



Editorial

MANEJO Y CARACTERIZACIÓN DE LOS PAISAJES KÁRSTICOS DE MÉXICO: ESTUDIOS DESDE LA AMEK

MANAGEMENT AND CHARACTERIZATION OF THE MEXICAN KARST LANDSCAPES: STUDIES FROM THE AMEK

La Asociación Mexicana de Estudios sobre el Karst (AMEK) es una organización sin fines de lucro enfocada en las actividades relacionadas con el conocimiento e investigación sobre el karst en México, en los aspectos físico, químico, geográfico, biológico, edáfico, ecológico, ingeniería y de manejo del territorio kárstico y tiene por objeto realizar las siguientes actividades: a) La promoción de formas de manejo sustentable de los territorios kársticos; b) Identificar los problemas relacionados a los paisajes kársticos que afectan al ambiente, la población y sus actividades productivas, con el objeto de buscar soluciones y estrategias de prevención; c) Promover la cooperación científica entre las diversas instituciones de investigación superior, gobiernos estatales y locales, empresas y productores, en relación con el karst; y d) fomentar la divulgación científica sobre el karst, entre otros.

En la AMEK se abordan temas de ciencia básica y aplicada para proporcionar las bases para la solución de problemas diversos, para fortalecer el vínculo entre investigadores, instituciones gubernamentales, empresas y productores organizados o independientes.

La primera reunión de la AMEK se llevó a cabo en julio de 2007 con sede en la Universidad de Quintana Roo, a esta reunión le han seguido tres reuniones más. La segunda reunión se realizó en agosto de 2018 en la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. La tercera reunión se realizó en septiembre de 2019 en la Universidad de Quintana Roo – Campus Cozumel. En este evento se logró la publicación del primer libro de la asociación, titulado “Conocimientos y saberes sobre el karst de México” conformado por 12 capítulos relacionados a los trabajos que se presentaron en la reunión. La cuarta reunión se realizó de manera virtual en octubre de 2020 y de esta reunión se desprende la publicación de un segundo libro de la AMEK y nuestra primera compilación de artículos referentes al karst en una revista indizada.

Para la conformación de las contribuciones de este número se convocó a los participantes de la reunión para que enviaran un manuscrito completo para su revisión, seleccionándose 13 de ellos para continuar con el proceso de arbitraje. Se conformó un comité editorial y se invitó a colegas de reconocido prestigio para la realización del arbitraje por pares a doble ciego.

Entre los trabajos presentados en este número, destacan aquellos que estudian la calidad de cuerpos de agua y su influencia con las actividades antrópicas; también se presentan estudios relacionados con el karst en las zonas urbanas, aspectos de manejo y planificación, tanto, estudios edáficos y de procesos en ambientes de karst, así como estudios que destacan las tecnologías geoespaciales emergentes para la caracterización detallada de depresiones kársticas.

En el trabajo de Barrientos-Medina *et al.* (2021), “Calidad del agua en humedales urbanos de Isla mujeres, Quintana Roo” se realizó un estudio prospectivo de algunos parámetros fisicoquímicos en tres diferentes temporadas; se midieron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales disueltos (STD) y coliformes fecales; entre los principales resultados, los autores destacan que los valores de DQO de los humedales estudiados están en la categoría de “contaminadas” por lo que estos cuerpos de agua se considerarían de baja calidad y son resultados que deben tomarse en cuenta para futuros programas de rehabilitación.

En el artículo de Cupul *et al.* (2021), “Tendencias en la biogeoquímica del agua subterránea en la región agroindustrial del noreste de Yucatán”, se hizo una comparación de la calidad del agua de los pozos situados en ranchos ganaderos; entre sus principales resultados encontraron que los iones amonio, sulfatos, cloruros y calcio presentaron tendencias de aumento, mientras que los iones nitrato y fosfato mostraron una ligera disminución; de igual forma demostraron que el agrupamiento de pozos responde a factores como la intensidad de uso de agroquímicos, número de cabezas de ganado, régimen de riego y otros aspectos de manejo. Otros cambios en la calidad del agua es la tendencia a la sodificación y riesgo de alcalinización, por lo que concluyen en la necesidad de establecer un monitoreo continuo de las aguas a mediano y largo plazos.

En el artículo de Cervantes *et al.* (2021), “Calidad fisicoquímica y análisis de la cloración para aguas de abastecimiento en Espita, Yucatán”, los autores proponen las dosis de cloración en pozos de abastecimiento, con la certeza de que el cloro residual se encuentre dentro del intervalo de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994; indican que la

media de las dosis para la presencia de 0.10 y 0.25 mg/L de cloro libre son de 4.10 y 8.6 mg/L respectivamente; también resaltan la necesidad de instrumentar campañas de educación ambiental para concientizar a la población sobre el uso inadecuado de insumos agroquímicos, así como de las descargas de aguas residuales que comprometen la calidad de las aguas subterráneas y su tratamiento para el consumo.

El artículo presentado por Frausto-Martínez *et al.* (2021), “Karst en la ciudad: planificación del espacio urbanístico de la zona urbana de Cozumel, México” es de importancia para la planificación del crecimiento urbano en zonas kársticas. Los autores plantean como objetivo principal, desarrollar un modelo de reconocimiento de depresiones kársticas y su valoración en función del uso del suelo urbano con el fin de orientar las políticas de acción para el manejo del karst en la ciudad. A través del análisis de archivos de alta resolución generados con LiDAR, identificaron 1198 depresiones que fueron diferenciadas por su origen (naturales vs antrópicas), tipo (dolina, uvala, poljé), profundidad (de 0.25 a 4.25 m), uso de suelo y densidad de población a nivel de manzana. Además, plantean un análisis de las problemáticas-presión-estado y respuesta en torno a las depresiones, así como los entes regulatorios que deben estar involucradas en el manejo de las mismas.

En el estudio de Contraeras-Tax *et al.* (2021), “Calidad del agua subterránea en una zona kárstica de la Isla de Cozumel, Quintana Roo, México”, los autores buscan determinar, monitorear y cartografiar el comportamiento espacial y temporal de la calidad del agua considerando diversas variables tanto sociales como naturales. Entre sus principales hallazgos encontraron que las concentraciones de los parámetros medidos son heterogéneas a pesar de que las distancias entre los pozos estudiados son de metros; las principales variaciones se dieron según la ubicación del pozo y la temporada estacional; también observaron que de manera general la calidad química del agua de los pozos es aceptable, sin embargo, la calidad bacteriológica no lo es.

En temas de manejo agrícola, en el estudio de Lázaro *et al.* (2021), “Efecto de la quema agrícola en un Vertisol de Tabasco México: fósforo, pH y conductividad eléctrica” los autores estudiaron una parcela con cultivo de caña de azúcar en el cual colocaron piezas de cerámica marcadas con revestimientos termosensibles introducidas a diferentes profundidades desde la superficie hasta los 20 cm de suelo; así mismo midieron la temperatura que produce la quema con un termómetro de infrarrojo y también cuantificaron los cambios de las variables edáficas antes y después de la quema. Entre los principales resultados encontraron que la quema de la caña de azúcar es de intensidad moderada y el impacto que esta quema provoca es un ligero descenso del pH, aumento en la conductividad eléctrica y en el fósforo disponible.

En cuanto al manejo en zonas de karst, se presentó el artículo de Ponvert-Delisle *et al.* (2021) titulado “Land covers analyses during slash and burn agriculture by using multispectral imagery obtained with unattended aerial vehicles (UAVs)”. Este trabajo destaca por el uso de las tecnologías geoespaciales emergentes (sensores remotos montados en drones) para analizar el estado de las coberturas del suelo y su influencia en la intensidad de la quema agrícola en el agrosistema “milpa”. Los autores caracterizaron dos parcelas antes y después de la roza-tumba y quema; también utilizaron sensores infrarrojos con los cuales calcularon el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y evaluaron su comportamiento espectral asociándolos con las coberturas e intensidades de la quema mediante imágenes obtenidas con infrarrojo térmico. Este esquema de trabajo les permitió definir patrones y evaluar fácilmente la calidad del combustible y la intensidad de la quema.

En el ámbito de las tecnologías geoespaciales emergentes, como el uso de drones, para la caracterización del relieve, uno de los cuestionamientos es sobre la precisión de los productos fotogramétricos. En este sentido, en el trabajo de Gijón-Yescas *et al.* (2021), “Evaluación de productos fotogramétricos de una unidad kárstica obtenidos con un dron” los autores determinaron la raíz del error cuadrático medio y la precisión relativa de los ortomosaicos y modelos digitales de elevación a diferentes alturas generados con la técnica fotogramétrica automatizada “estructura del movimiento” (SfM, por sus siglas en inglés), tomando como caso de estudio una dolina. El principal resultado obtenido es que, con vuelos de 100 m de altura, se presentó el error más bajo y la precisión relativa más alta, que en términos prácticos tiene implicaciones importantes en cuestiones de tiempo y costos cuando se busca realizar numerosos sobrevuelos para la caracterización detallada de las depresiones kársticas.

La heterogeneidad de los ambientes kársticos es una constante, se presenta en los diferentes elementos del medio físico y los suelos no son la excepción, en el trabajo de Bautista (2021), “Geostatistical analysis of soil properties of the karstic sub-horizontal plain of the Yucatan Peninsula” se tuvo como objetivo la identificación de aquellas propiedades de los suelos que permiten una mejor zonificación mediante análisis geoestadísticos utilizando técnicas de interpolación de *kriging* paramétrico y probabilístico. Los autores encontraron que los mejores modelos fueron con las propiedades edáficas: carbono orgánico, densidad aparente, rocosidad, densidad real, pedregosidad, limo y arena. Los

mapas probabilísticos de profundidad del suelo permitieron identificar áreas con Leptosols nudilíticos, líticos y otros, de gran importancia en el contexto agrícola.

En relación al estudio de la biodiversidad en zonas kársticas, en el trabajo de Cámara-Romero *et al.* (2021), “Distribución potencial de *Cordia dodecandra* A.D.C. y su variación relacionada al cambio de uso del suelo en la Península de Yucatán, México” los autores utilizaron registros georreferenciados disponibles, así como datos recolectados en campo de la especie con los cuales mapearon la distribución conocida; adicionalmente usaron 15 variables ambientales para aplicar a un modelo de distribución de especies (MDE) que les permitió crear un modelo de distribución potencial e incluyendo el cambio de uso de suelo identificaron la distribución potencial corregida. Con este estudio identificaron la distribución potencial con mayor probabilidad de la presencia de la especie (Reserva de la Biosfera Calakmul, sur y centro de Yucatán y Felipe Carrillo Puerto en Q. Roo); encontraron también que variables ambientales -como el tipo de clima y la precipitación- son determinantes en la distribución de la especie y que el cambio de uso de la tierra afecta negativamente.

En el campo de los procesos biogeoquímicos en sistemas kársticos, en el trabajo de Rivera *et al.* (2021), “Secuestro inorgánico de carbono: la ruta oxalato-carbonato (ROC) en ambientes kársticos calcáreos” los autores exponen un análisis de la importancia de los ambientes kársticos como reservorios de carbono, así como el papel y posible relevancia de la ROC en estos ambientes; la ROC es un mecanismo a través del cual se transforma el CO₂ atmosférico en ácido oxálico (H₂C₂O₄) y posteriormente en oxalato de calcio (CaC₂O₄), para finalmente depositarse en el suelo en forma mineralizada de carbonato de calcio (CaCO₃); el tema es innovador ya que a nivel internacional los estudios de la ROC son recientes y comprender este proceso llevaría a determinar si la ROC promueve el secuestro de carbono inorgánico en zonas kársticas asociadas a roca caliza y si estos ambientes pueden considerarse como reservorios para la mitigación del calentamiento global.

Retomando el tema de las tecnologías geospaciales emergentes para la caracterización detallada de las depresiones, en el trabajo de Gijón-Yescas (2021), “Anatomía de un cenote con el uso de dron” los autores reportan un ejercicio pionero en el que comparan imágenes de dos plataformas diferentes (imágenes satelitales y las obtenidas con un dron), destacando la técnica *Structure from Motion* (SfM) y su utilidad para la generación de insumos de ultra-alta resolución. El caso de estudio fue un cuerpo de agua que en el contexto regional es conocido como “cenote abierto o aguada” y la relevancia de las imágenes de alta resolución es que con ellas logran identificarse cambios en las elevaciones en zonas con bajo contraste del relieve como son las planicies kársticas. Adicionalmente los autores estiman parámetros morfométricos e identifican nueve unidades del relieve en donde se revelan procesos limnológicos que generan un ambiente kárstico-lacustre.

Siguiendo con la misma línea del análisis detallado en zonas de bajo contraste de relieve, en el trabajo de Rodríguez *et al.* (2021), “Morfometría de depresiones kársticas a escala detallada: El Cedral, Cozumel – México” los autores generan un ortomosaico con 32 archivos LiDAR de la isla de Cozumel que tiene una altura máxima de 16.75 m. El ortomosaico y otros archivos asociados como curvas de nivel, nubes de puntos y modelos 3D sirvieron para reconocer 232 depresiones en su zona de estudio. Las depresiones identificadas tuvieron profundidades entre 1 m hasta 10.75 m, con morfometría variable destacando datos de longitud, profundidad y pendiente con los cuales se logran delinear perfiles con forma de “U”, “V” y “L” (caja u hoyo) demostrando un relieve heterogéneo. Este tipo de información es esencial para orientar la gestión de las depresiones con potencial turístico o arqueológico, así como también para la planificación urbana dentro del contexto de los geodesastres (inundaciones, colapsos, contaminación, etc.).

Finalmente, se presentan dos manuscritos invitados, los cuales son temas de actualidad y controversia en el estado de Yucatán. En el primero de Bautista y Aguilar (2021a), “Riesgo de inundación ante lluvias extremas en el karst de la ciudad de Mérida Yucatán, México”, los autores usaron como insumo principal un continuo de elevación digital clasificado en cuatro clases de elevaciones para generar un mapa de riesgo a inundaciones por ascenso del nivel freático. El modelo conceptual es que mientras más baja la elevación, la profundidad del nivel freático es menor, es decir, está más cerca de la superficie, por lo tanto, hay un mayor riesgo de inundación, y a la inversa, mientras más altas las elevaciones, la profundidad del nivel freático es mayor por lo tanto hay un menor riesgo. De este análisis resultó que la zona norte del municipio de Mérida, tiene los mayores riesgos a inundaciones, comparadas con la zona central y sur del municipio. El mapa que los autores presentan ha sido validado con las recientes inundaciones ocurridas después del paso de dos tormentas y dos huracanes en este año 2020 en la región. Pone sobre la mesa la necesidad de un análisis integral y una adecuada planificación urbana en ciudades costeras de ambientes kársticos.

El segundo manuscrito invitado presentado por Bautista y Aguilar (2021b), “Evaluación de la aptitud de tierras para el desarrollo de la porcicultura en Yucatán México” es un trabajo enfocado al manejo, dentro del contexto agropecuario, en los territorios kársticos. En este estudio los autores retoman bases de datos y mapas del medio físico

(relieve, depresiones kársticas, suelos y climas) para diseñar un modelo conceptual y cartográfico de la aptitud de tierras para el establecimiento de granjas porcícolas. Los principales resultados arrojaron que las zonas aptas y muy aptas se localizan al sur del estado, donde hay zonas con mayores elevaciones (por arriba de 40 msnm), suelos profundos y arcillosos, así como menor cantidad de depresiones kársticas. El crecimiento de la porcicultura podría ser en esos territorios previa consulta con las comunidades originarias y con el cumplimiento pleno de la normatividad ambiental. Sin embargo, por las particularidades del karst es necesario llevar el análisis a escalas mayores a 1:50000 para el desarrollo de proyectos porcícolas específicos, así como la incorporación de otros elementos al análisis de evaluación de tierras.

Todas estas contribuciones representan el esfuerzo de los autores por contribuir al entendimiento de los ambientes kársticos de México, aun cuando en este número solo se presenten resultados de investigaciones en la península de Yucatán, por lo que nos queda como tarea la incorporación de estudios en otras zonas kársticas del país.

En general, en este número se presentan temas relacionados problemáticas asociadas al karst, como la calidad del agua, el uso de la quema en la agricultura o la planificación urbana. Además de estudios ecológicos, edafológicos y metodológicos para entender mejor la distribución de especies, tales como el secuestro inorgánico de carbono, la heterogeneidad de los suelos o la descripción a detalle de formas kársticas. Esperamos que los artículos presentados aquí sean del interés de los lectores y al mismo tiempo despierten el interés de los estudiantes para acercarse al estudio del karst y de las autoridades de los tres niveles de gobierno a utilizar la información científica y técnica presentada en este volumen para la toma de decisiones.

Aprovechamos para agradecer el apoyo económico del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología a través de la convocatoria F0003-2020-02 (Apoyo para Congresos, Convenciones, Seminarios, Exposiciones, Talleres y demás eventos relacionados con el fortalecimiento del sector de Ciencia, Tecnología e Innovación), al Centro de Investigación Regional Sureste (CIRSE) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por la coordinación de esta IV Reunión Anual de la AMEK, así como a la Universidad Autónoma de Yucatán, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) por la organización del evento y finalmente, al editor en jefe de la revista *Tropical and Subtropical Agroecosystems* de la Universidad Autónoma de Yucatán.

Héctor Estrada-Medina¹, Yameli Aguilar-Duarte² and Francisco Bautista-Zúñiga³

¹ *Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Km 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil, Yucatán, México. Email: hectorestradamedina@gmail.com*

² *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias unidad Mérida. Av. Correa Rachó por calle 15, Col. Díaz Ordaz, Mérida, Yucatán, México. C.P. 97130. Email: yaguilarduarte@gmail.com*

³ *Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua carretera a Pátzcuaro No. 8701. Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta. C.P. 58190. Morelia, Michoacán, México. Email: leptosol@ciga.unam.mx*

REFERENCIAS

- Álvarez-Rivera, O.O., Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J.J. 2021. Secuestro inorgánico de carbono: la ruta oxalato-carbonato (ROC) en ambientes kársticos calcáreos. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #10.
- Barrientos-Medina, R.C., Cobos-Gasca, V.M., Ceballos-Povedano, R., Navarro-Alberto, J.A. 2021. Calidad del agua en humedales urbanos de Isla mujeres, Quintana Roo. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #32
- Bautista-Zúñiga, F. 2021. Geostatistical analysis of soil properties of the karstic sub-horizontal plain of the Yucatan Peninsula. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #09
- Bautista-Zúñiga, F., Aguilar Duarte, Y. 2021a. Evaluación de la aptitud de tierras para el desarrollo de la porcicultura en Yucatán México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #34

- Bautista-Zúñiga, F., Aguilar Duarte, Y., 2021b. Riesgo de inundación ante lluvias extremas en el karst de la ciudad de Mérida Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #35
- Cámara-Romero, J.L., Jiménez-Osornio, J.J., Estrada-Medina, H., Hernández García, F. 2021. Distribución potencial de *Cordia dodecandra* A.D.C. y su variación relacionada al cambio de uso del suelo en la Península de Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #14
- Cervantes Cocom, G.A., Chan, C.G., Morales Arjonilla, N.J., Cejudo, E. 2021. Calidad fisicoquímica y análisis de la cloración para aguas de abastecimiento en Espita, Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #13
- Contreras-Tax, A.F., Frausto-Martínez, O., Uhu-Yam, W.D. 2021. Calidad del agua subterránea en una zona kárstica de la Isla de Cozumel, Quintana Roo, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #27
- Cupul Caamal, F.A., Isaiah Smith, D.N., Ortega Camacho, D., Cervantes Cocom, G.A., Cejudo, E. 2021. Tendencias en la biogeoquímica del agua subterránea en la región agroindustrial del noreste de Yucatán. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #11
- Frausto-Martínez, O., Colín Olivares, O., Rodríguez Castillo, J.F. 2021. Karst en la ciudad: planificación del espacio urbanístico de la zona urbana de Cozumel, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #31
- Gijón-Yescas, N., Aguilar-Duarte, Y., Frausto-Martínez, O., Bautista-Zúñiga, F. 2021. Anatomía de un cenote con el uso de dron. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #30
- Gijón-Yescas, N., Estrada-Medina, H., Aguilar-Duarte, Y., Medina-Esquivel, R.A., Euán-Ávila, J.I. 2021. Evaluación de productos fotogramétricos de una unidad kárstica obtenidos con un dron. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #22
- Lázaro Sánchez, G.R., Bautista-Zúñiga, F., Goguitchaichvili, A., López-Noverola, U., Sánchez-Hernández, R. 2021. Efecto de la quema agrícola en un Vertisol de Tabasco México: fósforo, pH y conductividad eléctrica. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #26
- Ponvert-Delisles Batista, D.R., Estrada-Medina, H., Gijón-Yescas, G.N., Álvarez-Rivera, O.O. 2021. Land covers analyses during slash and burn agriculture by using multispectral imagery obtained with unattended aerial vehicles (UAVs). *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #21
- Rodríguez Castillo, J.F., Frausto-Martínez, O., Colín Olivares, O. 2021. Morfometría de depresiones kársticas a escala detallada: El Cedral, Cozumel – México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24 (1), #33