ha sido el crecimiento de las visitas guiadas a cenotes, cuevas y cavernas y por esta razón, en el 2014 la Secretaría de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (SEDUMA) de Yucatán publicó el “Reglamento de la Ley de protección al medio ambiente del estado de Yucatán en Materia de cenotes, cuevas y grutas”. La presencia de una granja porcícola a escasos kilómetros de la zona turística podría acabar con esta forma de uso del territorio por parte de los lugareños. La promesa de instalación de sistemas de tratamiento de residuos sólidos y aguas residuales no satisface a los pobladores ni a los técnicos y científicos locales debido las grandes cantidades que se generarían con una población cercana a los 40 000 cerdos. En la entidad yucateca, existen otras zonas al sur del Anillo de cenotes, que presentan una vocación adecuada para el desarrollo de la porcicultura, por poseer suelos más desarrollados, acuíferos profundos y menos presencia de cenotes. A pesar de esto, el establecimiento y buen funcionamiento de un sistema de tratamiento de residuos es imprescindible.

Palabras clave: *Anillo de cenotes, granja porcina, cultura maya, ecoturismo.*

## DETECCIÓN AUTOMATIZADA DE FORMAS EXOKARTSTICAS A TRAVÉS DE DATOS LIDAR: ISLA DE COZUMEL

### [AUTOMATED DETECTION OF EXOKARTSTIC FORMS THROUGH LIDAR DATA: COZUMEL ISLAND]

Oscar Frausto-Martínez<sup>1§</sup>, Norma Angélica Zapi-Salazar<sup>2</sup> y Orlando Colin-Olivares<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Quintana Roo–Campus Cozumel, División de Desarrollo Sustentable – Laboratorio de Observación e Investigación Espacial. <sup>2</sup>Dirección postal: Universidad de Quintana Roo, campus Cozumel, Av. Andrés Quintana Roo S/N entre calle 110 sur y Col. San Gervasio, Cozumel, Qyuintana Roo, México. C.P. 077600.

<sup>§</sup>Autor de correspondencia: [fraustomartinezoscar@gmail.com](mailto:fraustomartinezoscar@gmail.com)

#### Resumen

A partir de información geoespacial del área de estudio, proporcionada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), compuesta por 27 imágenes LiDAR del Terreno de 5 metros de resolución, año 2007, se generó un mosaico a través del programa Esri®ArcMap™ versión 10.1. A dicho mosaico se le aplicó una reclasificación altitudinal mediante la herramienta “*reclassify*”, estableciendo rangos de 50 centímetros. Posteriormente, se realizó una transformación de formato raster a formato vectorial tipo líneas para obtener una capa de curvas de nivel, la cual a su vez se transformó a una capa de polígonos. Posteriormente, se estimó el área de cada polígono de forma automatizada; usando la herramienta “*calculategeometry*” cuyo dato, se empleó para hacer una depuración de la información, la cual consistió en descartar los polígonos con un área menor a 25 m<sup>2</sup> (equivalente a un pixel en la imagen LiDAR) y mayor a 10,000 m<sup>2</sup> debido a que los cenotes y probablemente las aguadas presentes en la isla no tienen dimensiones mayores. Este proceso se realizó mediante una selección dentro de la tabla de atributos de la capa de polígonos con la opción “*selectbyattributes*”. Estableciendo la siguiente condición de selección: “*Selectwhere: Área < 25 or Área < 10000*”. La información altitudinal se dividió, generando una capa por cada 50 cm de altitud. Mismas que fueron geoprocesadas mediante una serie de intersecciones entre las capas con alturas continuas, generado una nueva capa para cada intersección, las cuales se empalmaron en un solo archivo con el uso de la herramienta “*union*”, los registros obtenidos del proceso anterior y almacenados en dicha capa, fueron revisados visualmente para clasificarlos como cenote o aguada utilizando como apoyo el mosaico con el filtro altimétrico. Los cenotes y agudas identificados en campo se caracterizaron morfológicamente, encontrando que los cenotes presentan un cambio altitudinal ascendente del centro a las orillas, con una altitud en el centro de máximo 1.5 m y con un cambio altitudinal de mínimo 1.5 m en cinco pixeles adyacentes en al menos uno de sus bordes. Asimismo, las aguadas se caracterizaron por tener superficies de al menos 17 m<sup>2</sup>, con un cambio de mínimo al menos 1 m con respecto a los pixeles circundantes. A partir de esta información se procedió a realizar una interpretación y clasificación visual de los registros obtenidos con los procesos anteriores, en donde se buscaron entidades definidas con un cambio altitudinal ascendente del centro a las orillas, y clasificadas como cenote, aguada o siendo descartada, dependiendo de las características morfológicas descritas anteriormente.

Palabras clave: *dolinas, úvalas, procesamiento de imágenes, sig, islas cársticas.*

## **TOPOSECUENCIA COSTERA EN EL ANP X'CACEL-X'CACELITO, COMO BASE PARA LA ACTUALIZACIÓN DEL PROGRAMA DE MANEJO**

### **[COASTAL TOPOSEQUENCE IN THE PROTECTED NATURAL AREA OF X'CACEL-X'CACELITO, AS A BASIS FOR UPDATING THE MANAGEMENT PROGRAM]**

Patricia Fragoso Servón<sup>1§</sup>, Alberto Pereira<sup>1</sup>, Francisco Bautista<sup>2</sup>, Benito Prezas<sup>1</sup>, Nina Reyes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Quintana Roo. Boulevard Bahía s/n esquina Ignacio Comonfort Colonia Del Bosque. CP. 77019. Chetumal, Quintana Roo. <sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, antigua carretera a Pátzcuaro, col. Ex Hacienda de San José de la Huerta. Morelia, Michoacán. México.

<sup>§</sup>Autor de correspondencia: pfragoso@uqroo.edu.mx

#### Resumen

Caracterizar la cobertura terrestre de un área, sus cambios espaciales y temporales en relación con las actividades humanas, es fundamental para entender y predecir la dinámica de los componentes del paisaje, además, proporciona un marco de referencia para el estudio de la sucesión y la dinámica de los ecosistemas, así como para el diseño de políticas y estrategias de planificación, conservación y manejo sostenible de los recursos naturales. Las áreas naturales protegidas (ANP), según la LGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente) son reconocidas por sus valores ecológicos y culturales, lo cual las convierte en herramientas importantes para la gestión de especies y ecosistemas, ya que se pueden aprovechar los bienes y servicios proporcionados. X'cacel - X'cacelito en la costa de Quintana Roo, fue declarada ANP por ser un área que presenta la mayor cantidad de anidaciones de las tortugas marinas, *Carettacarettay Cheloniamydas*, ambas especies están en peligro de extinción según la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) y la norma mexicana-059 (DOF, 2010), cumple, además, una función importante como refugio de flora y fauna en el área costera y sirve como un espacio recreativo para las comunidades aledañas. En el año 1998 se elaboró su programa de manejo y actualmente se encuentra en un área susceptible a la degradación provocada por la presión generada del desarrollo turístico de la zona de la Riviera Maya, como la extracción ilegal de fauna y vegetación, acumulación de residuos sólidos, el incremento en la producción de aguas residuales producidos por los visitantes, el incremento de los asentamientos humanos a su alrededor y las actividades, por ello la necesidad de caracterizar y actualizar su plan de manejo para poder hacer un uso racional y una más eficiente conservación de los recursos en dicha zona. El objetivo de la investigación fue el identificar y caracterizar los suelos presentes del área natural de X'cacel-X'cacelito con un enfoque geomorfopedológico que sirva como base para la actualización del programa de manejo. Para caracterizar los suelos se realizó un muestreo estratificado recorriendo tres transectos, en el norte, centro y sur del área. En total

se estudiaron 34 puntos, en 13 de ellos se extrajeron muestras de cada horizonte para su análisis en el laboratorio y clasificación de acuerdo con la WRB 2014 y en 21 puntos se hicieron verificaciones. Con la identificación de los suelos, se generó el mapa de distribución de suelos incorporando los datos dentro de un sistema de información geográfica (SIG) y con un análisis de agrupamiento se obtuvo la distribución de los suelos presentes. Se identificaron seis tipos de suelo: Leptosol, Regosol, Solonchak, Gleysol, Arenosol e Histosol. La secuencia de suelos a lo largo de los tres transectos no es la misma. Cerca de la línea de mar se encuentran los Arenosols y en el extremo los Leptosols, pero entre estos dos puntos los suelos se distribuyen de acuerdo con la presencia de depresiones con zonas de inundación temporal, permanente y la cercanía al mar. Los Leptosols y Arenosols son los que ocupan mayor área. El conocimiento del recurso suelo al interior del ANP, nos permitió entender la relación que tienen con la dinámica de las playas y por tanto la relación que guardan con las características que han hecho de X'cacelX'cacelito un sitio adecuado para la anidación de al menos dos especies de tortugas marinas, protegidas por las leyes mexicanas. El área se clasificó por su uso de suelo para la recreación, la educación ambiental y para la investigación científica. Algunas actividades que se recomiendan es el ecoturismo de bajo impacto, el senderismo, observación de flora y fauna.

Palabras clave: *suelos, toposecuencia, ecoturismo, uso de suelo, karst.*

**CARTOGRAFÍA DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS DEL  
ESTADO DE YUCATÁN  
[CARTOGRAPHY OF THE CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS OF YUCATÁN,  
MÉXICO]**

Brianda Díaz Aké<sup>1§</sup>, Héctor Estrada Medina<sup>1</sup>, Mariana López Díaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán. Km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil S/N. C.P. 97315. Mérida, Yucatán, México. <sup>§</sup>Autor de correspondencia: [briiii\\_diazake@gmail.com](mailto:briiii_diazake@gmail.com)

**Resumen**

El análisis de las propiedades fisicoquímicas de los suelos es una herramienta fundamental en la toma de decisiones para su uso y manejo agrícola. Sin embargo, los costos de muestreo y análisis hacen que no esté al alcance de la mayoría de los agricultores contar con esta información. La elaboración de cartografía temática de estas propiedades podría ser una manera sencilla de poner disponible esta información a todos los usuarios del recurso suelo. El objetivo de este trabajo fue elaborar la cartografía digital de algunas propiedades químicas de los suelos del Estado de Yucatán. Se tomaron un total de 296 muestras de todo el estado, las cuales fueron procesadas y analizadas en el Laboratorio de Aguas, Plantas y Suelos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Se analizó el contenido de Nitrógeno (Kjeldhal), Fósforo (Olsen), Potasio y la Capacidad de Intercambio Catiónico -CIC- (Acetato de Amonio pH=7 + flamometría); posteriormente, los datos obtenidos fueron interpolados

por medio del método *Point Kriging*, en el programa GS+ versión 10.0 (Gammadesign, USA). La interpolación consiste en estimar, a partir de la información conocida, el valor de una propiedad en localizaciones en donde se desconoce o se carece de muestreo. Las interpolaciones fueron exportadas al programa ArcMap 10.1 (ESRI, USA) donde se realizó el geoprocesamiento para recortar la interpolación al contorno del estado de Yucatán. En los mapas elaborados se observa que los intervalos de los niveles de N van desde 0.01% hasta 1.58%, encontrando los mayores niveles en la zona Sur del estado, mientras que los más bajos están en el Este; en cuanto al fósforo los valores fluctúan entre los 0.15 mg/kg y los 1317.18 mg/kg, sin embargo, en muchas zonas muestreadas se obtuvieron valores de 0; los niveles más altos de fósforo se encontraron en el Noroeste del Estado y el valor más bajo registrado se encontró en el Noreste. Respecto al Potasio, los niveles más altos se encontraron en el Norte y los más bajos en el Noreste, en un rango de 0.03 Cmol(+)/kg a 7.58 Cmol(+)/kg; finalmente, respecto a la CIC, con valores van desde 0.0504 Cmol(+)/kg a 42.864 Cmol(+)/kg, los mayores niveles se encontraron en el Noroeste del Estado y los más bajos en el centro. Los mapas de las propiedades químicas del suelo son una excelente herramienta para conocer de forma rápida, sencilla, clara y eficaz las propiedades de un suelo. La calidad de la interpolación con la que se elaboran los mapas podría mejorar aumentando el número de puntos de muestreo en la base de datos o con el empleo del método *Cokriging*, pues este permite utilizar dos o más variables asociadas para mejorar la predicción del modelo. Se está trabajando en la elaboración de los mapas de micronutrientes.

Palabras claves: *interpolación, Kriging, mapas, macronutrientes, CIC.*

## VARIACIÓN ESTACIONAL DEL pH Y CONTENIDO DE ALUMINIO EN SUELOS DE SABANA DE YUCATÁN, MÉXICO

### [SEASONALLY CHANGES IN pH AND ALUMINUM SOIL CONTENT IN SAVANA SOILS FROM YUCATÁN, MÉXICO]

Mariana López-Díaz<sup>1</sup>, Héctor Estrada-Medina<sup>1</sup>, Irma Julieta Acuña-González<sup>2</sup>, Adolfo De la Cruz Canché<sup>3</sup>, Natalí Estefanía Naal-Gongora<sup>1</sup> y José Abraham Cortés-Couhoh<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán. Km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil S/N. C.P. 97315. Mérida, Yucatán, México.<sup>2</sup> INIFAP-CIRPAC, Campo Experimental Santiago Ixcuintla Km 6 Entronque Carretera Internacional México-Nogales Santiago Ixcuintla, Nayarit. C.P. 63300.<sup>3</sup> Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario # 13. Calle: Ex-Hacienda Xmatkuil A.P. 970, Mérida, Yucatán.

§ Autor para correspondencia: marianalopezdiaz@yahoo.com.mx

Las sabanas son biomas que se caracterizan por presentar un periodo de secas, durante el cual el suelo queda agrietado y con una escasa humedad para la vegetación, y un periodo de lluvias, donde el suelo presenta inundaciones prolongadas. Este ecosistema es dominado principalmente por gramíneas (representadas por los géneros *Andropogon*, *Paspalum*, *Trichachne* e *Imperata*), cuya resistencia a las quemadas periódicas, crecimiento amacollado y textura áspera, les ayuda a prosperar dentro del ecosistema. En el sur de Yucatán existen algunas pequeñas áreas de sabanas rodeadas por selvas cuyos suelos han sido muy poco estudiados y que se están convirtiendo paulatinamente en potreros. En el presente trabajo se estudiaron los cambios en el pH y contenido de Aluminio de suelos de sabana durante la época de secas y lluvias. El estudio se realizó en Tekax, Yucatán donde se seleccionaron dos sitios de sabana denominadas Chacho Lugo (CL) y Pol Yuc (PY). En cada sitio se realizaron tres transectos de 100m durante la época de lluvias y secas respectivamente. Se colectó una muestra compuesta de suelo cada 10m a lo largo de cada transecto, resultando en un total de 120 muestras, 60 en época de secas y 60 en época de lluvias por cada sabana. Las muestras fueron secadas al horno y tamizadas a 2mm para luego analizarles pH en agua (relación 1:2), pH en KCl 1N (relación 1:2) y el contenido de Aluminio (KCl, titulación). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de una vía con el programa Prism Versión 6.01 (Graphpad Software, USA). Los resultados mostraron diferencias significativas para el pH en agua para la sabana CL al comparar entre épocas (5.84 en lluvias y 5.42 en secas), así como diferencias entre sitios en la época de secas (5.42 en CL y 5.82 en PY). También se encontraron diferencias significativas en CL para el pH en KCl 1N en época de lluvias (4.30) y secas (4.02), así como en CL y PY tanto en la época de lluvias (CL=4.30 y PY=4.87) como en secas (CL=4.01 y PY=4.75). Los contenidos de Al fueron significativamente diferentes en CL en ambas épocas (Lluvias=0.1538 y Secas= 0.3466). El contenido de Aluminio en la sabana de PY fue cero en ambas épocas. El  $\Delta\text{pH}$  ( $\text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{agua}}$ ), fue significativamente diferente tanto en PY como en CL entre épocas y entre CL y PY para la época de lluvias. Los suelos de sabana de Yucatán tienen valores de pH más altos que los reportados en otras sabanas del mundo, y presentan una cierta capacidad de amortiguamiento y Aluminio

intercambiable durante la época de lluvias. La mayoría de los valores de pH tanto en KCl como en agua se vieron influenciados por los cambios estacionales, ya que para la época de secas son menores que para la época de lluvias; esto posiblemente a que, en la época de secas, probablemente aumenta la concentración de sales de potasio calcio y magnesio, volviendo la solución del suelo más alcalina. Las diferencias encontradas entre las dos sabanas estudiadas indican que el aluminio promueve una mayor acidez en la sabana de CL en la época de secas, posiblemente debido a la formación de hidróxidos de aluminio.

Palabras clave: *acidez del suelo, delta pH, época de secas, época de lluvias.*

## **MICROMORFOLOGIA DE UN PALEOSUELO EN ZONAS DE KARST EN QUINTANA ROO, MÉXICO**

### **[MICROMORPHOLOGY OF A PALEOSOLS IN KARSTIC ZONE FROM QUINTANA ROO, MEXICO]**

Francisco Bautista<sup>1</sup>, María del Carmen Gutiérrez-Castorena<sup>2</sup>, Patricia Fragoso-Servón<sup>3</sup>, Alberto Pereira-Corona<sup>3</sup>, Rufo Sánchez-Hernández<sup>4§</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, antigua carretera a Pátzcuaro, col. Ex Hacienda de San José de la Huerta, C.P. 58190, Morelia, Michoacán. México. <sup>2</sup> Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco, km. 36.5., C.P. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. <sup>3</sup> División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía S/N Esq. Ignacio Comonfort Col. Del Bosque. C.P. 77019 Chetumal, Quintana Roo, México. <sup>4</sup> División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA), UJAT. Carretera Villahermosa-Teapa km. 25, Ranchería La Huasteca, C.P. 86298, Centro, Tabasco, México.

§Autor de correspondencia: rufo.sanchez@ujat.mx; rusaher@hotmail.com

#### **Resumen**

El análisis de la micromorfología de los suelos permite la deducción de los procesos formadores más influyentes en la morfología de los suelos, por medio de la observación de los minerales, compuestos orgánicos e iones, así como sus arreglos estructurales. Por otro lado, los paleosuelos son restos de suelos antiguos que han quedado sepultados por los suelos actuales y que ya no funcionan como un cuerpo natural en su conjunto. En las zonas de karst tropical de México no se han reportado paleosuelos debido a que el proceso de disolución de la roca y los tipos de roca son los que gobiernan la pedogénesis, por ejemplo, en el caso de los aportes de materiales, como por ejemplo ceniza volcánica, esta es rápidamente “redigerida” por los procesos pedogenéticos. El objetivo de este estudio fue el análisis de la micromorfología del suelo actual y del paleosuelo con la finalidad de aclarar si ambos fueron formados por los mismos procesos pedogenéticos. El perfil del suelo se observó en un corte transversal de un lomerío de 245 cm de profundidad; en dicho perfil se identificó un suelo sobrepuesto a un paleosuelo a 150 cm de profundidad. En toda la profundidad del perfil se tomaron cuatro muestras correspondientes a igual número de horizontes contrastantes. Las



muestras se tomaron a los 45, 115, 170 y 220 cm de profundidad, las primeras dos se ubicaron en el suelo superior, mientras que otras se localizaron en el suelo enterrado. El procedimiento de muestreo consistió en introducir una caja metálica en el suelo, tras lo cual se procedió a su consolidación mediante impregnación con resina sintética fluida en condiciones de vacío. Una vez endurecida la muestra, se obtuvieron láminas delgadas que permitieron su análisis microscópico. Los resultados indican que la micromorfología es similar a 150 cm de profundidad, la microestructura es compleja integrada por agregados granulares y bloques subangulares, así como la presencia de microagregados entre granos. La porosidad es de 35-54 %, con poros de empaquetamiento compuestos solo cuando se presenta la estructura pedal y de empaquetamiento complejo cuando ocurren agregados con minerales de calcita. Se observan residuos vegetales principalmente en contornos de agregados. La masa basal presenta un patrón de distribución enáulica, es decir agregados grandes y pequeños con minerales de calcita y cuarzo; Fabrica-b cristalítica compuesta por cristales micríticos (menos de 4  $\mu\text{m}$ ). Por su parte, el suelo inferior presenta un mayor contraste entre las dos profundidades muestreadas. A los 170 cm de profundidad, se observa una microestructura compleja integrada por agregados granulares y bloques subangulares bien desarrollados, similares a los del suelo superior; de tamaño de arena fina a gruesa. La porosidad está compuesta por poros de empaquetamiento compuesto, se observan algunos residuos vegetales en contornos de agregados. Sin embargo, en el suelo enterrado, a una profundidad de 220 cm, la microestructura cambia a apedal agrietada y de cavidades (70%); y pedal compuesta de bloques subangulares, granular y migajosa moderadamente desarrollada; de tamaño de arena fina y gruesa. La porosidad fisurada moderadamente acomodadas, con distribución horizontal; cavidades de tamaño de arena media; distribución relacionada con agregados granulares. No se observan componentes básicos orgánicos y minerales primarios; el patrón de distribución de la masa basal es porfirica abierta y de doble espacio; compuesta por cristales micríticos. Los rasgos pedológicos presentan nódulos típicos, sub redondeados y redondeados de calcita esparítica (15%), de tamaño de arenas medias a gruesas, rellenos de calcita esparítica (>20  $\mu\text{m}$ ), rellenos sueltos incompletos de excrementos, nódulos de óxidos de Fe de tamaño de arena media y gruesa y rellenos de calcita micrítica entre los agregados granulares y migajosos, se observan pocos cristales de cuarzo policristalino redondeados, de tamaño de arena gruesa. La masa basal presenta un patrón de distribución enáulica. Se concluye que a pesar de que en campo se observa claramente un suelo sepultado a 150 cm de profundidad, la descripción micromorfológica revela que la estructura, porosidad y los componentes minerales identificables son similares hasta una profundidad de 170 cm, que incluye las dos capas muestreadas del suelo superior y la primera capa del suelo enterrado; a esa profundidad predominan los agregados granulares y bloques subangulares, principalmente de minerales de calcita. La segunda capa del suelo inferior se distingue por una porosidad diferente a la de las capas superiores, así como por sus componentes minerales que involucra la presencia de óxidos de Fe y algunos cristales de cuarzo policristalino.

Palabras clave: *península de Yucatán, procesos pedogenéticos, ambiente kárstico, microscopía petrográfica, estructura del suelo.*

## SUELOS KÁRSTICOS DE LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA

### [KARSTIC SOILS OF THE GRIJALVA RIVER BASIN]

Joel Zavala-Cruz<sup>§1</sup>, David J. Palma-López<sup>1</sup>, Ofelia Castillo-Acosta<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco, Área Ambiental. Periférico Carlos A. Molina S/N, Carretera Cárdenas-Huimanguillo Km 3.5, H. Cárdenas, Tabasco, México, C.P. 86500. <sup>2</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas, Carretera Villahermosa-Cárdenas, Km. 0.5 S/N, Entronque a Bosques de Saloya, Villahermosa, Tabasco, México, CP 86150.

<sup>§</sup>Autor de correspondencia: Zavala\_cruz@colpos.mx

#### Resumen

La cartografía de suelos es útil para la toma de decisiones sobre diversos usos del suelo, por lo que es prioritario contar con mapas actualizados a diferentes escalas, que contribuyan a minimizar el riesgo de degradación del recurso. Sin embargo, en México los mapas a nivel reconocimiento están desactualizados, y los de escalas más detalladas tienen escasa cobertura. El objetivo del estudio fue cartografiar los grupos y unidades de suelos a escala 1:250000, y reconocer su relación con los relieves kársticos de la cuenca del Río Grijalva-Villahermosa (CRG). Se generó un mapa de regiones ecogeográficas considerando los criterios de forma, altura relativa, pendiente y proceso dominante. Sobre este mapa, y el de tipos de roca, se ubicaron perfiles de suelos reportados por INEGI; en las regiones sin perfiles se definieron 61 nuevos. Los perfiles de suelos se describieron y muestrearon por horizonte, hasta 1.5 m de profundidad o hasta encontrar la roca madre. Los análisis de laboratorio se basaron en la NOM-021-RECNAT-2000, y la clasificación se hizo acorde a la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo 2006. Los linderos de suelos se mejoraron zonificando los tipos de relieve en cada región ecogeográfica; en las planicies se identificaron mediante fotointerpretación de ortofotomapas a escala 1:20000, y en las montañas se trazaron tomando en cuenta los tipos de roca y el espaciamiento de curvas de nivel en mapas topográficos a escala 1:50000. En las zonas kársticas de la CRG, se cartografiaron cinco grupos: Leptosol (LP), Cambisol (CM), Alisol (AL), Luvisol (LV) y Lixisol (LX); representan el 20.7% (443211 ha) de la CRG y el 42.9% de los ambientes geomorfológicos Sierra Norte de Chiapas (SNCH) y Altos de Chiapas (ACH). Por su desarrollo pedogenético y profundidad, se agrupan en: 1) Suelos poco desarrollados y delgados, sobresalen los LP (9.1% de la cuenca) con las unidades LP Réndzico (LPrz), LP Mólico, LP Úmbrico (LPum) y la asociación LP Réndzico (LPrz)+AC Háptico (ACha), se ubican en lomeríos, laderas inclinadas a escarpadas y planicies kársticas, sobre rocas calizas y calizas-lutitas; 2) Suelos de desarrollo incipiente y poco desarrollados, someros a delgados, corresponden a los CM con las asociaciones CM Léptico (CMle)+LP Réndzico (LPrz) en valles erosivo-acumulativos con lutitas-calizas, y CM Léptico (CMle)+LP Mólico (LPmo), en lomeríos y

laderas inclinadas sobre calizas-lutitas; 3) Suelos desarrollados, profundos a someros, representados por los grupos AL, LV y LX, tienen un horizonte árgico (Bt); se encuentran las asociaciones AL Cutánico (ALct)+AL Háplico (ALha), en lomeríos y laderas inclinadas sobre calizas y areniscas; LV Léptico (LVle)+LV CutánicoLéptico (LVctle) en lomeríos, laderas y planicies kársticas sobre calizas y areniscas; y LX Léptico (LXle) en laderas de calizas y lutitas. Estos suelos conservan relictos de selva alta y mediana perennifolia, bosques de pino encino y mesófilo de montaña, y acahuales; y también se utilizan para pastizales y cultivos perennes (café) y anuales, no obstante que presentan fuertes limitaciones para los usos agropecuarios debido a su escasa a moderada profundidad, fuerte pedregosidad y alto riesgo a la erosión, al situarse en pendientes que mayormente oscilan entre 10 y 100%. En particular, los suelos sobre lomeríos y laderas con cultivos anuales y pastizales, sujetos a sobrepastoreo, están expuestos a procesos de degradación por erosión hídrica, por lo que urge implementar prácticas de conservación y manejo sustentable. En conclusión, los relieves kársticos de la CRG contienen cinco grupos de suelos, sobresalen los LP, CM y AL, tienen fuertes limitantes para el uso agropecuario, por consiguiente, el uso más adecuado debe ser la conservación de la vegetación natural o el manejo sustentable de este recurso. En las laderas de la SNCH y ACH con uso agropecuario se recomienda implementar prácticas de conservación de suelos.

Palabras clave: *Leptosol, Cambisol, lomerío, ladera, uso agrícola.*

**CAMBIO CLIMÁTICO LOCAL Y PROBABLES EFECTOS SOBRE LA  
APICULTURA**  
**[LOCAL CLIMATE CHANGE AND PROBABLE EFFECTS ON BEEKEEPING]**

Yameli Aguilar Duarte<sup>1§</sup>, Yolanda Moguel Ordoñez<sup>2</sup>, Fabiola Reygadas Prado<sup>3</sup>, Isabel Cahuich  
Castillo<sup>1</sup> y Francisco Bautista<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE) del INIFAP. Calle 6 núm. 398 x 13, Av. Correa Rachó, Col. Díaz Ordaz, C.P. 97130. Mérida, Yucatán, México.<sup>2</sup>Campo Experimental Mocochoá, km 25 antigua carretera Mérida-Motul, Mocochoá, Yucatán.<sup>3</sup>Campo Experimental Chetumal Quintana Roo, km 25 Carretera Chetumal-Bacalar, Othón P. Blanco, Q. Roo.<sup>4</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, antigua carretera a Pátzcuaro, col. Ex Hacienda de San José de la Huerta. Morelia, Michoacán. México. C.P. 58190.

<sup>§</sup>Autor de correspondencia: yaguilarduarte@gmail.com

### Resumen

A escala local, los factores geográficos como la latitud, altitud, corrientes marinas, relieve, suelos, vegetación e incluso la actividad humana ejercen variabilidad sobre el clima y consecuentemente sus efectos sobre los ecosistemas y las actividades productivas. En Yucatán, una de las principales actividades económicas es la apicultura sin embargo, es una actividad altamente dependiente del clima y vulnerable a los efectos extremos de éste. Se cuenta con evidencias empíricas tanto en referencias bibliográficas como dichos de productores de miel, que el cambio climático está afectando la producción de miel. Sin embargo, es necesario documentar dichas aseveraciones con estudios sobre el cambio climático a nivel local. El objetivo de este estudio fue analizar las tendencias de cambio climático a escala local de algunas estaciones meteorológicas de Yucatán para evidenciar de manera cuantitativa los posibles efectos sobre la apicultura. Se recopilaron bases de datos de las estaciones meteorológicas de la CONAGUA; se utilizó el software Clic-MD para la identificación de las tendencias de cambio climático; finalmente se discutieron los resultados contrastando lo reportado por otros estudios relacionados. En cuanto a las temperaturas, se encontraron tres patrones de tendencias: 1) estaciones donde la tendencia es el aumento; 2) estaciones donde la tendencia es la disminución; y 3) estaciones donde no se presentan tendencias. Con el índice de humedad se observó que en los años más recientes, los períodos del ciclo apibotánico han sufrido desfases, presentándose meses húmedos en épocas de secas y viceversa. Se recomienda estudios fenológicos en cada sitio, para precisar los ajustes en el calendario apícola de manera particular.

Palabras clave: *anomalías climáticas, índice de humedad, fenología, prueba de Mann-Kendall.*

**PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS EDÁFICAS ASOCIADAS  
A *Brosimunalicastrum* CRECIENDO EN SOLARES Y SELVA EN YUCATÁN,  
MÉXICO**

**[EDAPHIC PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES ASSOCIATED TO  
*Brosimunalicastrum* GROWING ON SOLAR AND FOREST IN YUCATÁN,  
MEXICO]**

Oscar Álvarez-Rivera<sup>1§</sup>, Héctor Estrada-Medina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán. Km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil.

§Autor de correspondencia:oscaralvarez.uady@gmail.com

### Resumen

Los huertos familiares o solares son sistemas de gran complejidad, por su estructura pueden ser considerados como sistemas agroforestales con hasta cinco estratos horizontales. En el estado de Yucatán se ha documentado en los solares una composición florística de hasta 100 especies útiles para el hombre a nivel solar y más de 250 especies útiles a nivel comunidad. Una de las principales características de estos sistemas son las prácticas de manejo y actividades que en ellos se realizan, las cuales pueden influir en el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales o modificar las condiciones microambientales o edáficas de estos agroecosistemas. Los solares han sido sitios de gran importancia para la domesticación de especies por parte de la cultura maya; siendo *Brosimunalicastrum* una de las especies con mayor presencia en estos sitios debido a su importancia ecológica, económica y social, ya que sus frutos, semillas, hojas, corteza y látex pueden ser utilizados con diferentes propósitos. El objetivo del presente trabajo fue comparar la variabilidad de las propiedades fisicoquímicas del suelo asociado a *B. alicastrum* creciendo en solares y selva en el estado de Yucatán, México. Se seleccionaron 20 individuos de *B. alicastrum* en condiciones de huerto familiar y 20 en condiciones de selva en el municipio de Tzucacab, Yucatán, se tomó una muestra compuesta en cinco puntos aleatorios del suelo adyacente a cada árbol a una profundidad 0-30 cm. Los análisis de laboratorio se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua (LASPA) de la Universidad Autónoma de Yucatán, los análisis realizados fueron: densidad aparente (método del nucleador), densidad real (método del picnómetro), porosidad, pH (agua relación 1:2), potencial REDOX (potenciométrico), conductividad eléctrica (potenciométrico), carbono orgánico (método de Walkley y Black), carbonatos (titulación con ácido acético), nitrógeno (método Kjeldahl), fósforo (método Olsen), potasio (flamometría), sodio (flamometría), calcio (flamometría), textura (método del densímetro). Los datos se analizaron a través de pruebas de suma de rango de Wilcoxon-Mann-Whitney (prueba U) y se calculó la  $\eta^2$  para cada comparación. En el suelo adyacente a *Brosimunalicastrum* en condiciones de huerto familiar se encontró una mayor densidad aparente ( $0.99 \text{ g cm}^{-3} \pm 0.18$ ), densidad real ( $1.73 \text{ g cm}^{-3} \pm 0.16$ ), un mayor contenido de

carbonatos ( $0.26\text{ g g}^{-1} \pm 0.17$ ) y fósforo ( $137.19\text{ mg kg}^{-1} \pm 39.70$ ), así como un pH ligeramente alcalino ( $7.23 \pm 0.15$ ) y un potencial REDOX con condiciones más oxidantes ( $23.54\text{ mV} \pm 26.25$ ). Mientras que en selva se encontró una mayor conductividad eléctrica ( $1.02\text{ dS cm}^{-1} \pm 0.54$ ), un mayor contenido de carbono ( $14.61\% \pm 3.50$ ), nitrógeno ( $1.77\% \pm 0.72$ ) y una mayor porosidad ( $54.97 \pm 14.03$ ). Todas las variables fueron estadísticamente diferentes entre sistemas ( $p < 0.01$ ). Siendo las variables que presentaron un valor de  $\eta^2$  más elevado el contenido de fósforo (0.79), densidad aparente (0.77), carbono orgánico (0.66), densidad real (0.65) y nitrógeno (0.53). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el contenido de potasio, sodio y calcio entre ambos sistemas de manejo. Las texturas dominantes en ambos sistemas fueron el franco arcilloso y la arcillosa, con algunas texturas con características más arenosas en los sistemas de selva. Se concluye que las propiedades fisicoquímicas del suelo son diferentes entre sistemas, lo cual podría estar relacionado con las prácticas de manejo que ocurren en cada uno. En el solar se realizan podas, quemas, remoción de hojarasca, vertido de aguas grises, adiciones de abonos y fertilizantes, entre otras, mientras que en la selva el manejo es mínimo y dirigido solo a actividades relacionadas con la extracción.

Palabras clave: *suelo, huertos familiares, vegetación silvestre, ramón, prácticas de manejo.*

## **CONTENIDO FOLIAR DE NUTRIENTES EN ÁRBOLES DE HUERTOS FAMILIARES Y SELVAS DE YUCATÁN, MÉXICO**

### **[LEAF NUTRIENT CONTENT OF TREE SPECIES FROM HOMEGARDENS AND TROPICAL FOREST OF YUCATÁN, MÉXICO]**

Héctor Estrada-Medina<sup>1§</sup>, Miriam Ferrer-Ortega<sup>1</sup>, Patricia Montañez Escalante<sup>1</sup>, Grely Pech Puch<sup>1</sup>,  
Mariana López-Díaz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad Autónoma de Yucatán. Km. 15.5 carretera Mérida-Xmatkuil S/N. C.P. 97315. Mérida, Yucatán, México.

§ Autor de correspondencia: [hector.estrada@correo.uady.mx](mailto:hector.estrada@correo.uady.mx)

#### Resumen

Las plantas silvestres se adaptan a las condiciones cambiantes del ambiente para asegurar su descendencia. La domesticación de plantas útiles es, además del resultado de los procesos de selección natural, un proceso de selección dirigida o mediada por el hombre donde las prácticas de manejo de las plantas son muy importantes para conseguir los caracteres deseables de cada planta. En este estudio se comparó el contenido de nutrientes del suelo y hojas en individuos de tres especies de árboles, Ciricote (*Cordia dodecandra*) Ramón (*Brosimum malicastrum*) y Ciruela (*Spondias purpurea*) creciendo en selva (silvestres) y en huertos familiares (domesticados) de dos regiones de Yucatán, México, con diferente

régimen pluvial (Tzucacab 1101-1200mm y Tizimín 1201-1300 mm). Se eligieron 20 árboles focales por especie en cada una de las combinaciones de hábitats y regiones. Se tomaron muestras de suelo de 0-30cm asociados a cada árbol focal y se determinaron los contenidos de Carbono (C), Nitrógeno (N), Fosforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca) y Sodio (Na). El contenido de éstos mismos nutrientes se cuantificó para una muestra compuesta de 20 hojas maduras de cada árbol focal. El contenido de los nutrientes de los suelos fue similar en ambas regiones, destacando un mayor contenido de P en los suelos de Tzucacab y un mayor contenido de C y Na en los de Tizimín. Los suelos de huertos presentaron mayor cantidad de P pero menor cantidad de C, N que los suelos de selva; el resto de los nutrientes evaluados fue similar en ambos tipos de suelos. En cuanto a las especies, los suelos donde crece *B. alicastrum* tienen el mayor contenido de todos los nutrientes evaluados; siendo los valores entre los suelos de *C.dodecandra* y *S. purpurea* muy similares. El contenido de P de las hojas de los árboles de Tizimín fue mayor que las de Tzucacab, mientras que éstas últimas presentaron mayor contenido de C, Na, K y Ca. Las hojas de huerto presentaron mayor cantidad de P que las hojas de árboles de selva; el resto de los nutrientes foliares evaluados fue similar en los árboles selva y huertos. En cuanto a las especies, las hojas de *B. alicastrum* tienen el mayor contenido de Na, K y Ca; las hojas de *C.dodecandra* tienen el mayor contenido de C y las hojas de *S. purpurea* tienen el mayor contenido de P y N. Estos resultados indican que las tres especies utilizan de manera diferente los nutrientes del suelo. *B. alicastrum* es una especie que tolera bien niveles altos de Na mientras que *S. purpurea* requiere altos niveles de P; los niveles altos de fósforo en los solares, producto de las prácticas de manejo, hacen que estos suelos sean favorables para esta especie. Los datos sugieren que las condiciones del suelo en la selva limitan la asimilación de nutrientes y por consiguiente el desarrollo y distribución de las especies de estudio, mientras que en los solares las prácticas de manejo modifican, positiva o negativamente, las condiciones nutricionales que puede alcanzar cada especie.

Palabras clave: *solares, suelo, ciricote, ramón ciruela.*

**AMBIENTES MORFOGENÉTICOS DEL ESTADO DE CHIAPAS**  
**[MORFOGENETIC ENVIRONMENT OF THE CHIAPAS STATE]**

Horacio Morales<sup>1</sup>§, Silvia Ramos<sup>1</sup>, Francisco Bautista<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. UNICACH. Ciudad Universitaria. Edificio 21. Libramiento Norte Poniente No. 1150, Colonia Lajas Maciel, C.P. 29039. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. 2. Centro de Investigación en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM. Campus Morelia. Antigua carretera a Pátzcuaro No. 8701. Ex Hacienda de San José de la Huerta. C.P. 58190. Morelia, Michoacán.

§Autor de correspondencia: horacio.morales@unicach.mx

**Resumen**

Ante los diversos problemas ambientales que enfrenta la sociedad chiapaneca, es prioritario realizar un uso racional del territorio y los recursos naturales contenidos en este. Para cumplir con este propósito, es necesario fortalecer desde una perspectiva geográfica los diversos instrumentos de planificación territorial mediante una propuesta clara y contundente de unidades espaciales relativamente homogéneas, derivadas de un proceso de regionalización que contemple los principios: sistémico, holístico e integral. En este sentido, es quizá la geomorfología una de las disciplinas que más ha contribuido en esta tarea debido a la posición que guarda en la envoltura geográfica (Bocco y Ortíz, 1994; Bocco et al., 1999; Ortíz, 2000). La presente investigación tiene por objetivo establecer los ambientes morfogenéticos del estado de Chiapas a escala 1: 250 000. Para cumplir con este propósito se aplicó la propuesta teórica y metodológica de Zink (1988 y 2012) con información cartográfica paisajista elaborada por Morales-Iglesias et al., (2017). Todos los procesos cartográficos se realizaron en un sistema de información geográfica (SIG). Los resultados preliminares del presente estudio señalan que el estado de Chiapas posee 18 ambientes morfogenéticos. Los ambientes predominantes son: 1) Tectónico disyuntivo erosivo, 2) Tectónico mixto kárstico, 3) Tectónico plicativo acumulativo, 4) Tectónico mixto erosivo. El primero representa un 17 % de la superficie total de la entidad, mientras que el segundo ocupa el 16%; el tercero abarca un 13%, finalmente, el cuarto comprende un 10%. Cabe señalar que los ambientes morfogenéticos están albergados en cuatro niveles taxonómicos. A manera de conclusión, se debe señalar que el territorio chiapaneco manifiesta una amplia diversidad de ambientes morfogenéticos; sin embargo, destacan el por su extensión territorial los ambientes tectónicos plicativos kársticos y braquianticlinales kársticos.

Palabras claves: *morfogenético; regionalización; tectónico; kárstico; territorio.*

**DRONES PARA MONITOREO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN  
SISTEMAS NATURALES Y ANTRÓPICOS EN YUCATÁN**



## [DRONES FOR MONITORING GREENHOUSE GASES IN NATURAL AND ANTHROPIC SYSTEMS IN YUCATAN]

Neftaly Gijón Yescas<sup>1§</sup>, Héctor Estrada Medina<sup>1</sup>, Jorge Euan Ávila<sup>2</sup>, Rubén Medina Esquivel<sup>3</sup>, y Yameli Aguilar Duarte<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Carretera Mérida-Xmatkuil, Km. 15.5, Mérida, Yucatán, México. C.P. 97100. <sup>2</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) - Unidad Mérida. Antigua Carretera a Progreso Km 6, Cordemex, Loma Bonita Xcumpich, Mérida, Yucatán, México. C.P. 97310. <sup>3</sup>Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). Av. Industrias No Contaminantes, Periférico Norte, Cordemex, Mérida, Yucatán, México. C.P. 150.

<sup>4</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Av. Correa Rachó por calle 15, Col. Díaz Ordaz, Mérida, Yucatán, México. C.P. 97130

<sup>§</sup>Autor para correspondencia: nefthally@gmail.com

### Resumen

El clima a escala mundial ha evolucionado desde siempre y lo ha hecho de forma natural, sin embargo, los niveles de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera han aumentado rápidamente desde la era industrial como producto de la actividad humana. Se requieren metodologías específicas para determinar las emisiones de GEI generadas en cada sitio y la evaluación de sus tendencias, ya sean de origen natural o antrópico y poder predecir con mayor confiabilidad los efectos climáticos a mediano y largo plazo para determinar estrategias de mitigación viables. Actualmente los drones pueden desempeñar un papel importante en la detección de gases ambientales en áreas remotas y de difícil acceso debido a su capacidad para sostener instrumentos, sensores y recopilar datos con alta resolución temporal y espacial al mismo tiempo que proporcionan capacidades de monitoreo más útiles y continuas. La metodología contempla vuelos horizontales y verticales a diferentes escalas espaciales y temporales con el uso de diferentes sensores, con el objetivo de monitorear *in situ* las concentraciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>) en sistemas naturales (selva, cenote, rejollada, manglar y playa) y antrópicos (cultivo agrícola, relleno sanitario, granja porcícola, zona urbana y parque recreativo) ubicados en el municipio de Mérida y el anillo de cenotes de Yucatán, mediante el uso de drones y sensores (gases, térmicos, infrarrojos y cámaras RGB). Este estudio se realizará en dos etapas; la primera etapa tendrá una duración de un año y se desarrollará en dos épocas: en la época de secas (marzo-mayo) y posterior a la temporada de lluvias (octubre-diciembre) en las cuales se harán mediciones *in situ* con drones y sensores de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en los sistemas naturales y antrópicos seleccionados. Asimismo, para establecer posibles correlaciones de la variación de la concentración de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> con su entorno, en cada sistema se llevarán a cabo los siguientes monitoreos con drones y sensores: cobertura del suelo, Índice de Vegetación Diferencial Normalizada (NDVI) y temperatura superficial. En la segunda etapa del estudio se seleccionará el sistema natural y un antrópico que hayan registrado las mayores concentraciones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. Sobre estos sistemas se continuará monitoreando la concentración de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, cobertura del suelo, índices NDVI y temperatura superficial con una frecuencia mensual durante un año. Las primeras pruebas piloto evidencian el

potencial de las selvas como reservorios de carbono y concentraciones mayores de CO<sub>2</sub> en zonas deforestadas como por ejemplo en una carretera. El uso de drones y sensores son herramientas innovadoras que permiten mejorar los estudios ambientales a escalas locales y conocer la dinámica temporal de los procesos de estudio.

Palabras clave: *dióxido de carbono, metano, selvas, cultivos agrícolas, cambio climático.*

## **GAS RADÓN EN CASAS-HABITACIÓN DE ALDAMA, CHIHUAHUA, MÉXICO Y EL RIESGO DE CÁNCER DE PULMÓN**

### **[INDOOR RADON GAS (<sup>222</sup>Rn) LEVELS IN HOMES IN ALDAMA, CHIHUAHUA, MEXICO AND THE RISK WITH LUNG CANCER]**

Carolina Lerma-Treviño<sup>1§</sup>, Héctor Rubio-Arias<sup>1</sup>, Luis Humberto Colmenero-Sujo<sup>2</sup> y Jesús Manuel Ochoa-Rivero<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico R. Almada Km. 1, Chihuahua, Chih., Mx. C.P. 31453. <sup>2</sup> Instituto Tecnológico de Chihuahua II. Ave. de las Industrias 11101, Complejo Industrial Chihuahua, Chih., Mx. C.P. 31130. <sup>3</sup> Campo Experimental La Campana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Chihuahua-Ojinaga Km. 33.3, Aldama, Chih., Mx. C.P. 32910.

<sup>§</sup>Autor para correspondencia: carolinalerma95@gmail.com

#### **Resumen**

El radón (<sup>222</sup>Rn) es un gas incoloro, inodoro e insípido cuya inhalación induce cáncer de pulmón en humanos. El gas <sup>222</sup>Rn experimenta un decaimiento radioactivo, empieza a emitir partículas alfa de alta energía, que potencialmente son un riesgo para la salud humana y animal. Por tanto, el objetivo de este estudio fue documentar los niveles de <sup>222</sup>Rn a los que están expuestos en sus casas-habitación los habitantes que radican en la cabecera Municipal de Aldama, Chihuahua, México. Un segundo objetivo fue correlacionar los niveles de <sup>222</sup>Rn con la presencia de cáncer de pulmón entre la población. Asimismo, correlacionar la concentración de <sup>222</sup>Rn con el tipo de material de construcción de las casas-habitación (adobe-block-ladrillo) y el tiempo (día y noche). El estudio se llevó a cabo en casas-habitación localizadas en la cabecera municipal de Aldama, Chihuahua. Se utilizaron 12 casas-habitación entre pobladores de la comunidad dispuestos a participar en el estudio, previo a su convencimiento para participar en el mismo. En cada casa participante, se colocó el Equipo AlphaGuard; Professional Radon Monitor (Genicron Instruments GmbH) durante tres días completos, para documentar los niveles de <sup>222</sup>Rn en Bequerlios (Bq m<sup>-3</sup>) cada 10 min. En forma adicional se obtuvo con la misma frecuencia (cada 10 min) los niveles de temperatura (° C), presión de aire (PA) y humedad relativa (%). El instrumento de medición, se colocó en la recámara principal de la casa-habitación a una altura semejante al nivel de la cama; aproximadamente a una altura de 0.75 m. Para cada casa se elaboró un croquis que muestre su distribución, especificando en particular el material de construcción; para en su caso, determinar diferencias existentes entre niveles de radón a los que están expuestos sus

habitantes, debido al factor de casas construidas con block y las construidas con adobe. En la última etapa del estudio, se agendó una reunión con el propietario (a) o responsable de la casa-habitación, a través de un cuestionario previamente diseñado, así como para recolectar antecedentes de presencia de cáncer de pulmón entre los propietarios y sus familiares. Se realizó un análisis para detectar diferencias estadísticas entre los tipos de casas-habitación, así como diferencia entre horario (noche y día). Se elaboraron gráficas de tendencia utilizando el paquete estadístico de Minitab 18. Además, se realizaron análisis de correlación entre las variables obtenidas. Para el análisis del cuestionario se realizó un análisis descriptivo. La Figura 1 muestra el promedio de la concentración de radón en las 12 casas-habitación. Se puede observar que la mitad de ellas sobrepasan la norma internacional (USEPA) de  $148 \text{ Bq/m}^3$ . El análisis estadístico mostró que las casas-habitación tuvieron diferentes concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$ . La Figura 2 muestra la media de niveles de  $^{222}\text{Rn}$  en casas-habitación durante el día y la noche. Se puede observar que en la noche existe una mayor exposición que en el día; sin embargo, ambas medias sobrepasan la norma internacional. La Figura 3 especifica la diferencia de concentración que existe entre las casas de acuerdo por el material de construcción de adobe y block. Se puede observar que el promedio de las casas construidas con block no sobrepasan la norma internacional, a diferencia de las adobe. Derivado del presente trabajo se puede llegar a las siguientes conclusiones: 1) Las casas muestreadas presentan grandes diferencias en las concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$ ; 2) Las casas-habitación construidas de adobe guardan más altas concentraciones de  $^{222}\text{Rn}$  que las construidas con ladrillo y; 3) Los niveles de  $^{222}\text{Rn}$  son mayores en la noche que en el día debido a las bajas temperaturas que se presentan en la noche.

Palabras clave: *Radiactividad, uranio, suelo*

**EXTRACCIÓN DE METALES EN AGUA UTILIZANDO FILTROS EMPACADOS  
CON DIVERSOS TAMAÑOS DE ZEOLITA NATURAL  
[METAL EXTRACTION IN WATER USING FILTERS PACKED WITH  
DIFFERENT SIZES OF NATURAL ZEOLITE]**

Yurén Rafael Enríquez-Márquez<sup>1</sup>, Jesús Manuel Ochoa-Rivero<sup>2§</sup>, Héctor Osbaldo Rubio-Arias<sup>3</sup>,  
Eutiquio Barrientos-Juárez<sup>2</sup> y Jorge Gómez-González<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Alumno de licenciatura. Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico R. Almada Km. 1, Chihuahua, Chih., Mx. C.P. 31453. <sup>2</sup>Investigadores. Campo Experimental La Campana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Carretera Chihuahua-Ojinaga Km. 33.3, Aldama, Chih., Mx. C.P. 32910. <sup>3</sup>Profesor-Investigador. Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico R. Almada Km. 1, Chihuahua, Chih., Mx. C.P. 31453. <sup>4</sup>Gerente. Servicio Geológico Mexicano. Calle Industrial 6 Lote Int. 2 Zona Industrial Robinson, Chihuahua, Chih., Mx. C.P. 31074. <sup>§</sup>Autor de correspondencia: [ochoa.jesus@inifap.gob.mx](mailto:ochoa.jesus@inifap.gob.mx)

## Resumen

El crecimiento dinámico de la población, urbanización e industrialización han incrementado la demanda de los recursos hídricos en el mundo. En consecuencia, se ha detonado una escasez y una disminución de agua de calidad para cubrir con el desarrollo sostenible de los países y la seguridad alimentaria de las comunidades en todo el mundo. Esta realidad es magnífica, a niveles extremos, en las regiones áridas y semiáridas, ya que en estas zonas la principal fuente del vital líquido proviene de aguas superficiales someras o aguas subterráneas. Por ejemplo, en el norte de México, los recursos hídricos de origen subterráneo se encuentran sobreexplotados y, en consecuencia, poseen un nivel freático abatido con altos niveles de metales y metaloides tóxicos como el arsénico (As) y flúor (F), entre otros. Por estos antecedentes es necesario desarrollar tecnologías de bajo costo utilizando materiales regionales, como la zeolita, que permitan la remoción de contaminantes presentes en agua. En la actualidad, se han utilizado una gran variedad de tecnologías de tipo físico, químico y biológico con el propósito de descontaminar el agua. Diversos estudios han reportado que las zeolitas naturales son una alternativa para la remoción de contaminantes en agua; en especial, de metales pesados y/o metaloides. Sin embargo, pocos estudios han analizado la interacción y niveles de remoción de las zeolitas naturales en base a su granulometría. Por esta razón, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la extracción de metales pesados presentes en agua utilizando filtros empacados con zeolitas naturales que presentan diversos tamaños de granulometría. La hipótesis de investigación fue que la utilización de filtros empacados con zeolitas naturales de diversos tamaños varía en los niveles de remoción de metales pesados en agua. El estudio se desarrolló en el Campo Experimental La Campana del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) sito en Ciudad Aldama Chihuahua, México. Se probaron cuatro tratamientos; los cuales, consistieron en tres filtros empacados con zeolita natural de diferentes tamaños de partícula (tres tamaños) y el cuarto filtro fue empacado con los tres tamaños de zeolita. El agua (agua cruda) fue obtenida en las aguas termales de San Diego de Alcalá, en Chihuahua, México. Previo a su pase por los filtros, para evaluar la capacidad de remoción, el agua cruda se analizó con dos

repeticiones para obtener la concentración de los 33 metales pesados y metaloides. En una primera etapa, se diseñó una base de datos en el software estadístico Minitab 18 y se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables. En los casos en los que se rechazó la hipótesis nula ( $H_0$ ) se procedió a realizar una prueba de comparación de medias utilizando la prueba de Fisher. Todos los análisis se realizaron utilizando un nivel de significancia de 95%; es decir,  $\alpha=0.05$ . Del total de 33 elementos analizados en agua cruda, los siguientes elementos As ( $0.189 \text{ mg L}^{-1}$ ), B ( $1.339 \text{ mg L}^{-1}$ ), Ca ( $23.901 \text{ mg L}^{-1}$ ), K ( $20.094 \text{ mg L}^{-1}$ ), Li ( $0.408 \text{ mg L}^{-1}$ ), Mg ( $18.172 \text{ mg L}^{-1}$ ) y Na ( $452.180 \text{ mg L}^{-1}$ ) se encontraron en las más altas concentraciones y en algunos casos superiores a la normativa nacional e internacional. Los cuatro tratamientos de filtros de zeolita redujeron la concentración de As en agua. Mientras que para el elemento B el ANOVA no detectó diferencias estadísticas ( $P>0.05$ ) entre los efluentes de los cuatro tratamientos; no obstante, todos los tratamientos redujeron la concentración de B. Los tratamientos más eficientes fueron el de partícula pequeña que removió alrededor de 72% del B en el primer paso de agua cruda y el tratamiento mixto que removió alrededor de 75%. En conclusión, los filtros empacados con zeolitas naturales tienen la capacidad de extracción de metales pesados y metaloides del agua.

Palabras clave: *Arsénico, Boro, Chihuahua*

Keywords: *Arsenic, Boron, Chihuahua*

## **ANÁLISIS DE CARBONO Y MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS: MÉTODOS Y USOS**

### **[CARBON AND ORGANIC MATER ANALISYS IN SOILS: METHODS AND USES]**

Alberto Pereira Corona<sup>§1</sup>, Patricia Fragoso Servón<sup>2</sup>, Claudia Agráz Hernández<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Centro de Monitoreo e Investigación de la Zona Costera, Laboratorio de Ecología y Ordenamiento Territorial. <sup>2</sup>División de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Quintana Roo, Boulevard Bahía s/n esquina Ignacio Comonfort, C.P. 77019 Chetumal, Quintana Roo. <sup>3</sup>Centro EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche.

§Autor de correspondencia: apereira@uqroo.edu.mx

#### **Resumen**

En años recientes con el incremento en los estudios sobre la atmósfera derivados de la problemática del cambio climático se ha renovado el interés en la determinación de las cantidades de carbono que se encuentran acumuladas en los diferentes reservorios dentro del ciclo biogeoquímico del mismo y los flujos de este elemento entre esos diferentes reservorios. Actualmente el desarrollo de nuevas tecnologías y el refinamiento en algunos modelos de análisis elemental nos han proporcionado mecanismos para medir con una precisión enorme esas cantidades de carbono que se encuentran en el entorno, sin embargo, poco se ha dicho en cuanto a las ideas de exactitud y precisión en el uso de estas nuevas metodologías de análisis. En tanto algunos de los nuevos métodos nos brindan una gran precisión, el tamaño de muestra usado es del orden de miligramos y surge entonces la pregunta en cuanto a la exactitud con la cual dichas muestras representan la realidad en cuanto a la composición de ese suelo y la validez de esos datos para representar una realidad geográfica particular. Por otro lado, los métodos más antiguos si bien no son tan precisos, al considerar una muestra de tamaño considerablemente mayor, permiten una mayor exactitud en cuanto a la representación de esa realidad a escala geográfica. Este problema se ve incrementado en el caso de los suelos de zonas kársticas por la presencia de grandes cantidades de carbonatos que enmascaran la relación entre el carbono orgánico y el inorgánico en dichos suelos. El objetivo de este trabajo fue comparar diferentes técnicas y metodologías para la medición de la materia orgánica y el carbono en suelos en función de su exactitud y precisión. Se consideraron muestras de suelos de la porción oriental de la península de Yucatán, se tomaron suelos de diferentes tipos y con diferentes proporciones de carbono orgánico e inorgánico. Las mismas muestras de suelos fueron procesadas para medir la materia orgánica oxidable, la materia orgánica total y el carbono inorgánico usando las técnicas de oxidación con dicromato de potasio, ignición, calcinación e ignición por oxidación forzada con pentóxido de Vanadio en un analizador elemental. Todos los análisis e hicieron por triplicado (tres submuestras con tres repeticiones cada una) y se calcularon las estadísticas descriptivas básicas para estimar las diferencias por comparación de varianzas y comparación de intervalos de incertidumbre para cada una de las técnicas empleadas y entre ellas. Los resultados obtenidos muestran una clara diferencia entre las diferentes técnicas y metodologías y separan las técnicas empleadas en dos grupos bien definidos en función de la

precisión; en un grupo se encuentran las técnicas de oxidación con dicromato de potasio, la ignición y la calcinación en tanto que el otro grupo está formado por las técnicas de oxidación forzada con pentóxido de Vanadio y la misma oxidación forzada con pentóxido de vanadio posterior a una digestión con ácido clorhídrico y medición del dióxido de carbono resultante en un analizador elemental. En el primer grupo se encontró que la aplicación de la oxidación química exclusivamente tiende a sobrevalorar la cantidad de carbono orgánico ya que la reacción de oxidación con dicromato de potasio actúa sobre los carbonatos de estos suelos kárstico y por ende arroja valores más altos por su parte la ignición, también afecta a los carbonatos aunque sea en menor medida si las temperaturas se mantienen suficientemente bajas, sin embargo, con los niveles térmicos necesarios para quemar el carbono orgánico, hay una cierta degradación de los carbonatos que nuevamente tiende a arrojar valores ligeramente sobreestimados. Se desarrolló un modelo combinado de eliminación de carbonatos por acción ácida con un ácido suave que no altera sensiblemente el carbono o la materia orgánica y que permite la cuantificación de los carbonatos en la muestra, la cual luego es procesada por calcinación para quemar o todo el carbono orgánico, incluyendo las moléculas recalcitrantes y se verificó la presencia de carbono oxidable mediante el procesamiento de las cenizas con la técnica de dicromato de potasio, mostrando que estos dos procesos aplicados en secuencia hacen una separación más exacta de la parte orgánica y la inorgánica del carbono en la muestra lo que queda evidenciado por una menor varianza intra e intermuestral en los valores reportados. Las mismas muestras procesadas con el analizador elemental dieron valores mucho más precisos y con varianzas menores, pero se debe considerar que las muestras son del orden de miligramos y por tanto es cuestionable su representatividad fuera de las escalas de trabajo ligadas a los niveles de individuo es decir escalas fisiológicas. De la misma manera, las muestras analizadas sin tratamiento muestran la tendencia a sobre valorar el carbono orgánico por degradación de los carbonatos presentes en las muestras, para el caso de la técnica de digestión previa con ácido clorhídrico las varianzas fueron más altas que las resultantes para las muestras en las que se eliminó previamente los carbonatos por medio del mismo ácido, pero en forma diluida. Las comparaciones realizadas muestran una mayor exactitud en las técnicas no elementales, es decir en las de oxidación química y calcinación, con varianzas intermuestrales similares a las intramuestrales; en tanto que la precisión de estas técnicas solo puede llevarse a los cuatro decimales en la medición. Para los métodos de análisis elemental, las varianzas intramuestrales son significativamente menores que las varianzas intermuestrales, lo que nos indica una mayor precisión pero una menor exactitud en la representación de los contenidos de carbono en suelo incluso a escala de sitio, haciendo estas mediciones recomendables más para estudios de fisiología que para estudios de terreno o geográficos. De donde se recomienda que las técnicas de análisis elemental se usen para trabajos de fisiología en tanto que para otros trabajos entre ellos los de geografía o tipificación de suelos y ambientes se recomienda la técnica de ignición modificada.

Palabras clave: *metodología, ignición, oxidación, exactitud geográfica, precisión.*

## **UNA APROXIMACIÓN ECOHIDROLÓGICA DE UN CAMPO EXPERIMENTAL DE POZOS EN EL KARST DE YUCATÁN**

## [HIDROECOLOGICAL APPROACH OF AN EXPERIMENTAL WELLS FIELD IN YUCATAN KARST]

Carlos Enrique ZetinaMoguel <sup>1§</sup>, Roger Amílcar GonzálezHerrera.<sup>1</sup>, Ismael Abelardo Sánchez y Pinto.<sup>1</sup>, Icela Dagmar BarcelóQuintal.<sup>2</sup>y Roger Iván MéndezNovelo.<sup>1</sup>

1 Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Av. de Industrias no Contaminantes por Anillo Periférico Norte s/n. Mérida, Yucatán, México. 2 Área de Química y Físico-química Ambiental. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma Metropolitana–Azcapotzalco. Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, C.P. 02200. Delegación Azcapotzalco, CDMX.

§Autor de correspondencia: zmoguel@correo.uady.mx

### Resumen

El Campo Experimental de Pozos de la FIUADY es un sistema de pozos de 50 m y hasta 75 m de profundidad. Se construyó con la finalidad de confrontar y consolidar el conocimiento hidrológico del agua subterránea en la planicie kárstica del norte de Yucatán. En este contexto el objetivo de este trabajo es documentar el comportamiento histórico de algunas variables del ambiente físico-químico y biológico del acuífero, a través del monitoreo y análisis de éstas variables para bosquejar modelos del hábitat de la microbiota del epikarst en la planicie norte de la Península de Yucatán y estudiar procesos biogeoquímicos del acuífero kárstico. Se documentó la conformación hidrogeológica mediante el análisis de detritos durante la perforación de los pozos y posteriormente, utilizando técnicas de video subacuático; se hicieron mediciones de Temperatura, Conductividad, pH y oxígeno disuelto en Octubre, Noviembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril de diferentes años. Para los análisis estadísticos se agruparon los datos en dos períodos: Recarga (Octubre y Noviembre) y Descarga (Enero-Abril). Los resultados incluyen un perfil hidrogeológico esquemático y los análisis estadísticos de las variables. Los valores mínimos y máximos observados son: Temperatura (26.64,29.87), Conductividad (465,46800), pH (6.14,8.20) y O<sub>2</sub> disuelto (0.01, 7.93); se discute sobre la arquitectura física, físico-química y biológica del ambiente subacuático oscuro en el Parque Experimental de pozos concluyendo qué a) en un área de pocos metros cuadrados y una profundidad de 50 y 75 m, pueden encontrarse variaciones importantes en los comportamientos hidrogeológicos, b) el comportamiento hidrogeológico de los pozos tiene que ver con horizontes kársticos de diferente conectividad y, en muchos casos, se debe a una mezcla de forzamientos hidráulicos horizontales y verticales y por último c) que la presencia de crustáceos en los pozos y las “anomalías” en la concentración de oxígeno puede tener una explicación en procesos biogeoquímicos de ecosistemas oscuros.

Palabras Clave: *hidrología, video subacuático, horizontes kársticos, estratificación del acuífero.*



**VULNERABILIDAD, FENÓMENOS NATURALES E  
HIDROMETEREOLÓGICOS ANTE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE  
CHIAPAS**

**[VULNERABILITY, NATURAL PHENOMENA AND  
HYDROMETEOROLOGICAL TO CLIMATE CHANGE IN THE STATE OF  
CHIAPAS]**

Silvia Ramos Hernández<sup>§</sup>, Emmanuel Díaz Nigenda, Horacio Morales Iglesias, Miguel Alatorre Ibarquengoitia, Andrea Venegas Sandoval, Francisco Pinto, Juan Jon Selvas, Iris Cossío Pérez, Ma. de los Ángeles Hernández Moreno

Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático.  
Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. UNICACH. Ciudad Universitaria. Edificio 21.  
Libramiento Norte Poniente No. 1150, Colonia Lajas Maciel, C.P. 29039.  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

<sup>§</sup>Autor de correspondencia: silviaramosh@unicach.mx

**Resumen**

El estado de Chiapas, es reiteradamente conocido por la diversidad de sus paisajes naturales y culturales, además, de poseer una alta riqueza biológica, sin embargo, como consecuencia del cambio de uso del suelo, la tala inmoderada de sus bosques y selvas, contaminación de las aguas superficiales, el cambio de uso del suelo, sin una adecuada planificación acorde a la vocación natural de éstos, el crecimiento de poblaciones rurales y ciudades en zonas poco aptas para el desarrollo urbano, ha generado grandes impactos, que más tarde se han traducido en la generación de desastres, produciendo cuantiosos daños y pérdida de recursos, infraestructura, cultivos y lamentablemente en vidas humanas. Este análisis tiene como objetivo señalar la alta susceptibilidad de las regiones de Chiapas, ante este panorama y bajo las condiciones climáticas actuales y futuras, particularmente al impacto por fenómenos hidrometeorológicos, tales como inundaciones, sequías, hundimientos, agudizadas por los fenómenos geológicos, como terremotos y erupciones volcánicas, movimientos de tierra que expondrán en el futuro a más riesgos y vulnerabilidad a la población tanto rural como urbana en el Estado, representando grandes desafíos para gobernantes y población en su conjunto ante los efectos exacerbados de las alteraciones climáticas.

Palabras clave: *riesgos hidrometeorológicos, vulnerabilidad, cambio climático, fenómenos geológicos.*

**RELACIÓN ENTRE GEOMORFOLOGÍA-SUELO EN DOS PAISAJES DE  
CAMPECHE, MÉXICO**

**[RELATIONSHIP BETWEEN GEOMORPHOLOGY AND SOIL IN TWO  
LANDSCAPES OF CAMPECHE, MEXICO]**

§ David Jesús Palma-López<sup>1</sup>; Edgar Demetrio Shirma-Torres<sup>1</sup>; Joel Zavala Cruz<sup>1</sup>;  
Francisco Bautista<sup>2</sup>; Antonio López Castañeda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados Campus Tabasco. Área del Ambiente. Cárdenas Tabasco, México. Periférico Carlos A. Molina S/N Carr. Cárdenas Huimanguillo km3.5; H. Cárdenas Tabasco, CP 86500, México<sup>2</sup>Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán.

§dapalma@colpos.mx.

Resumen

Llegar a establecer asociaciones de suelo-relieve requiere basarse en conocimientos adquiridos en Geomorfología y en Edafología, aplicando métodos de trabajo de ambas ciencias. Los paisajes en las zonas kársticas como la del estado de Campeche presentan una fuerte variación la cual se refleja también en los tipos de suelos que se pueden encontrar. Una técnica para tratar de entender esta variación espacial es mediante el estudio de transectos o catenas de paisajes, donde se trata de asociar las formas terrestres y los suelos que en ellas se desarrollan. Se realizaron dos catenas geomorfológicas con el objetivo de conocer la variabilidad espacial de las geoformas y su relación con el suelo en terrenos kársticos de Campeche. La metodología consistió en generar el mapa geomorfológico, en cual se tomó como base los estudios de regionalización de sistemas terrestres y paisajes los cuales se perfeccionaron con nuevos linderos basados en la interpretación y análisis de un Modelo Digital de Elevación (MDE) (INEGI) escala 1: 50,000; así como también de imágenes satelitales tipo SPOT. Posteriormente se realizó el análisis para el arreglo de distribución de las geoformas mediante dos catenas o toposecuencias. Ambos perfiles geomorfológicos transversales fueron ubicados entre los puntos cardinales oeste-este. Este trabajo se llevó a cabo dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcView 9.1. Para analizar la relación de distribución entre el relieve y el suelo, se describieron perfiles de suelos en campo, Posteriormente los suelos fueron analizados física y químicamente y clasificados de acuerdo con la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo en su versión 2007. La relación entre el relieve y el suelo del perfil geomorfológico muestran para para el primer transecto, que ocupa dos sistemas geomorfológicos, en el sistema Fluvio-palustre, suelos hidromórficos, profundos con ligera alcalinidad y ricos en materiales orgánicos, los grupos de suelos son: Histosol y Gleysol. Por otra parte en el sistema Carso-tectónico presenta suelos bien drenados a excepción de la terraza que se ubica en la transición al sistema Fluvio-palustre, los suelos localizados en las áreas más altas corresponde a los grupos: Leptosol y Luvisol y se relacionan directamente a su respectiva geoforma, es decir, el suelo Leptosol corresponde a suelos someros y pedregosos y se relaciona a cimas convexas onduladas, a diferencia, el Luvisol que refiere a suelos profundos se localizaron en las planicies interiores. Se destaca que en zonas con planicies el suelo es generalmente profundo como es el caso del sistema Fluvio-palustre donde se desarrollan suelos hidromórficos ricos en materiales orgánicos, se clasificaron en los Grupos Histosol y Gleysol. Contrariamente en zonas donde las geoformas son convexas el suelo es somero con poco desarrollo estructural y pertenecen

al grupo Leptosol. Con respecto al segunda catena se determinó que la relación geomorfología-suelo para el sistema Carso-tectónico, se subdivide en paisajes representativos: presentan planicies interiores bien drenadas, cimas convexas onduladas y lomeríos suaves, a diferencia de la planicie residual que no presenta cimas o en su caso son remanentes. La variabilidad de los suelos en planicies de baja altitud, como es el caso de la residual acumulativa, predominan suelos profundos como el Nitisol. En las planicies interlomas se localizaron suelos del grupo Luvisol; a diferencia de la planicie de los altos denudativos de > 200 msnm, donde se presentan suelos moderadamente profundos en este caso del grupo Phaeozems. Por otra parte, los suelos relacionados a las cimas convexas y lomeríos suaves pertenecen al grupo Leptosol. La forma de la superficie terrestre tiene efectos en la acumulación de humedad dentro del perfil del suelo. En geoformas convexas la infiltración es baja y el drenaje interno es alto lo que reduce la humedad dentro del perfil del suelo. En cambio, en geoformas planas la velocidad de infiltración y el drenaje interno dependen de la inclinación de la pendiente. La comprensión de las relaciones geomorfología-suelo en una determinada zona sirve de base para establecer los modelos de distribución de suelos, lo que facilitará los trabajos en cartografía de suelos y ordenación del territorio. Estas catenas servirán de base para definir cartográficamente la distribución de los suelos del estado de Campeche, lo cual formará parte de una propuesta de manejo sustentable de los suelos para este estado de la República.

Agradecimientos: A la Secretaria de Desarrollo Rural del estado de Campeche por el financiamiento de este trabajo.

Palabras clave: Catenas; Base Referencial Mundial del Recurso Suelo; karts; suelos tropicales; transecto de suelos.

## RELACIÓN ENTRE EL COLOR DEL SUELO Y LA MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE ZONAS KÁRSTICAS

### [RELATIONSHIP BETWEEN THE COLOR OF THE SOIL AND THE ORGANIC MATTER IN SOILS OF KARSTIC ZONES]

Rafael García-Ruiz<sup>1</sup>, Rufo Sánchez<sup>2</sup>, Patricia Frago<sup>3</sup>, Alberto Pereira<sup>3</sup>, AvtoGoguichaichvili<sup>1</sup>, Francisco Bautista<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. <sup>2</sup>DACA, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. <sup>3</sup>Universidad de Quintana Roo. <sup>4</sup>Laboratorio Universitario de Geofísica Ambiental, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México

<sup>5</sup>Autor de correspondencia: leptosol@ciga.unam.mx

#### Resumen

El color del suelo es una propiedad que proporciona información sobre el tipo de drenaje, humedad, minerales (óxidos de hierro, carbonatos de calcio, sulfatos de calcio y otros), la materia orgánica y, en general, la calidad del suelo. El color negro del suelo está asociado con altos contenidos de materia orgánica (MOS), lo cual indica mayor calidad de suelo y mayor fijación de carbono. La función del suelo como reservorio de carbono es una de las funciones ambientales importantes ya que una forma de enfrentar el cambio climático, es aumentando los contenidos de carbono en el suelo. La medición del color del suelo con la tabla de colores Munsell dificulta la posibilidad de establecer o buscar relaciones matemáticas con los componentes del suelo. Sin embargo, en los últimos años, gracias a los sistemas establecidos por el sistema CIE, como lo son XYZ, RGB,  $L^*a^*b^*$ , Luv en conjunto con el desarrollado de los colorímetros, útiles para poder obtener el color de muestras sólidas. Los colorímetros permiten el poder obtener los parámetros del color en sus diversos sistemas, lo que hace posible establecer relaciones matemáticas entre los parámetros y/o índices de color y los contenidos de la MOS. El objetivo de este estudio es establecer una relación entre la MO y el índice de rojez (IR) y los parámetros de color. Se utilizaron 50 muestras de suelos de colores que van del gris pardusco al rosa de una zona kárstica de Quintana Roo. Las muestras se secaron a la sombra y se tamizaron con una malla de 2 mm. La materia orgánica se midió con el método tradicional por oxidación húmeda con dicromato de potasio. El análisis del color de las muestras de suelo se realizó con el colorímetro de reflectancia y transmisión Konica Minolta modelo CR-5. El sistema de color utilizado fue CIE- $L^*a^*b^*$  y CIE-XYZ, para obtener el IR y posteriormente poder separar los parámetros de color en grupos. El IR se obtiene mediante la ecuación  $IR = L(a^2 + b^2)^{0.5}10^{10}/bL^6$ . Este índice tiene una fuerte relación con MOS, la rojez del suelo y el contenido de la hematita. Para establecer esta relación es necesario realizar un ajuste del tipo exponencial con dos coeficientes para

mejorar el ajuste:  $MOS = a(RI)^b + c$ . Dentro del presente estudio se utiliza el parámetro de la rojez relativa, el cual es una taza entre la rojez y el amarillo,  $a_{rel} = a/b$ . Este índice cuenta con límites que establecen alto contenido con valores mayores a 0.45, moderado si  $0.25 < a_{rel} < 0.45$  y bajo cuando se obtienen valores menores a 0.25. La separación de las muestras por grupos de color, se llevó al cabo con los parámetros RGB y el análisis de cluster, ya que es un sistema que evita la colinealidad. Los grupos establecidos son sometidos a un análisis discriminante para validar cada uno de los grupos y reagrupar si es necesario. La correlación entre MOS vs IR fue de  $r^2 > 0.92$ , junto con  $RMSE \sim 0.46\%$ , y la ecuación resultante es  $MOS = 9.75RI^{0.101} - 10.5$ . El ajuste lineal ente los valores originales y los valores sintéticos es  $f(x) = 0.86x + 0.30$  con una correlación 0.85%. El análisis de  $a_{rel}$  indica un contenido moderado con un porcentaje de 72% del total distribuido en la zona media y profunda, así como el 28% con presencia baja en la zona más alta del muestreo. Los cinco grupos por color se analizaron por medio del análisis discriminante indicando que la selección de dichos grupos es adecuada con un porcentaje total del 98% de aceptación, divididos en grises oscuros, grisáceo marrón, gris, gris parduzco claro. El análisis de regresión lineal entre los índices del sistema CIE-L\*a\*b\* para cada grupo con respecto a la MO tiene correlaciones superiores al 0.85%, y un pequeño factor del error K. La principal conclusión de este trabajo revela que las ecuaciones obtenidas comprueban que el IR puede ser utilizado para estimar el contenido de MO, tanto utilizando el conjunto de muestras como los grupos de muestras más homogéneos.

Palabras clave: *índice de rojez, hematita, RGB, CIE.*