

Caracterización ambiental del hábitat de acociles (*Procambarus* spp.) en el centro de Veracruz, México

Environmental characterization of crayfish (*Procambarus* spp.) habitats in central Veracruz, Mexico

Ernestina Hernández-Roldan¹ , Ricardo Serna-Lagunes¹ , Luis Antonio Tarango-Arámbula² 

¹Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, región Orizaba-Córdoba, Universidad Veracruzana. Calle Josefa Ortiz de Domínguez s/n, Colonia Centro Peñuela. CP. 94945. Amatlán de Los Reyes, Veracruz, México.

²Postgrado en Innovación en Manejo de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide No. 73, Colonia Centro, CP. 78620. Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí, México.

*Autor de correspondencia: rserna@uv.mx

Nota científica

Recibida: 14 de octubre 2025

Aceptada: 02 de julio 2026

RESUMEN. Los acociles (*Procambarus* spp.) son componentes importantes de los ecosistemas dulceacuícolas y pueden ser sensibles a cambios ambientales. El objetivo fue caracterizar ambientalmente los hábitats de poblaciones de *Procambarus* spp. en la región Las Montañas, Veracruz. Se evaluaron nueve hábitats mediante el índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR), 12 variables fisicoquímicas del cuerpo de agua y la abundancia poblacional durante otoño de 2023. Se registraron ocho poblaciones de *P. veracruzanus* (227 individuos) y una de *P. olmecorum* (42 individuos). El análisis exploratorio de las variables ambientales distinguió dos grupos de hábitats con diferencias en la calidad de la vegetación ribereña y del agua. La abundancia de *P. veracruzanus* se correlacionó con el grado de naturalidad del cuerpo de agua y materia orgánica (%) ($p < 0.05$). Los resultados aportan información sobre la relación entre las el hábitat y la abundancia de *P. veracruzanus*, útil para estudios futuros y su conservación.

Palabras clave: Bosque de ribera, calidad del agua, crustáceos dulceacuícolas, especies endémicas.

ABSTRACT. Crayfish (*Procambarus* spp.) are important components of freshwater ecosystems and may be sensitive to environmental changes. The objective of this study was to environmentally characterize the habitats of *Procambarus* spp., populations in the Las Montañas region of Veracruz. Nine habitats were evaluated using the Riparian Forest Quality index (QBR), 12 physicochemical variables of the water body, and population abundance during the autumn of 2023. Eight populations of *P. veracruzanus* (227 individuals) and one population of *P. olmecorum* (42 individuals) were recorded. Exploratory analyzes of the environmental variables distinguished two habitats groups that differed in riparian vegetation quality and water quality. The abundance of *P. veracruzanus* was positively correlated with the degree of naturalness of the water body and organic matter (%) ($p < 0.05$). The results provide information on the relationship between habitat and abundance of *P. veracruzanus*, which is useful for future studies and the conservation of this species.

Keywords: Riparian forest, environmental quality, freshwater crustaceans, endemic species.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de agua dulce albergan alrededor del 10% de las especies del planeta (Dudgeon *et al.* 2006). Entre la fauna dulceacuícola destacan los crustáceos decápodos del infraorden Astacidea, con más de 660 especies (Crandall y De-Grave 2017), lo cuales se caracterizan por su endemismo y su importancia en la regulación del flujo de energía de los ecosistemas de agua dulce (Kabalan *et al.* 2025). No obstante, sus poblaciones enfrentan serias amenazas, derivadas de la degradación de su hábitat, contaminación y cambios en el régimen hidrológico, factores que afectan su presencia, establecimiento y persistencia en vida silvestre (Anderson *et al.* 2021).

En México, la diversidad de astácidos nativos está representada por la familia Cambaridae, se han registrado 46 especies del género *Procambarus* (Ortmann 1905), de las cuales más del 90% son endémicas (Pedraza-Lara *et al.* 2023). Estos crustáceos son conocidos regionalmente como acociles, se distribuyen principalmente en la vertiente del Golfo de México en hábitats dulceacuícolas que incluyen sistemas lóticos, lénticos e hipogeos de bajo caudal, perennes e intermitentes (Barba-Macías 2015). Sus poblaciones se caracterizan por una movilidad limitada y ausencia de migraciones, lo que aumenta su susceptibilidad a las modificaciones ambientales (Álvarez *et al.* 2012, Armendáriz *et al.* 2017).

El estado de Veracruz concentra alrededor del 41% de las especies mexicanas de *Procambarus*, con zonas de alto endemismo y mayor amenaza para la conservación del hábitat en el centro y centro sur (Armendáriz *et al.* 2017). En la región de Las Montañas, se distribuyen especies como *P. mexicanus*, *P. olmecorum*, *P. rodriguezi*, *P. veracruzanus* y *P. citlaltepetl* (Villalobos-Figueroa 1983, Rojas *et al.* 1999). A pesar de la evidencia sobre la influencia de las condiciones del hábitat sobre los atributos biológicos y ecológicos en diferentes especies de astácidos (Anderson *et al.* 2021, Walker y Entrekin 2023, Peeters *et al.* 2024), la información ecológica sobre especies mexicanas de *Procambarus* aún es limitada (Pedraza-Lara *et al.* 2023).

Por ello, el objetivo de este estudio fue caracterizar ambientalmente los hábitats de acociles (*P. veracruzanus* y *P. olmecorum*) en los ecosistemas dulceacuícolas de la región de Las Montañas, Veracruz, para generar bases que contribuyan a su conocimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El presente estudio se desarrolló en nueve localidades de la región Las Montañas Veracruz, ubicadas entre la Sierra Madre del Sur, Eje Neovolcánico y Llanura Costera del Golfo Sur y la cuenca del Río Blanco; en esta región predomina el clima semicálido húmedo y cálido, con vegetación secundaria de selva mediana perennifolia y selva alta subperennifolia y una amplia diversidad de especies de flora y fauna (Pérez-Sato *et al.* 2018). Este estudio evaluó nueve ecosistemas de agua dulce conformados por cuerpos de agua de tipo perenne e intermitente, pertenecientes a localidades distribuidas en los municipios de Ixtaczoquitlán (S1, S2, S3), Naranja (S4, S5), Fortín (S6) y Amatlán de los Reyes (S7, S8, S9) en la región centro de Las Montañas Veracruz.

El gradiente altitudinal en el que se establecieron los sitios de muestreo varió entre 642 y 1 087 m de altitud, se caracterizaron las coberturas de las colindancias y la vegetación adyacente a los hábitats de muestreo, usos de suelo, la presencia de flora exótica y cultivos con fines productivos u ornamentales (Tabla 1).

Tabla 1. Hábitats estudiados que determinan las características del hábitat de dos especies de *Procambarus* spp. en ecosistemas de agua dulce de Veracruz, México.

Hábitat	Localidad	Municipio	Coordenadas	Altitud	Cuerpo de agua	Uso de suelo de la ribera
S1	Los Sifones	Ejido Los Sifones, Ixtaczoquitlán	18.842197°, -97.063482°	1039	Perenne	Agrícola (cultivo de plátano, café y caña), recreativo (turismo), fragmentos de vegetación nativa.
S2	Regalo de Juquita	Ejido Sumidero Buena Vista, Ixtaczoquitlán	18.906806°, -97.039306°	1087	Perenne	Agrícola (cultivo de plátano, café, caña), recreativo (turismo), fragmentos de vegetación nativa.
S3	Ecoparque La Cotorra	Zapoapan, Ixtaczoquitlán	18.906806°, -97.039306°	777	Perenne	Agrícola (cultivo de plátano, caña), recreativo (turístico), fragmentos de vegetación nativa.
S4	Nacimiento Tequecholapa	Tequecholpa, Naranjal	18.804611°, -96.952028°	645	Perenne	Agrícola (cultivo de plátano, café, naranja) recreativo (turismo).
S5	UMA Estación Ambiental	Naranjal, Naranjal	18.799806°, -96.951917°	676	Perenne	Unidad de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), Agrícola (cultivo de plátano, café, naranja), fragmentos de vegetación nativa.
S6	Predio particular	Fortín de Las Flores	18.912083°, -96.983361°	951	Perenne	Asentamientos humanos, fragmentos de vegetación nativa.
S7	Colegio de Postgraduados	Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes	18.858528°0, -96.859944°	642	Intermitente	Agrícola (cultivo de plátano, café, caña, pastizal, pimienta, canela, nuez, neen), pecuario (ovinos), fragmentos de vegetación nativa.
S8	Paraje nuevo	Paraje Nuevo, Amatlán de los Reyes	18.845957°, -96.920972°0	650	Intermitente	Agrícola (cultivo de plátano, caña, plantas ornamentales) y asentamientos humanos.
S9	Arroyo El chorrito	Amatlán de los Reyes	18.850936°, -96.921455°	860	intermitente	Agrícola (cultivo de plátano, café y caña), fragmentos de vegetación nativa, asentamientos humanos

Identificación de especies

Se recolectaron ejemplares adultos de acociles con técnicas de captura para macroinvertebrados (Samanez-Valder *et al.* 2014) y fueron clasificados como machos forma I y hembras adultas con una talla superior a 50 mm (Darrigan *et al.* 2007, Álvarez y Rangel 2007, Maroñas *et al.* 2010). Los organismos recolectados se preservaron en alcohol al 70% y se trasladaron al Laboratorio de Crustáceos de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) para su identificación a nivel taxonómico (Barba-Macías *et al.* 2015), de acuerdo con los criterios especializados en las claves diagnósticas para crustáceos (Villalobos-Figueroa 1983, Hobbs 1987, Hobbs 1989, Rojas *et al.* 1999). Los ejemplares se depositaron en la Colección Carcinológica de la Facultad de Ciencias Biológicas, UANL con el número de registro 8336, 8337, 8340, 8341.

Abundancia poblacional

Durante otoño 2023, se realizó un muestreo único por sitio, en un horario nocturno (22:00 a 24:00 h) para estimar la abundancia poblacional mediante la técnica de captura de individuos por unidad de esfuerzo de muestreo (CPUE), la cual consideró 2 h de muestreo como unidad estándar de esfuerzo de muestreo por sitio (Álvarez y Rangel 2007), garantizando la comparabilidad de la CPUE. La captura se realizó con un muestreo de puntapié (Samanez-Valder *et al.* 2014), que consiste en la búsqueda gradual de acociles aguas arriba, se cubrieron ambas orillas del canal, y se removió el sustrato para la captura con una red de estanque de 30 x 37 cm con malla de 10 mm (Smith *et al.* 1996; Samanez-Valder *et al.* 2014). Los individuos capturados fueron contados (Álvarez y Rangel 2007) y posteriormente se liberaron en el sitio de recolecta.

Caracterización ecológica del hábitat

En paralelo a la toma de datos de la abundancia poblacional, en cada sitio se establecieron estaciones de muestreo de 50 m de longitud con base en la metodología de Maroñas *et al.* (2010), donde se determinó el índice de Calidad del Bosque de Ribera (QBR) (Munné *et al.* 2003), que integra aspectos biológicos y morfológicos del lecho del río y su zona inundable. El índice QBR considera cuatro bloques de evaluación: 1) Grado de cobertura de la zona de ribera, 2) Estructura de la cobertura, 3) Calidad de la cobertura, 4) Grado de naturalidad del canal fluvial, con una puntuación de 0-25 y un valor máximo de 100. Para la evaluación se utilizaron los formatos diseñados para el índice QBR, disponibles en Jáimez-Cuéllar *et al.* (2002).

En cada estación de muestreo se midieron variables físicas del cuerpo de agua: ancho medio (m) y profundidad media (m) se obtuvieron con la metodología de Darrigan *et al.* (2007); se registró el sustrato del lecho del cuerpo de agua (%): rocas (>20 cm), grava (0.2-20 cm), partículas finas (≥ 0.2 cm); y materia orgánica (MO en %) con la metodología de Smith (1996) y Oyanedel *et al.* (2008). Paralelamente, se registraron variables físicas y químicas de los nueve cuerpos de agua para caracterizar el hábitat (*in situ*) en tres puntos (repeticiones) dentro de cada estación de muestreo de acuerdo con la metodología descrita en Serna-Lagunes *et al.* (2022): temperatura del agua ($^{\circ}\text{C}$), potencial de hidrógeno (pH), potencial de óxido reducción (ORP), conductividad eléctrica (EC) y sólidos disueltos totales (TDS) medidos con un equipo multiparámetro digital portátil para medir la calidad del agua (Hanna®); y con equipos LAQUAtwin (Horiba®) se determinó la concentración de Calcio (Ca^{2+}), Sodio (Na^{+}), Potasio (K^{+}) y Nitrato (NO_3) del agua. Las muestras de agua se tomaron a 10 cm sobre el lecho del cuerpo de agua, y se colocó en el depósito que alberga el electrodo de cada equipo para su análisis. Los sensores se calibraron previo a su uso, con las soluciones estándar de 150 ppm y 2000 ppm, de acuerdo con las especificaciones de cada equipo. Estas variables se contrastaron con los límites permisibles de la NOM-127-SSA1 (SS 1996).

Análisis de datos

La abundancia poblacional se estimó como el número de individuos capturados por hábitat para cada especie de *Procambarus*. La caracterización ambiental se realizó mediante estadística descriptiva. Las variables ambientales se organizaron en tres conjuntos de datos: calidad del bosque de ribera, variables físicas del cuerpo de agua, variables fisicoquímicas del agua. Estos conjuntos de datos se exploraron mediante un Análisis de Componentes Principales (ACP), usando la matriz de correlaciones; considerando una varianza acumulada del 80%. Debido al tamaño de muestra (n

= 9), el ACP se utilizó con fines exploratorios para identificar posibles patrones de asociaciones entre variables. La relación entre las variables abióticas y abundancia poblacional se evaluó mediante análisis de regresión lineal con rangos de Spearman (Barba *et al.* 2010). El análisis de datos fue procesado de acuerdo con el manual de usuario del software Infostat v. 2022 (Balzarini *et al.* 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con la clasificación taxonómica, en el área de estudio se identificaron dos especies de acociles endémicas de México: 1) *P. veracruzanus* (Villalobos 1954) con una abundancia poblacional de 227 individuos distribuidos en el 89% de los hábitats en estudio; y 2) *P. olmecorum* (Hobbs 1987) con abundancia poblacional de 42 individuos con presencia en el 11% de los hábitats. Estos registros amplían la distribución de *P. veracruzanus* hacia los municipios de Ixtaczoquitlán, Naranjal y Fortín. Así mismo, se reporta una población de *P. olmecorum* para el municipio de Ixtaczoquitlán que previamente no habían sido reportados (Villalobos-Figueroa 1983, Hobbs 1989, Barba-Macías *et al.* 2015).

En cuanto al índice QBR los hábitats se clasificaron con base en el nivel de intervención antrópica (Tabla 2): 3 hábitats (S3, S5, S7) registraron una calidad intermedia, mientras que 5 hábitats (S1, S2, S4, S6, S9) presentaron mala calidad y un hábitat (S8) presentó una calidad pésima, siendo la sustitución de vegetación nativa de la ribera por cultivos agrícolas como plátano (*Musa paradisiaca* L.), café (*Coffea arabica* L.), caña (*Saccharum officinarum* L.) y naranja (*Citrus sinensis* L.) la mayor amenaza al hábitat. Además, la continuidad del bosque de ribera en los sitios S6, S7, S8 y S9 fue afectada por asentamientos humanos, y los sitios S1, S2, S3 y S4 presentaron modificaciones en el sistema natural del cuerpo de agua. Estas condiciones son consistentes con lo reportado para paisajes ribereños de tierras bajas (150-1100 m s.n.m.) en el estado de Veracruz, donde la fragmentación del hábitat es frecuente por el establecimiento de cultivos regionales como la caña de azúcar y cítricos (Rivera-Hernández *et al.* 2019).

Las dos especies de acociles se registraron en seis (67%) hábitats (S1-S6) de tipo perenne y tres (33%) intermitentes (S7-S9); las características de estos hábitats fue un ancho promedio de 7.3 ± 2.9 m, baja profundidad (0.60 ± 0.14 m), con temperaturas cálidas (20 a 24.1 °C) y pH ligeramente alcalino (7.6 ± 0.11 uph). Estas condiciones representan ambientes de bajo caudal, cuya permanencia está asociada a la conservación de los bosques de ribera, los cuales son fundamentales para la permanencia de astácidos (Krause *et al.* 2019). Los parámetros fisicoquímicos del agua asociados al hábitat de *P. veracruzanus* y *P. olmecorum* en condiciones de vida silvestre que se muestran en la Tabla 2, proporcionan un referente sobre condiciones ambientales donde habitan ambas especies.

La composición del sustrato es un factor importante en el hábitat de astácidos, ya que influye en su comportamiento ecológico. En los sitios donde se registró *P. veracruzanus* el sustrato dominante fue la grava. Se ha documentado, que la grava incrementa la heterogeneidad y complejidad en la estructura de los cuerpos de agua, brinda refugio y protección contra los depredadores, e influye en el transporte y acumulación de sedimentos finos, y limita el arrastre de poblaciones de astácidos

(Graham *et al.* 2022). En los sitios donde se registró *P. veracruzanus* se observó una variación en las concentraciones de Ca^{2+} , Na^+ y K^+ . En la literatura se ha señalado que estos elementos están asociados con el estado fisiológico de crustáceos dulceacuícolas, particularmente el calcio, que juega un papel fundamental para la formación del exoesqueleto (Pârvulescu *et al.* 2011).

Tabla 2. Descriptores fisicoquímicos de las características del hábitat de dos especies de acociles (*Procambarus* spp.) en ecosistemas de agua dulce de Veracruz, México.

Variable	Hábitats									Media $\pm$ E. E
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	
Índice QBR*										
Cobertura	5	0	5	10	10	0	15	0	5	5.6 $\pm$ 1.8
Estructura	5	5	15	10	10	5	10	0	5	7.22 $\pm$ 1.5
Calidad	20	15	20	5	25	5	15	0	10	12.8 $\pm$ 2.8
Naturalidad	5	10	25	15	25	25	15	10	25	17.2 $\pm$ 2.6
Ancho (m)	30	3	2.43	7	8.9	1.39	4.68	5.27	2.97	7.3 $\pm$ 2.9
Profundidad (m)	1.65	0.53	0.80	0.48	0.66	0.20	0.36	0.43	0.33	0.60 $\pm$ 0.14
Roca	10	10	10	35	20	0	60	20	20	27 $\pm$ 7
grava	5	60	50	50	70	5	10	70	30	34 $\pm$ 10
partículas finas	80	10	10	10	5	75	10	5	20	26 $\pm$ 11
Materia orgánica	5	20	30	15	5	20	20	5	30	13 $\pm$ 3
T (°C)	22.3	20	22.4	21.7	22	21.5	22.5	24.1	23.3	22.3 $\pm$ 0.4
pH	7.6	7.5	7.8	7.6	8.3	7.09	7.4	7.4	7.6	7.6 $\pm$ 0.11
Ca^{2+} (ppm)	215.8	47	280	50.8	182	75	259	10	137.5	140 $\pm$ 33
Na^+ (ppm)	27	11	81	68	213	11	144.5	20	39.5	68 $\pm$ 23
K^+ (ppm)	10	7	13	33.7	45.5	23	23.5	68	25	27 $\pm$ 6
NO_3 (ppm)	12.5	15	12	25	16.5	12	8	25	20	16 $\pm$ 2
TDS (ppm)	171.5	256	180	201	177	88	116	174	170.5	170 $\pm$ 16
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	331.5	508	362.5	407.5	346.5	117	236.5	350	340.5	333 $\pm$ 33
ORP (mV)	282.5	235	240	260.5	280.5	177	249	272	188	243 $\pm$ 13
Abundancia <i>P. veracruzanus</i>	5	-	61	18	17	2	33	6	35	18.8 $\pm$ 2.2
Abundancia <i>P. olmecorum</i>	-	42	-	-	-	-	-	-	-	

Referente a las condiciones de la calidad del agua de los sitios de estudio con base en la NOM-127-SSA1, el hábitat S5 supera la concentración permisible de Na (200 ppm), mientras que, el 90% de los hábitats superan la concentración permisible de NO_3 en agua (11 ppm; Tabla 2). Estudios previos han reportado que las concentraciones elevadas de sodio (>150 ppm) influyen en la sobrevivencia de los acociles (López-Mejía 2008, Luo *et al.* 2024). Así mismo, las concentraciones altas de nitratos en los hábitats de acociles pueden influir de forma negativa en aspectos biológicos de estos organismos (Dan-Dan *et al.* 2024). Sin embargo, en este estudio, las observaciones se limitan a una asociación espacial de las poblaciones de acociles y las condiciones fisicoquímicas del agua.

El ACP mostró que los primeros tres componentes explican el 85% de la variación total (Figura 1), el CP1 (39.2%) consideró las variables calidad de la cubierta de la ribera, CE, y pH; el CP2 (25.8%) estuvo asociado a variables de la calidad del agua, concentración de nitratos y potasio; y el CP3

aportó el 20% con la variable sodio. Esta asociación sugiere que la calidad del bosque de ribera mantiene una estrecha relación con las variables fisicoquímicas de los cuerpos de agua donde habitan acociles, lo que es consistente con lo reportado por Escalona-Domenech *et al.* (2021) quienes documentaron que la calidad del bosque ribereño influye en la calidad del agua y el aporte de materia orgánica (Ortiz *et al.* 2024). Así mismo, las variables como TDS, CE y ORP han sido relacionadas con presencia y distribución de astácidos (Patullo y Macmillan, 2010, Welsh y Loughman 2015). Sin embargo, la influencia de estos parámetros en los procesos biológicos de especies mexicanas de acociles está escasamente estudiada. Nuestros resultados sugieren diferencias en la calidad del hábitat de los grupos identificados, aunque la interpretación de dichas diferencias debe considerarse de una forma exploratoria.

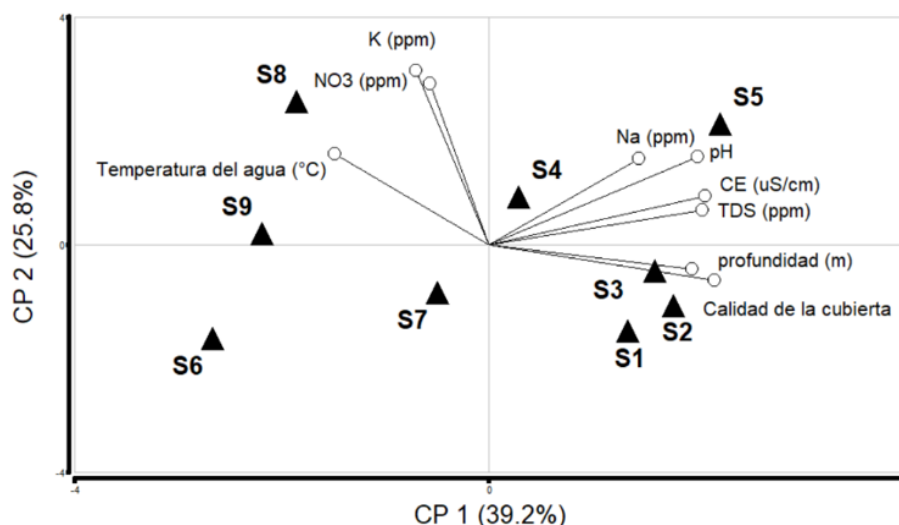


Figura 1. Asociación de sitios y variables mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP). Grupo 1: S1, S2, S3, S4, S5; Grupo 2: S6, S7, S8, S9.

El análisis de regresión lineal mostró una relación positiva de la abundancia respecto con el grado de naturalidad del cuerpo de agua ($r = 0.78$, $p = 0.02$, Figura 2a) y con el porcentaje de materia orgánica ($r = 0.74$, $p = 0.03$, Figura 2b). Contrariamente, la abundancia se relacionó de forma negativa con el ancho del cuerpo de agua ($r = -0.90$, $p = 0.01$, Figura 2c) y con el potencial de óxido reducción ($r = -0.90$, $p = 0.01$, Figura 2d). La relación positiva de la abundancia de *P. veracruzanus* con el grado de naturalidad del cuerpo de agua, y el porcentaje de materia orgánica, coinciden con la importancia de los bosques de ribera como un factor importante en los hábitats dulceacuícolas (Ortiz *et al.* 2024). Por otra parte, la asociación negativa con el ancho del cuerpo de agua, sugiere que la especie se asocia a cuerpos de agua de menor orden, lo que concuerda con el hábitat descrito por Villalobos-Figueroa (1983) para este género. Mientras que la asociación del potencial de óxido reducción, sugiere condiciones fisicoquímicas específicas del hábitat. El ORP ha sido asociado con procesos de descomposición de materia orgánica y condiciones de oxigenación en ecosistemas de agua dulce, los cuales han sido relacionadas a su vez a la disposición de macrobentos que constituyen un alimento para los cangrejos de agua dulce (Yuyu *et al.* 2022). No obstante, debido a la naturaleza del estudio, estas asociaciones requieren una evaluación experimental. En conjunto,

los resultados describen patrones de asociación de la especie *P. veracruzanus* y características estructurales y fisicoquímicas del hábitat.

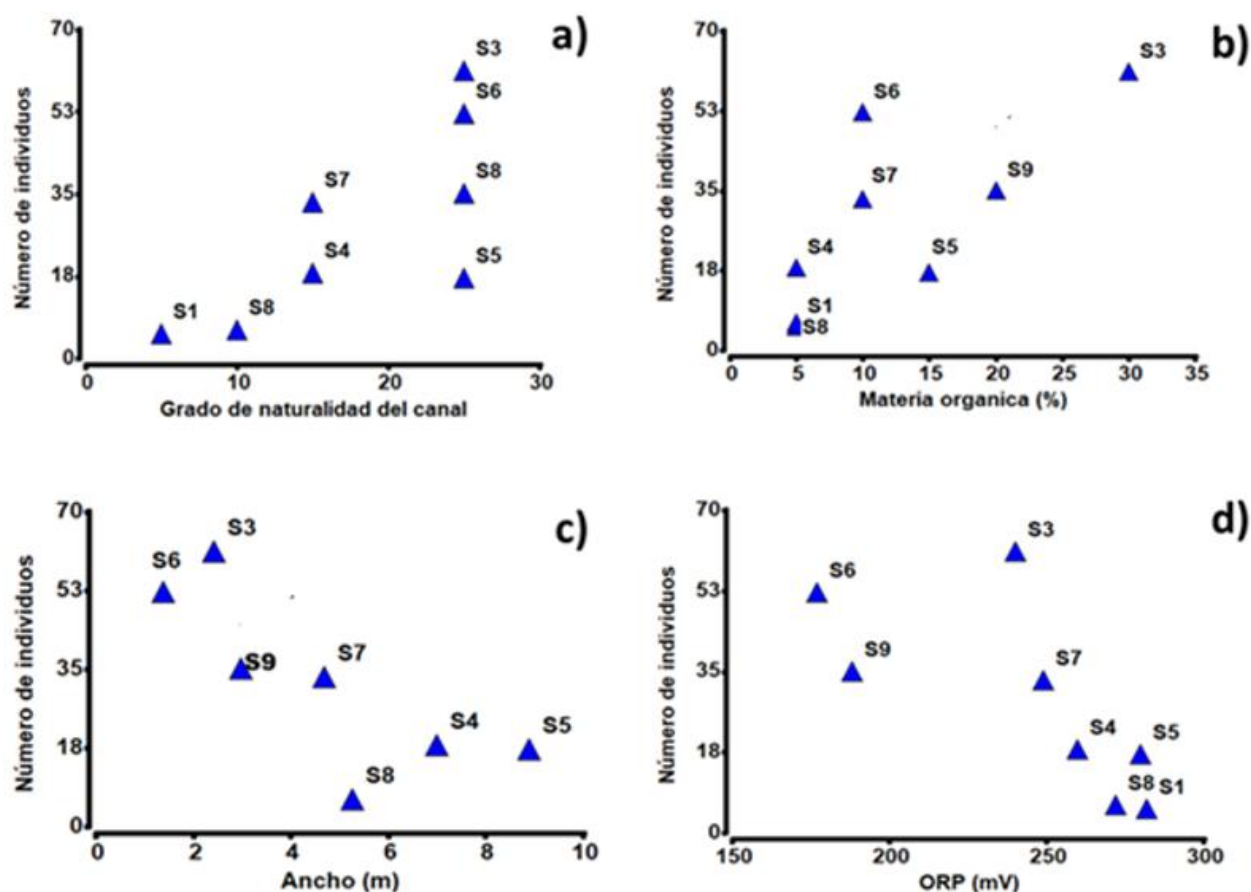


Figura 2. Relación entre la abundancia de *P. veracruzanus* y variables fisicoquímicas del hábitat.

Se caracterizaron hábitats de dos especies endémicas de acociles; *P. veracruzanus* y *P. olmecorum* en la región las Montañas Veracruz, con el fin de ampliar el conocimiento sobre su distribución y las condiciones ambientales. Los sitios se agruparon en dos conjuntos, los cuales mostraron diferencias en variables relacionadas a la calidad del bosque de ribera (grado de naturalidad del canal pluvial) y parámetros de la calidad del agua (pH, conductividad eléctrica, y concentraciones de sodio, potasio y nitratos). La caracterización ambiental sugiere que la especie *P. veracruzanus* se asocia principalmente a sitios de menor amplitud y mayor complejidad estructural. Esta asociación debe interpretarse dentro del contexto exploratorio del estudio. La baja representación de poblaciones de *P. olmecorum* limitó comparaciones entre especies y hábitats. Este estudio constituye un primer acercamiento bioecológico para las especies de acociles en la región de Las Montañas, Veracruz, y aporta información base para futuras investigaciones orientadas a la relación entre el hábitat y la ecología de estas especies.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflicto de interés en la publicación de la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Álvarez F, Rangel R (2007) Estudio poblacional del acocil *Cambarellus montezumae* (Crustacea: Decápoda: Cambaridae) en Xochimilco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 78: 433-437.
- Álvarez F, Villalobos JL, 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. <https://doi.org/10.7550/rmb.28230>
- Anderson LG, Bojko J, Bateman KS, Stebbing PD, Stentiford GD, Dunn AM (2021) Patterns of infection in a native and an invasive crayfish across the UK. *Journal of Invertebrate Pathology* 184: 107595. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2021.107595>
- Armendariz G, Quiroz-Martinez 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: 78-89. <https://doi.org/10.1002/aqc.2671>
- Balzarini MG, González L, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW (2008) Infostat. Manual del Usuario. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina. 336p.
- Barba E, Juárez-Flores J, Estrada-Loreto F (2010) Distribución y abundancia de crustáceos en humedales de Tabasco, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81: 153-163. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2010.0.218>
- Barba-Macías E, Carmona-Osalde C, Quiñones-Rodríguez L, Rodríguez-Serna M (2015) New records of cambarids (Crustacea: Cambaridae: *Procambarus*) from Grijalva-Usumacinta Basin, Tabasco. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 86(3): 620-628. <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2015.04.036>
- Crandall KA, De-Grave S (2017) An updated classification of the freshwater crayfishes (Decapoda: Astacidea) of the world, with a complete species list. *Journal of Crustacean Biology* 37: 615-653. <https://doi.org/10.1093/jcabi/rux070>
- Dan-Dan B, Yan-Xia S, Xi-Rong Z, Xiao-Li S, Xuan X, Lu D, Dai-Zhen Z, Qiu-Ning L, Bo-Ping T, Bao-Jian Z (2024) Effects of nitrite exposure on the oxidative stress, immune response and intestine microbiota of *Procambarus clarkii*. *Aquaculture* 593: 741331. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.741331>
- Darrigran G, Vilches A, Legarralde T, Damborenea C (2007) Guía para el estudio de macroinvertebrados. I. Métodos de colecta y técnicas de fijación. PROBIOTA, FCNyM, Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires, Argentina. 86p.
- Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata ZI, Knowler DJ, Lévêque C, Naiman RJ, Prieur-Richard AH, Soto D, Stiassny MLJ, Sullivan CA (2006) Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews* 81(2): 163-182. <https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
- Dudley MP, Solomon K, Wenger S, Jackson CR, Freeman M, Elliott KJ, Miniati CF, Pringle CM (2021) Do crayfish affect stream ecosystem response to riparian vegetation removal? *Freshwater Biology* 66: 1423-1435. <https://doi.org/10.1111/fwb.13728>
- Escalona-Domenech RY, Infante-Mata D, García-Alfaro JR, Ramírez-Marcial N, Ortiz-Arrona CI, Barba-Macías E (2021) Calidad de las riberas en tres tipos de cobertura vegetal en un río de la sierra Madre

- de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92: e923526. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3526>
- Graham ZA, Stubbs MB, Loughman ZJ (2022) Digging ability and digging performance in a hyporheic gravel-dwelling crayfish, the hairy crayfish *Cambarus friaufi* (Hobbs 1953) (Decapoda: Astacidae: Cambaridae). *Journal of Crustacean Biology* 42(1): ruac002. <https://doi.org/10.1093/jcabi/ruac002>
- Hobbs HHJr (1987) On the identity of *Astacus* (Cambarus) *mexicanus* Erichson (1846) and *Cambarus aztecus* Saussure (1857) (Decapoda: Cambaridae) with the description of *Procambarus olmecorum*, new species, from Veracruz, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Mexico* 100: 198-215.
- Hobbs HHJr (1989) An illustrated checklist of the American crayfish (Decapoda: Astacoidea: Cambaridae: Parastacidae). *Smithsonian Contributions to Zoology* 480: 1-236.
- Jáimez-Cuellar P, Vivas S, Bonada N, Robles S, Mellado A, Álvarez M, Avilés J, Casas J, Ortega M, Pardo I, Prat N, Rieradevall M, Sáinz-Cantero E, Sánchez-Ortega A, Suárez M, Toro M, Vidal-Abarca R, Zamora-Muñoz C, Alba-Tercedor J (2002) Protocolo GUADALMED (PRECE). *Limnetica* 21(3-4): 187-204.
- Kabalan BA, Reisinger AJ, Pintor LM, Scarasso M, Smyth AR, Reisinger LS (2025) Intraspecific variation in crayfish behaviour alters stream ecosystem functions. *Ecology Letters* 28: e70148. <https://doi.org/10.1111/ele.70148>
- Krause KP, Chien H, Ficklin DL, Hall DM, Schuster GA, Swannack TM, Taylor CA, Knouft JH (2019) Streamflow regimes and geologic conditions are more important than water temperature when projecting future crayfish distributions. *Climatic Change* 154: 107-123. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02435-4>
- López-Mejía M (2008) Sistemática de los cangrejos de agua dulce de México. In: Álvarez F, Rodríguez-Almaraz G (eds) *Crustáceos de México: estado actual de su conocimiento*. Universidad Autónoma de Nuevo León. Nuevo León, México. pp. 115-166.
- Luo L, Yang LS, Huang JH, Jiang SG, Zhou FL, Li YD, Jiang S, Yang QB (2024) Effects of different salinity stress on the transcriptomic responses of freshwater crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard, 1852). *Biology* 13(7): 530. <https://doi.org/10.3390/biology13070530>
- Maroñas M, Marzoratti G, Vilches A, Legarralde T, Darrigran G (2010) Guía para el estudio de macroinvertebrados. II.- Introducción a la metodología de muestreo y análisis de datos. Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina. 40p.
- McClain WR (2020) Crayfish aquaculture. In: Lovrich G, Thiel M (eds) *Fisheries and aquaculture*. Vol. 9. Oxford University Press. New York, USA. pp. 259-284. <https://doi.org/10.1093/oso/9780190865627.003.0011>
- Munné A, Prat N, Solà C, Bonada NY, Rieradevall MJACM (2003) A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13(2): 147-163. <https://doi.org/10.1002/aqc.529>
- Ortiz C, Jofre M, González P (2024) Diagnóstico integral de un río urbano. Aplicación de métricas biológicas, fisicoquímicas y del bosque de ribera. *Ecosistemas* 33(1): 2613. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2613>
- Oyanedel A, Valdovinos C, Azocar M, Moya C, Mancilla G, Pedreros P, Figueroa R (2008) Patrones de distribución espacial de los macroinvertebrados bentónicos de la cuenca del río Aysen (Patagonia Chilena). *Gayana* 72(2): 241-257. <https://doi.org/10.4067/S0717-65382008000200011>
- Patullo BW, Macmillan DL (2010) Making sense of electrical sense in crayfish. *Journal of Experimental Biology* 213 (4): 651-657. <https://doi.org/10.1242/jeb.039073>
- Pârvulescu L, Pacioglu O, Hamchevici C (2011) The assessment of the habitat and water quality requirements of the stone crayfish (*Austropotamobius torrentium*) and noble crayfish (*Astacus astacus*) species in the rivers from the Anina Mountains (SW Romania). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 401: 1-12. <https://doi.org/10.1051/kmae/2010036>

- Pedraza-Lara C, Ortiz-Herrera HS, Robert JW (2021) A new species of crayfish of the genus *Cambarellus* (Decapoda: Cambaridae) from central Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3150>
- Pedraza-Lara C, Villalobos JL, Álvarez F (2023) Threats and conservation status of freshwater crayfish (Decapoda: Cambaridae) in Mexico. In: Jones RW, Ornelas-García CP, Pineda-López R, Álvarez F (eds) *Mexican fauna in Anthropocene*. Springer, Cham, Switzerland. pp. 67-80. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17277-9_4
- Peeters ETHM, De Vries R, Elzinga J, Ludányi M, Himbeek RV, Roessink I (2024) Triggers affecting crayfish burrowing behaviour. *Aquatic Ecology* 58: 191-206. <https://doi.org/10.1007/s10452-023-10057-3>
- Pérez-Sato JA, Cerón-de la Luz NM, Serna-Lagunes R, Rivera-Hernández JE, Mora-Collado N, Salazar-Ortiz J (2018) Herpetofauna de tres localidades del municipio de Amatlán de Los Reyes, Veracruz, México. *Agroproductividad* 11: 38-44.
- Rivera-Hernández J, Muñoz-Márquez TRA, Vargas-Rueda AF, Alcántara-Salinas G, Real-Luna N, Sánchez-Páez R (2019) Flora, vegetación y paisaje de la región de las altas montañas de Veracruz, México, elementos importantes para el turismo de naturaleza. *Agroproductividad* 12(12): 19-29. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi0.1460>
- Rojas Y, Álvarez F, Villalobos JL (1999) A new species of crayfish of the genus *Procambarus* (Crustacea: Decapoda: Cambaridae) from Veracruz, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington* 112(2): 396-404.
- Samanez-Valer I, Rimarachín-Ching V, Palma-Gonzales C, Arana-Maestre J, Ortega-Torres H, Correa-Roldán V, Hidalgo del Águila M (2014) Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton, bentos (macroinvertebrados) y necton (peces) en aguas continentales del Perú. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú. 75p.
- SS (1996) Norma Oficial Mexicana. NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental. Agua para Uso y Consumo Humano. Límites permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe Someterse el Agua para su potabilización. Diario oficial de la Federación. Ciudad de México, México. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4866379&fecha=18/01/1996. Fecha de consulta: 07 de febrero de 2024.
- Serna-Lagunes R, Rosas-Torres F, Aguilar-Rivera N, Torres-Cantú GB, Llarena-Hernández RC, Mora-Collado N, Salazar-Ortiz J (2022) Impact of tourism activities on human health and the environment of a riparian ecosystem in Mexico. In: Leal-Filho W (ed) *Handbook of human and planetary health*. Springer. Cham, Switzerland. pp. 203-219. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09879-6_13
- Smith GRT, Learner MA, Slater FM, Foster J (1996) Habitat features important for the conservation of the native crayfish *Austropotamobius pallipes* in Britain. *Biological Conservation* 75(3): 239-246. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(95\)00073-9](https://doi.org/10.1016/0006-3207(95)00073-9)
- Villalobos-Figueroa A (1983) *Crayfishes of Mexico* (Crustacea: Decapoda). Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd. New Delhi, India. 276p
- Walker RH, Entrekin SA (2023) All in moderation: crayfish populations are affected by precipitation-driven habitat availability and water quality in a non-perennial stream. *Aquatic Sciences* 85: 94. <https://doi.org/10.1007/s00027-023-00993-5>
- Welsh SA, Loughman ZJ (2015) Physical habitat and water quality correlates of crayfish distributions in a mined watershed. *Hydrobiologia* 745(1): 85-96. <https://doi.org/10.1007/s10750-014-2095-y>
- Yuyu W, Wenzhuo T, Bin L, Yayu X, Min G, Xiuyuan L, Guangchun L (2022) Factors determining the abundance of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*) in a Large Lake Connected to the Yangtze River. *Journal of Resources and Ecology* 13(1): 61-67. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2022.01.007>