GAYANA Gayana (2026) vol. 90, No. 1, 84-96

https://doi.org/10.4067/s0717-6538202600010084

Research Article

Diversidad, ecología del paisaje y hábitat de especies del género *Procambarus* (Crustacea: Cambaridae) usando sistemas de información geográfica

Diversity, landscape ecology and habitat of species of the genus *Procambarus* (Crustaceae: Cambaridae) using geographic information systems

Ricardo Serna-Lagunes[1,*], Erick Joaquín Corro Méndez[1] & José Domingo Cruz-Labana[2]

[1]Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias región Orizaba-Córdoba, Universidad Veracruzana, Calle Josefa Ortiz de Domínguez s/N, Col. Centro, Peñuela, Amatlán de Los Reyes, Veracruz, México.
[2]Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Av. Sierra Leona No. 550, Lomas 2da Sección, San Luis Potosí, México.
*Corresponding author: rserna@uv.mx

RESUMEN

Los crustáceos decápodos de la familia Cambaridae son los más diversos del continente americano; en México, se reporta una diversidad de 56 especies del género *Procambarus*, sin embargo, no se ha actualizado la diversidad y el estado del hábitat donde estas especies se distribuyen geográficamente en el estado de Veracruz, México, información imprescindible para el manejo sustentable de sus poblaciones y el hábitat. El objetivo del estudio fue describir la diversidad, los municipios con presencia y el estado del hábitat de especies del género *Procambarus* para el estado de Veracruz, México. Las coordenadas geográficas se clasificaron según la especie reportada, la cantidad de registros por especie por municipio y se desarrollaron mapas de ubicación de poblaciones mediante Sistemas de Información Geográfica; la presencia y las características del hábitat se verificaron mediante monitoreos de campo. Los parámetros de paisaje (configuración y composición) se describieron a partir de 10 usos de suelo mediante buffers de 1 km de radio; con un ANOVA y prueba de *Tukey* se compararon los parámetros del paisaje entre especie. Este estudio reporta 20 especies y 2 subespecies; 4 especies y 2 subespecies más del género *Procambarus*, que no habían sido reportadas con anterioridad. El 22% de municipios de Veracruz cuentan con presencia de especies de *Procambarus*. El estado actual del hábitat de las especies de *Procambarus* está representado por un agroecosistema, con un bajo porcentaje de bosque, un alto porcentaje de área cultivada y una alta diversidad de paisajes, que generan amenazas sobre las poblaciones y el hábitat de las especies.

Palabras clave: agroecosistema, diversidad de paisajes, GBIF, porcentaje de bosque primario, porcentaje del área cultivada.

ABSTRACT

The decapod crustaceans of the Cambaridae family are the most diverse on the American continent; In Mexico, a diversity of 56 species of the genus *Procambarus* is reported, however, the diversity and status of the habitat where these species are geographically distributed in the state of Veracruz, Mexico has not been updated, essential information for the sustainable management of their populations and habitat. The objective of the study was to describe the diversity, the municipalities with presence and the habitat status of species of the

Received: 20.12.2025; Accepted: 09.04.2026
Editor: Alfredo Saldaña

Open Access

©2026 The Author(s). This open access article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0), which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction, as long as appropriate credit is given to the original author(s) and the source.

genus *Procambarus* for the state of Veracruz, Mexico. The geographical coordinates were classified based on the species reported, the number of records per species per municipality and population location maps were developed through Geographic Information Systems; the presence and characteristics of the habitat were verified through field monitoring. The landscape parameters (configuration and composition) were described from 10 land uses using buffers of 1 km radius; with an ANOVA and a Tukey test, landscape parameters were compared between species. This study reports 20 species and 2 subspecies, 4 species and 2 more subspecies of the genus *Procambarus*, which had not been reported previously. 22% of Veracruz municipalities have the presence of *Procambarus* species. The current state of the habitat of the *Procambarus* species is represented by an agroecosystem, with a low percentage of forest, a high percentage of cultivated area and a high diversity of landscapes, which generate threats to the populations and habitat of the species.

Keywords: agroecosystem, GBIF, landscape diversity, percentage of cultivated area, percentage of primary forest.

INTRODUCCIÓN

En el continente americano, particularmente en América del Norte (Estados Unidos y México), el grupo Crustacea y la familia Cambaridae es la más diversa (Alvarez & Villalobos 2016a), con más de 420 especies de 12 géneros (Crandall & Buhay 2008); en México, se reporta una diversidad de 56 especies de la familia Cambaridae agrupados en tres géneros (*Cambarellus*, *Orconectes* y *Procambarus*), incluidas especies endémicas que representan roles ecológicos en los ecosistemas acuáticos, pero en la actualidad, existen amenazas a sus poblaciones y hábitats (Armendáriz *et al.* 2017). Estas especies se conocen comúnmente como acociles, cangrejos de río o camarón burrito, y habitan ecosistemas de agua dulce, lénticos y lóticos, incluyendo arroyos, ríos, embalses, estanques, canales, manantiales, lagos, lagunas y pantanos; estos hábitats se encuentran amenazados por actividades antrópicas que afectan su estructura y dinámica poblacional, la supervivencia de los organismos y causan la disminución y pérdida local de poblaciones (Viccon-Pale *et al.* 2016).

Los estudios sobre la distribución geográfica e identificación de las condiciones del hábitat de las especies de crustáceos dulceacuícolas mexicanos son escasos y aún incipientes, pero son importantes para determinar las acciones de manejo sustentable de sus poblaciones y de su hábitat (Mejía-Ortiz *et al.* 2003; Álvarez & Villalobos 2016b). El estado de Veracruz, México, se divide en 212 municipios, pero su topografía cuenta con una intrincada variación altitudinal con accidentada orografía compuesta por montañas, valles, cuencas, laderas, planicies, cañadas y cañones, con diferente heterogeneidad ambiental, que son importantes en el aislamiento geográfico de las poblaciones de especies del género *Procambarus* (Miranda-Vidal *et al.* 2016), pero aún no se han realizado estudios que actualicen el conocimiento sobre la diversidad y distribución de las especies, aunado a que son escasos los estudios que caractericen el estado del hábitat y la presencia de las especies a nivel estatal (López-Mejía *et al.* 2004; Pedraza-Lara *et al.* 2023).

La evaluación de la diversidad de las especies de *Procambarus* en estos ambientes permite actualizar y aumentar el conocimiento en el número y las características del hábitat de las especies, esto mediante el uso de bases de datos biológicas como es Global Biodiversity Information Facility (GBIF), combinando datos de monitoreo de sus poblaciones en diferentes hábitats, sumado al registro de publicaciones científicas (Maturana *et al.* 2019). Las bases de datos biológicas recientemente han fungido como una herramienta sobresaliente entre las tecnologías de la información, para evaluar la diversidad, distribución y presencia de especies a nivel regional, estatal y nacional, continental e internacional (Bourlat *et al.* 2023). Estos estudios usando registros históricos y actuales de especies de crustáceos, que se encuentran depositados en sistemas o plataformas con bases de datos de acceso abierto, tiene implicaciones en actualización la diversidad taxonómica,

la identificación de áreas específicas con altos niveles de riqueza de especies (*hotspot* de biodiversidad), el reconocimiento de patrones altitudinales-ambientales, el diagnóstico de la ampliación o reducción del hábitat y de la distribución geográfica de las especies, dicha información es indispensable para realizar acciones de conservación biológica y el planteamiento de sistemas de aprovechamiento sustentable de esta biodiversidad (Mestre *et al.* 2014).

Para el estado de Veracruz, México, se han reportado 15 especies de *Procambarus* y para la región centro del mismo estado se reportan hasta 10 especies; sin embargo, hasta la fecha, no se cuenta con información que recabe y analice los municipios que cuentan con presencia de especies de *Procambarus*, así como la evaluación del estado actual del paisaje ecológico donde habitan sus poblaciones, esto como una medida inicial para evaluar las condiciones ambientales donde prosperan estas especies (Armendáriz *et al.* 2017) y como una bioprospección hacia su manejo y conservación mediante un uso sustentable de sus poblaciones (De la Luz-Morales *et al.* 2025). El hábitat de estas especies es alarmante, ya que se encuentra amenazado por actividades agropecuarias, para establecer industrias acuícolas, de servicios básicos para el uso de agua por humanos, presenta un cambio de uso de suelo para otros fines como el turístico y el desarrollo de cultivos que usan agroquímicos en su producción, lo que contamina, altera y perturba los microhábitats de estas y otras especies (Serna-Lagunes *et al.* 2022). Por lo anterior, el objetivo del estudio fue describir la diversidad, los municipios con presencia y el estado del hábitat de especies del género *Procambarus* para el estado de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

La descripción de las localidades de presencia de las especies del género *Procambarus* para el estado de Veracruz, se realizó mediante la búsqueda de coordenadas geográficas reportadas en la base de datos de Global Biodiversity Information Facility (GBIF 2022). Como resultado de la búsqueda, se obtuvieron 3.559 registros de 30 publicaciones científicas donde se reportó la presencia de las especies de *Procambarus*. Posteriormente, estos datos pasaron por un proceso de calidad, clasificación y filtrado, con los que se obtuvieron 206 registros de ocurrencia (coordenadas geográficas en formato: grados, minutos y segundos) de las especies del género *Procambarus* para Veracruz, México.

El proceso de calidad de datos consistió en remover los registros de ocurrencia que no presentaban coordenadas, los que se encontraban con registros atípicos de latitud y longitud y los que se encontraban cercanos al o en el Océano. Los datos de presencia fueron clasificados y contabilizados por especie, y se obtuvo el número de registros por municipio y por especie. Las coordenadas geográficas por especie se graficaron en mapas de división municipal (INEGI 2010) con la finalidad de representar la distribución geográfica de las especies, para ello, la ubicación de la presencia de la especie se traslapó con las capas de los municipios con las herramientas del sistema de información geográfica del software Quantum GIS (QGIS®).

Para verificar la presencia de *Procambarus* en su hábitat, se desarrollaron recorridos de campo por las diferentes localidades del centro de Veracruz, con el objetivo de realizar muestreos para determinar la presencia de las especies en ecosistemas acuáticos del municipio de Chocamán en el Área de Protección de Recursos Naturales Tlachinoltepelt; en la Sierra del Gallego en los municipios de Córdoba y Atoyac; en los nacimientos de Los Sifones y río Las Sirenas del municipio de Ixtaczoquitlán y en el Bosque de Ahuehuetes del municipio de Cd. Mendoza ambas del Parque Nacional Cañón del Río Blanco, y en Coscomatepec y Calcahualco, pertenecientes al Parque Nacional Pico de Orizaba, para valorar las características del hábitat, mismas que fueron usadas para validar la evaluación de los parámetros del paisaje del hábitat y para recabar evidencia fotográfica de la presencia de las especies. Es importante mencionar que las categorías taxonómicas fueron verificadas usando World Register of Marine Species (WoRMS, https://www.marinespecies.org) (WoRMS Editorial Board 2026).

Para la descripción de las características del hábitat mediante la evaluación de los parámetros del paisaje, se desarrollaron buffers de 1 km de radio que se definieron como unidades de paisaje, estos buffers se establecieron alrededor de cada punto de ocurrencia registrado para las especies de *Procambarus*. Para describir la configuración y la composición de cada unidad de paisaje de las especies de *Procambarus*, se utilizó el mapa de clasificación de usos de suelo de ESA Worldcover, el cual contiene 10 usos de suelo diferentes para la región considerada: 1) Bosque, 2) Arbustos, 3) Pastizales, 4) Cultivos, 5) Ciudad, 6) Suelo desnudo, 7) Nieve, 8) Agua, 9)

Humedal, 10) Manglar. Este mapa consiste en rásters que se derivan de herramientas de clasificación de usos de suelo no supervisada a partir de imágenes satelitales de alta resolución (Sentinel-2), a una resolución de 10 m por pixel del año 2021 (Zanaga *et al.* 2022). La configuración (conectividad estructural) y composición (cobertura de bosque, cultivo y heterogeneidad) del paisaje de cada especie de *Procambarus* fueron calculados para cada unidad de paisaje. Es importante mencionar que la clasificación de uso de suelo fue supervisada *in situ* a la par de los recorridos de muestreo en su hábitat (Vega-Vela *et al.* 2018).

Estos valores fueron seleccionados debido a su utilidad como descriptores de paisaje, sobre todo para paisajes con influencia humana como los que dominan en la región de estudio. El porcentaje de bosque se calculó de 0 a 100% con mapas binarios de cobertura de uso de bosque. El porcentaje de cultivo se calculó de 0 a 100% con mapas binarios de la cobertura de uso de cultivos. La conectividad estructural se calculó utilizando el índice "*effective mesh size*" que toma valores positivos y refleja que tan conectados se encuentran los fragmentos de bosque. La heterogeneidad del paisaje se calculó con un índice exponencial de Shannon, considerando la cantidad y proporción de cada uso de suelo en cada unidad de paisaje. Para reducir la colinearidad de las variables de utilizó el factor de inflación de la varianza (VIF) para remover las variables que presentaran valores superiores a 2. Todos los parámetros de paisaje fueron calculados con el paquete de la librería titulada "Landscape Metrics for Categorical Map Patterns" o "*landscapemetrics*" versión 2.2.1 (https://r-spatialecology.github.io/landscapemetrics/ Hesselbarth *et al.* 2019); para minimizar el efecto de la auto-correlación espacial, se eliminaron los registros que se encontraban cercanos a menos de 5 km de radio; el análisis fue implementado en el software R (R Core Team 2021).

Las especies de *Procambarus* que presentaron más de 10 registros se usaron como modelo para determinar si existen diferencias entre los parámetros de los paisajes donde se encuentra cada especie. Para ello, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, donde las especies de *Procambarus* fueron las variables independientes y cada uno de los parámetros del paisaje, fueron las variables dependientes. En cada modelo se evaluó la normalidad y homocedasticidad de los residuales para determinar la distribución del error de los datos. Para los modelos de ANOVA con valores de probabilidad menores a 0,05 se realizó una prueba de *post-hoc* de *Tukey* para determinar las diferencias entre los parámetros de los paisajes donde se encuentra cada especie (Zar 2010; Sokal & Rholf 2012).

RESULTADOS

De los 206 registros de presencia, se identificó una diversidad de 20 especies y dos subespecies del género *Procambarus*; estos registros de distribución geográfica coincidieron en diferentes localidades pertenecientes a 46 municipios del estado de Veracruz, México (Tabla 1). De estas, solo cuatro especies (18%) presentaron más de 10 registros: *P. acanthophorus* (n= 10), *P. hoffmanni* (n= 11), *P. mexicanus* (n= 21), *P. ruthvenic* (n= 10), las restantes especies presentaron registros de presencia en al menos dos localidades por municipio; con esta información se amplía la diversidad de especies reportadas para el estado de Veracruz, México.

Los 46 municipios con presencia de especies de *Procambarus* equivalen el 22% de distribución geográfica del total de municipios de Veracruz (Figs. 1 y 2). Los principales municipios con presencia de especies pertenecen a la Cuenca del Río Jamapa y Cuenca del Río Blanco, dos importantes Cuencas del estado de Veracruz, y forman parte del Parque Nacional Pico de Orizaba, Parque Nacional Cañón del Río Blanco y Área Natural Protegida Tlachinoltepec, fungiendo como regiones biogeográficas importantes para la conservación de estas especies de crustáceos.

TABLA 1. Especies de *Procambarus* de la familia Cambaridae y registros de presencia en municipios del estado de Veracruz, México. / Species of the genus *Procambarus* (family Cambaridae) and presence records in municipalities of Veracruz State, Mexico.

Nº	Especie	Municipios	Localidades de presencia
1	*Procambarus zapoapensis* (F. Villalobos, 1954)	Catemaco	8
		San Andrés Tuxtla	2
2	*Procambarus villalobosi* (Hobbs, 1969)	Nautla	2
3	*Procambarus veracruzanus* (F. Villalobos, 1954)	Amatlán de Los Reyes	4
		Córdoba	1
		Xalapa	1
4	*Procambarus vazquezae* (F. Villalobos, 1954)	Catemaco	17
5	*Procambarus tlapacoyanensis* (Villalobos, 1947)	Santiago Tuxtla	4
		Tlapacoyan	1
6	*Procambarus ruthveni zapoapensis* (F. Villalobos, 1954)	Catemaco	7
		San Andrés Tuxtla	1
7	*Procambarus ruthveni* (Pearse, 1911)	Acayucan	1
		Catemaco	1
		Hueyapan de Ocampo	7
		Ignacio de la Llave	1
		Jesús Carranza	1
		Minatitlán	3
		San Andrés Tuxtla	1
8	*Procambarus rodriguezi* (Hobbs, 1943)	Amatlán de Los Reyes	5
		Córdoba	2
		Zongolica	2
9	*Procambarus riojae* (Villalobos, 1944)	Tuxpan	3
10	*Procambarus pilosimanus* (Ortmann, 1906)	Medellín de Bravo	1
11	*Procambarus olmecorum* (Hobbs, 1987)	Amatlán de Los Reyes	1
		Fortín	4
		Huatusco	1
12	*Procambarus oaxacae reddelli* (Hobbs, 1973)	Atoyac	2
13	*Procambarus mexicanus* (Erichson, 1846)	Acultzingo	1
		Camerino Z Mendoza	4
		Coatepec	8
		Córdoba	1
		Coscomatepec	3
		Emiliano Zapata	1

Continuación TABLA 1.

Nº	Especie	Municipios	Localidades de presencia
14	*Procambarus mexicanus* (Erichson, 1846)	Fortín	4
		Huatusco	10
		Ixhuatlán	4
		Orizaba	2
		Teocelo	2
		Tlilapan	3
		Úrsulo Galván	2
		Xalapa	9
15	*Procambarus llamasi* (F. Villalobos, 1954)	Minatitlán	4
16	*Procambarus acanthophorus* (F. Villalobos, 1948)	Alvarado	1
		Catemaco	8
		Coatzacoalcos	3
		Hueyapan de Ocampo	3
		Lerdo de Tejeda	2
		Minatitlán	1
		Tepetzintla	1
		Tres Valles	2
17	*Procambarus acutus cuevachicae* (Hobbs, 1941)	Ozuluama	3
		Platón Sánchez	1
		Tantoyuca	1
		Tempoal	1
18	*Procambarus bouvieri* (Ortmann, 1909)	Coyutla	1
		Xalapa	1
19	*Procambarus chacalli* (López-Mejía, Álvarez & Mejía-Ortíz, 2004)	Huayacocotla	4
20	*Procambarus contrerasi* (Creaser, 1931)	San Andrés Tuxtla	1
21	*Procambarus gonopodocristatus* (Villalobos, 1958)	Martínez de la Torre	4
		Nautla	10
22	*Procambarus hoffmanni* (Villalobos, 1944)	Álamo Temapache	1
		Coyutla	4
		Martínez de la Torre	2
		Misantla	3
		Papantla	1
		Paso de Ovejas	1
		Poza Rica	2
		Tlapacoyan	2

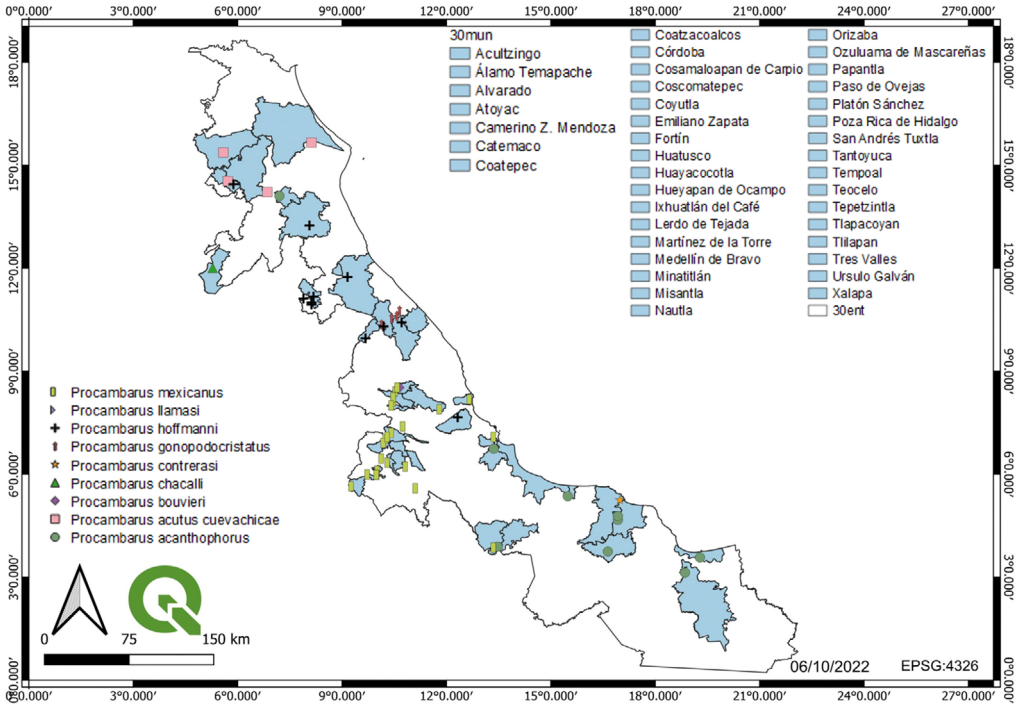

FIGURA 1. Registros de presencia de nueve especies de *Procambarus* en 46 municipios del estado de Veracruz, México. / Occurrence records of nine species of *Procambarus* in 46 municipalities of the state of Veracruz, Mexico.

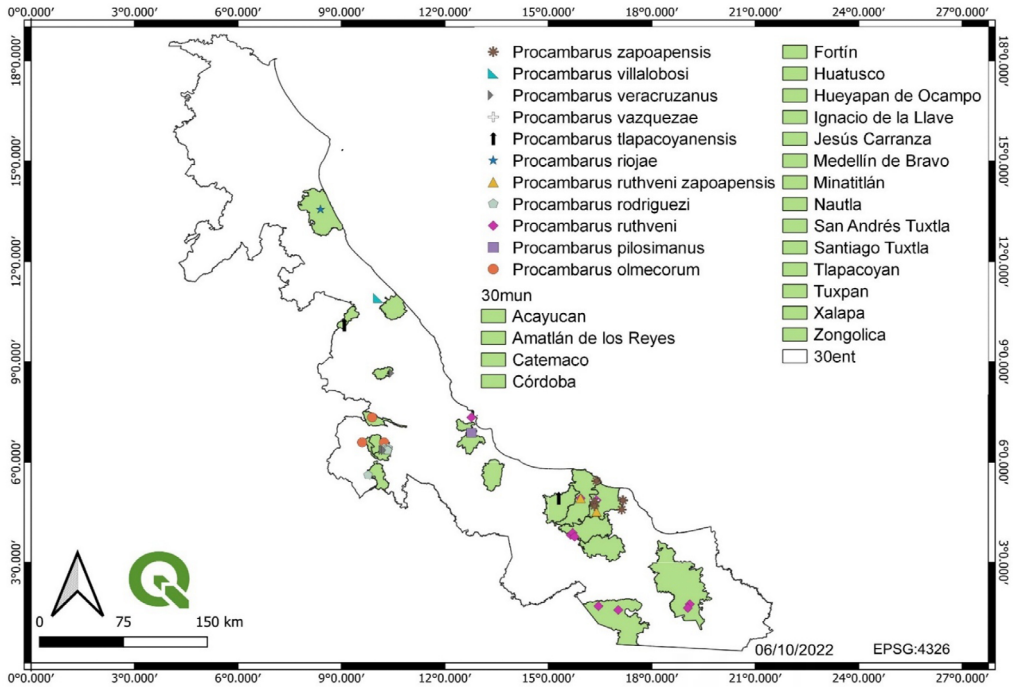

FIGURA 2. Registros de presencia de 11 especies de *Procambarus* en 18 municipios del estado de Veracruz, México. / Occurrence records of 11 species of *Procambarus* in 18 municipalities of the state of Veracruz, Mexico.

En las salidas de campo realizadas para verificar la presencia de las especies de *Procambarus* en los municipios de Córdoba e Ixtaczoquitlán, Veracruz, se capturaron y liberaron 24 ejemplares en un hábitat acuático impactado por el cultivo de plátano (*Mussa* spp.) y en un hábitat de bosque tropical con presencia de actividades antrópicas (Fig. 3).

FIGURA 3. Evidencia fotográfica de la presencia de acociles y características de su hábitat en áreas naturales protegidas de Veracruz, México. / Photographic evidence of the presence of crayfish and the characteristics of their habitats in protected natural areas of Veracruz, Mexico.

El porcentaje de bosque primario donde se distribuyen las especies de *Procambarus* presentaron valores entre 1% y 100% con un promedio de 44,32 ± 29,42 %. El porcentaje del área cultivada donde se distribuyen las especies de *Procambarus* presentó un rango entre 1% y 82% con un promedio de 19,37 ± 23,35 %. La diversidad de paisajes presentó un rango de 1 a 4,45 con un promedio de 2,4 ± 0,71 (Fig. 4). La conectividad no fue evaluada en los análisis por presentar alta colinearidad con el resto de los parámetros del paisaje (VIF=8).

El porcentaje de bosque donde habitan las especies de *Procambarus* en el estado de Veracruz fueron significativamente diferentes para al menos una especie (F= 4,31; g.l.= 3; p= 0,009): siendo el porcentaje de bosque donde habita *P. mexicanus* mayor al porcentaje donde se encuentran *P. acanthophorus* y *P. ruthvenic* pero similar a *P. hoffmanni*. Por otra parte, el porcentaje de bosque donde se encuentra *P. acanthophorus*, *P. ruthvenic* y *P. hoffmanni* son significativamente similares. Con relación al porcentaje del área cultivada (F= 0,28; g.l.= 3; p= 0,83) y diversidad de paisajes (F= 2,7; g.l.= 3; p= 0,056), los valores donde habitan las cuatro especies de *Procambarus* estudiadas son significativamente iguales (Fig. 5).

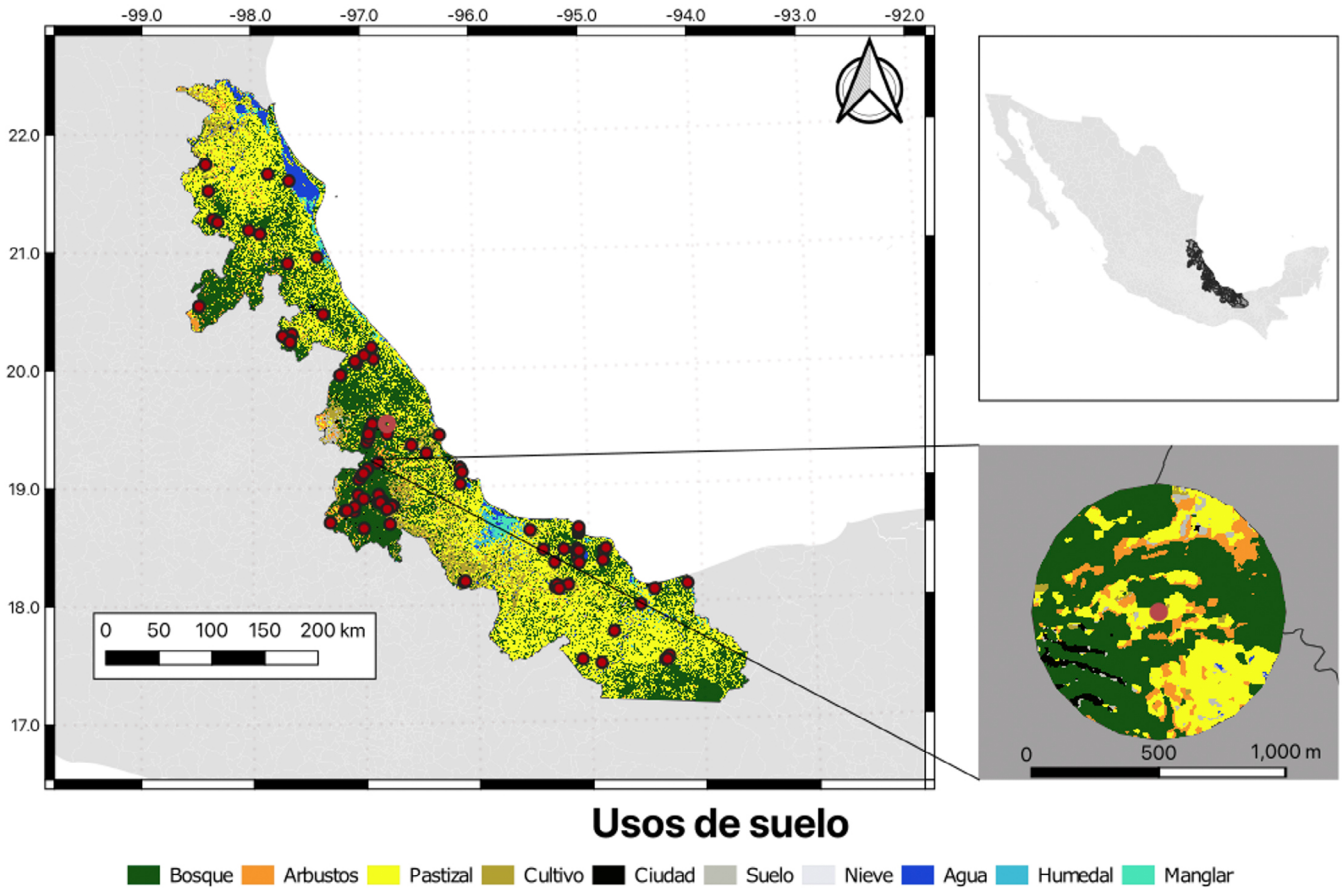

FIGURA 4. Características de los usos de suelo para la ubicación de los registros de camarón burrito en el estado (puntos rojos). Los colores representan los usos de suelo a los cuales en cada punto se delimitó un buffer de 1km de diámetro, representado en la imagen inferior derecha. / Land-use characteristics associated with the locations of burrowing crayfish records in the state (red points). Colors represent the different land-use categories. A buffer with a diameter of 1 km was delineated around each record, as illustrated in the lower-right panel.

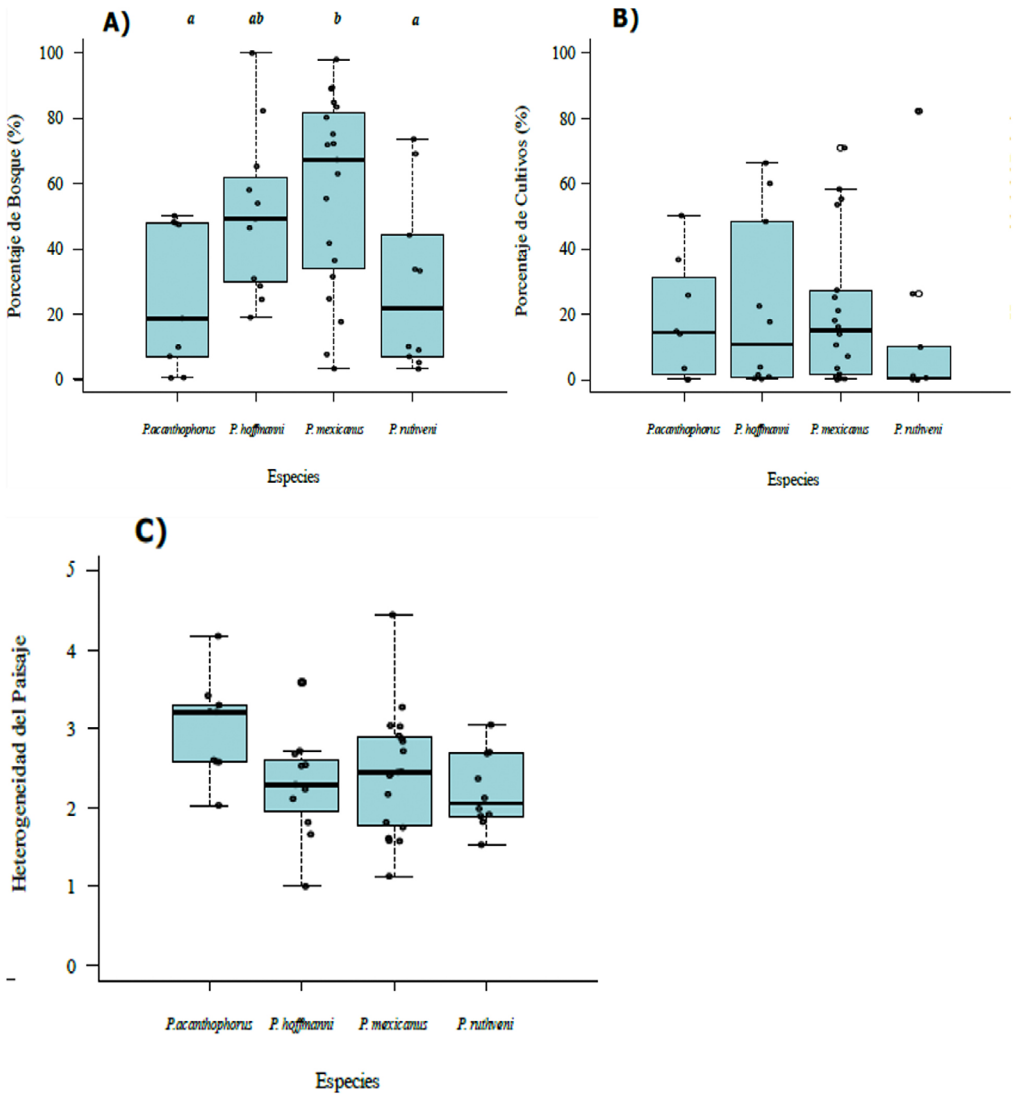

FIGURA 5. Relación de la cobertura del hábitat: a) Porcentaje del bosque, b) Porcentaje de cultivo y c) heterogeneidad del paisaje para los sitios de presencia de cuatro especies del género *Procambarus*. / Relationship between habitat cover and the occurrence sites of four species of the genus Procambarus: (a) percentage of forest cover, (b) percentage of cropland, and (c) landscape heterogeneity.

DISCUSIÓN

En Veracruz, México, se había reportado la presencia histórica de 15 especies del género *Procambarus* (Armendáriz *et al.* 2017). Con la información obtenida a partir de la plataforma GBIF, con el presente estudio se incrementa el número de registros de especies, sumando cuatro especies y dos subespecies que previamente no habían sido reportadas para el estado, alcanzando un total de 20 especies y dos subespecies. Este resultado confirma que la región biogeográfica que abarca Veracruz constituye un área importancia ecológica destacada en términos de evolución y diversificación de las especies de *Procambarus*, lo que resalta la importancia de evaluar los patrones de distribución y los contextos ambientales en los que se desarrollan estas especies, desde ambientes con marcada intervención antropogénica hasta ecosistemas que conservan cierto grado de naturalidad (Alvarez *et al.* 2012).

Las cuatro especies de *Procambarus* registradas con el mayor número de localidades, *P. acanthophorus*, *P. hoffmanni*, *P. mexicanus* y *P. ruthveni*, representaron

aproximadamente el 18 % del total de especies detectadas. Este patrón coincide con la mayor cantidad de estudios, investigaciones y reportes disponibles para dichas especies (Moore *et al.* 2013), lo cual puede estar asociado tanto a su mayor abundancia relativa en campo como a una mayor detectabilidad y frecuencia de registro en bases de datos biológicas (Barba-Macías *et al.* 2015), así como puede indicar una mayor tolerancia a los cambios del hábitat. No obstante, este sesgo también pone de manifiesto la necesidad de incrementar el esfuerzo de muestreo dirigido a especies menos documentadas, que podrían presentar distribuciones más restringidas o requerimientos ecológicos más específicos.

La presencia de especies de *Procambarus* en 46 municipios, representa aproximadamente el 22 % del total de municipios del estado, y sugiere que una proporción considerable del territorio veracruzano permanece sin exploración sistemática para el estudio de estas especies. El 78 % restante de los municipios constituye una oportunidad relevante para el desarrollo de monitoreos de campo que permitan evaluar la presencia o ausencia de acociles, y en las áreas con presencia definida, realizar estudios poblacionales, caracterización del hábitat y análisis de su potencial aprovechamiento como recurso alimentario para consumo humano o animal, bajo esquemas de manejo y uso sustentable (Montemayor-Leal *et al.* 2010).

Las salidas de campo realizadas en los municipios de Córdoba e Ixtaczoquitlán permitieron corroborar que el bosque primario, particularmente el bosque tropical, se encuentra altamente fragmentado por una diversidad de monocultivos que difieren en extensión, estructura y manejo. Entre estos destacan los cultivos de la caña de azúcar, café, palma camedor, aguacate, limón persa, naranja, maíz, plátano y diversas plantas exóticas con fines ornamentales. Adicionalmente, las actividades antrópicas que generan mayor impacto sobre el hábitat de las especies de *Procambarus* incluyen la construcción de albercas, balnearios y centros de ecoturismo, la expansión de zonas urbanas y rurales, la apertura de caminos primarios y secundarios, la modificación de cauces de ríos, arroyos y canales con fines agrícolas o domésticos, así como el establecimiento de agroindustrias y los desechos asociados a estas actividades.

Las perturbaciones al hábitat de las especies de *Procambarus* influyen directamente en los parámetros del paisaje, tanto en su configuración como en su composición, ya que el uso actual del suelo modifica la estructura y la diversidad del paisaje. Desde una perspectiva ecológica, este proceso tiene implicaciones relevantes para organismos dulceacuícolas bentónicos como los acociles, debido a que la fragmentación del bosque y la transformación del entorno ribereño pueden alterar la conectividad hidrológica, la calidad del agua y la disponibilidad de refugios (Allan 2004; Dudgeon *et al.* 2006). En este contexto, la diferencia significativa observada en el porcentaje de cobertura forestal asociada a las distintas especies de *Procambarus* puede interpretarse como un reflejo de la heterogeneidad del paisaje y de la tolerancia diferencial de las especies al disturbio antropogénico, lo que impulsa la generación de modelos de idoneidad de hábitat para ubicar poblaciones en áreas conservadas (Bloomer & Taylor 2022).

Los resultados indican que las especies de *Procambarus* en Veracruz habitan predominantemente paisajes caracterizados por un bajo porcentaje de bosque, un alto porcentaje de área cultivada y una elevada diversidad de paisajes, lo que permite clasificarlos como agroecosistemas, es decir, ecosistemas transformados por el hombre para la producción agropecuaria, de servicios agroalimentarios y de turismo (Gómez *et al.* 2021). Si bien algunos acociles presentan una notable plasticidad ecológica que les permite persistir en ambientes transformados, diversos estudios han señalado que los cambáridos desempeñan un papel clave en los ecosistemas acuáticos y que su permanencia en hábitats perturbados puede estar condicionada a la disponibilidad de refugios, a la conectividad hidrológica y a la estabilidad de los sistemas acuáticos locales (Momot 1995). En este sentido, la existencia y conservación de corredores con vegetación riparia, cuerpos de agua permanentes y parches remanentes de vegetación natural podría amortiguar los efectos del disturbio y facilitar el mantenimiento de las poblaciones a escala local y regional, lo que permitiría la generación de Unidades para la Conservación, Manejo y Aprovechamiento Sustentable de la Vida Silvestre (UMA) con los dueños de los predios, para un uso sustentable de las poblaciones y su hábitat.

En conjunto, los hallazgos de este estudio subrayan la importancia de integrar enfoques de ecología del paisaje en la evaluación de la distribución y conservación de los acociles en Veracruz, México. La consideración del paisaje como una unidad funcional permitió identificar no solo áreas de presencia, sino también contextos de riesgo y oportunidades para la conservación, lo cual resulta

fundamental para el diseño de estrategias de manejo sustentable y para la protección de la biodiversidad dulceacuícola del estado. El presente estudio incrementa el conocimiento sobre la diversidad del género *Procambarus* en el estado de Veracruz, al documentar la presencia de 20 especies y dos subespecies, incluyendo cuatro especies y dos subespecies que no habían sido reportadas previamente, aumentando los indicadores de diversidad. Estos resultados confirman la relevancia biogeográfica de Veracruz para la diversidad de cambáridos y resalta la necesidad de continuar con evaluaciones regionales que permitan refinar los patrones de distribución de este grupo, ya que pueden generarse cambios evolutivos afectando el tamaño corporal (Graham y Richardson 2024).

La presencia de especies de *Procambarus* en el 22 % de los municipios del estado indica que una proporción considerable del territorio veracruzano permanece sin exploración sistemática. En este sentido, resulta prioritario desarrollar proyectos de monitoreo orientados a evaluar la presencia o ausencia de acociles en el 78 % restante del territorio, así como a generar información básica sobre su distribución, abundancia y estado poblacional.

Los resultados del análisis de ecología del paisaje muestran que el hábitat actual de las especies de *Procambarus* en Veracruz se caracteriza predominantemente por agroecosistemas, con un bajo porcentaje de cobertura forestal, un alto porcentaje de áreas cultivadas y una elevada diversidad de paisajes. Este contexto refleja un escenario de presión antropogénica que puede representar riesgos para la persistencia de las poblaciones, particularmente a través de la fragmentación del hábitat y la alteración de los sistemas acuáticos asociados, disminuyendo su capacidad de resiliencia (García *et al.* 2024).

En conjunto, los hallazgos de este estudio subrayan la importancia de integrar evaluaciones del paisaje, estudios poblacionales y caracterizaciones detalladas del hábitat para comprender mejor la ecología de los acociles en Veracruz. Asimismo, la generación de información científica sobre su potencial aprovechamiento como recurso alimentario, bajo esquemas de manejo sustentable, puede contribuir al diseño de estrategias que promuevan simultáneamente la conservación de las especies y el uso responsable de sus poblaciones y hábitats.

REFERENCIAS

Allan, J.D. 2004. Landscapes and riverscapes. The influence of land use on stream ecosystems. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 35: 257-284. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122

Alvarez, F., Villalobos, J.L. 2016a. The crayfish of middle America. In: Kawai, T., Fanlkes, Z., Scholtz, G. (Eds.) Freshwater crayfish. A global overview: 448-462. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA.

Alvarez, F., Villalobos, J.L. 2016b. Freshwater decapod diversity and conservation in Mexico. In: Kawai, T., Cumberlidge, N. (Eds.) A global overview of the conservation of freshwater decapod crustaceans. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42527-6_8

Alvarez, F., Villalobos, J.L., Armendáriz, G., Hernández, C. 2012. Relación biogeográfica entre cangrejos dulceacuícolas y acociles a lo largo de la zona mexicana de transición: revaluación de la hipótesis de Rodríguez (1986). Revista Mexicana de Biodiversidad 83(4): 1073-1083.

Armendáriz, G., Quiroz-Martínez, B., Álvarez, F. 2017. Risk assessment for the Mexican freshwater crayfish: the roles of diversity, endemism and conservation status. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 27(1): 78-89.

Barba-Macías, E., Carmona-Osalde, C., Quiñones-Rodríguez, L., Rodríguez-Serna, M. 2015. Registros nuevos de cambáridos (Crustacea: Cambaridae: *Procambarus*) en la cuenca del Grijalva-Usumacinta, Tabasco. Revista Mexicana de Biodiversidad 86(3): 620-628.

Bloomer, C.C., Taylor, C.A. 2022. Habitat suitability modelling of primary burrowing crayfishes, with a new state record for *Procambarus liberorum* Fitzpatrick, 1978 (Decapoda: Astacidea: Cambaridae). Journal of Crustacean Biology 42(1): ruac008.

Bourlat, S.J., Tschan, G.F., Martin, S., Iqram, M., Leidenberger, S. 2023. A red listing gap analysis of mollusks and crustaceans in Northern Europe: What has happened in the last 10 years? Biological Conservation 286: 110247. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110247

De La Luz-Morales, G., Serna-Lagunes, R., Cebada-Merino, M., García-Martínez, M.A., Bañuelos-Hernández, K.P., Llarena-Hernández, R.C., Andrés-Meza, P., Zetina-Córdoba, P., Morales-Palacios, I., *et al.* 2025. Comportamiento biológico de mojarra tilapia (*Oreochromis niloticus*) y camarón burrito (*Procambarus veracruzanus*) en acuaponía. Revista Bio Ciencias 13: e1838. https://doi.org/10.15741/revbio.13.e1838

Dudgeon, D., Arthington, A.H., Gessner, M.O., Zen-Ichiro, K. 2006. Freshwater biodiversity. Importance, threats, status and conservation challenges. Biological

Reviews 81: 163-182. https://doi.org/10.1017/S1464793105006950

García, G.Z., Honorato, L.A.V., Martínez, B.L.S. 2024. Asentamientos humanos y áreas naturales protegidas. Retos en el hábitat actual en concordancia con los ODS. Caso de estudio: región capital del estado de Veracruz. Hábitat y Sociedad (17): 287-318.

GBIF. 2022. GBIF Occurrence. Global Biodiversity Information Facility. https://doi.org/10.15468/dl.zzdgnp. Accessed: September 1, 2022.

Gómez, R.E.H., Valenzuela-Córdova, I., de la Cruz, M.P., Mendoza-Franco, E.F., Perera-García, M.A. 2021. First record of Epibiont *Sigara* sp. (Corixidae) in crayfish *Procambarus* (*Austrocambarus*) *llamasi* from southeastern Mexico. Tropical and Subtropical Agroecosystems 24(1): 1-7.

Graham, Z.A., Richardson, A.M. 2024. Habitat alters biogeographical and evolutionary patterns of body size in freshwater crayfishes. Biological Journal of the Linnean Society 143(3): blae096.

Hesselbarth, M.H.K., Sciaini, M., With, K.A., Wiegand, K., Nowosad, J. 2019. Landscape metrics: an open-source *R* tool to calculate landscape metrics. Ecography 42: 1648-1657.

López-Mejía, M., Álvarez, F., Mejía-Ortiz, L.M. 2004. A new species of *Procambarus* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae) from Veracruz, Mexico. Proceedings of the Biological Society of Washington 117(1): 92-98.

Maturana, C.S., Rosenfeld, S., Naretto, J., Convey, P., Poulin, E. 2019. Distribution of the genus *Boeckella* (Crustacea, Copepoda, Calanoida, Centropagidae) at high latitudes in South America and the main Antarctic biogeographic regions. ZooKeys 854: 1-15. https://doi.org/10.3897/zookeys.854.29614

Mejía-Ortíz, L.M., Hartnoll, R.G., Viccon-Pale, J.A. 2003. A new stygobitic crayfish from Mexico, *Procambarus cavernicola* (Decapoda: Cambaridae), with a review of cave-dwelling crayfishes in Mexico. Journal of Crustacean Biology 23(2): 391-401.

Mestre, A., Monros, J.S., Mesquita-Joanes, F. 2014. A review of the Entocytheridae (Ostracoda) of the world: updated bibliographic and species checklists and global georeferenced database, with insights into host specificity and latitudinal patterns of species richness. Crustaceana 87(8-9): 923-951.

Miranda-Vidal, J.F., Barba-Macías, E., Trinidad-Ocaña, C., Juárez-Flores, J. 2016. Diversidad de crustáceos en la cuenca baja del río Papaloapan, Veracruz, México. Hidrobiológica 26(3): 475-482.

Momot, W.T. 1995. Redefining the role of crayfish in aquatic ecosystems. Reviews in Fisheries Science 3: 33-63. https://doi.org/10.1080/10641269509388566

Montemayor-Leal, J., Mendoza Alfaro, R.E., Aguilera González, C.J., Rodríguez-Almaraz, G.A. 2010. Influencia de la alimentación sobre la reproducción y crecimiento del acocil regio (*Procambarus regiomontanus*), especie en peligro de extinción. Ciencia UANL 13(3): 276-286.

Moore, M.J., DiStefano, R.J., Larson, E.R. 2013. An assessment of life-history studies for USA and Canadian crayfishes: identifying biases and knowledge gaps to improve conservation and management. Freshwater Science 32(4): 1276-1287.

Pedraza-Lara, C., Villalobos, J.L., Álvarez, F. 2023. Threats and conservation status of freshwater crayfish (Decapoda: Cambaridae) in Mexico. In: Jones, R.W., Ornelas-García, C.P., Pineda-López, R., Álvarez, F. (Eds.) Mexican fauna in the anthropocene: 67-80. Springer International Publishing, Cham.

R Core Team. 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/

Serna-Lagunes, R., Rosas-Torres, F., Aguilar-Rivera, N., Torres-Cantú, G.B., Llarena-Hernández, R.C., Mora-Collado, N., Salazar-Ortiz, J. 2022. Impact of tourism activities on human health and the environment of a riparian ecosystem in México. In: Leal Filho, W. (Ed) Handbook of Human and Planetary Health. Climate Change Management. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09879-6_13

Sokal, R.R., Rohlf, F.J. 2012. Biometry. The principles and practices of statistics in biological research. 4ra Ed. W. H. Freeman and Company, New York, USA.

Vega-Vela, V., Muñoz-Robles, C.A., Rodríguez-Luna, E., López-Acosta, J.C., Serna-Lagunes, R. 2018. Análisis de la fragmentación del paisaje de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 5(14): 227-238. https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1442

Viccon-Pale, J.A., Ortega, P., Mendoza-Vargas, L., Castilla-Hernández, P., López-Cuevas, A., Meléndez-Herrada, A., Signoret-Poillon, M. 2016. Structure and population dynamics of the secondary burrower crayfish *Procambarus acanthophorus* from a tropical Mexican wetland. Canadian Journal of Zoology 94(7): 479-488.

Villalobos-Hiriart, J.L., Cantú, A., Díaz-Barriga, F., Lira-Fernández, E. 1993. Los crustáceos de agua dulce de México. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural 1993(XLIV): 267.

WoRMS Editorial Board. 2026. World Register of Marine Species. VLIZ. https://doi.org/10.14284/170. Accessed: March 11, 2026.

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., *et al.* 2022. ESA WorldCover 10 m 2021 v200. https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221

Zar, J.H. 2010. Biostatistical analysis. 3ra Ed. Prentice-Hall, New Jersey, USA.