

## Condición ecológica en un gradiente altitudinal del Río Margaritas, Chiapas, México.

## Ecological condition in an altitude gradient of the Margaritas River, Chiapas, Mexico.

Escalona-Domenech, R. Y.<sup>1,2</sup> , Barrios-Calderón, R. J.<sup>3\*</sup> 

<sup>1</sup>Programa educativo Ingeniería en Nanotecnología, Universidad Politécnica de Tapachula, Carretera Tapachula-Puerto Madero Km 24 + 300. C.P. 30700, Tapachula, Chiapas, México.

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Tapachula. Carretera Antigua Aeropuerto km 2.5. C.P. 30700, Tapachula, Chiapas, México.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Chiapas. Entronque Carretera Costera y Pueblo de Huehuetán. C.P. 30660, Huehuetán, Chiapas, México.



Please cite this article as/Como citar este artículo: Escalona-Domenech, R. Y., Barrios-Calderón, R. J. (2023). Ecological condition in an altitude gradient of the Margaritas River, Chiapas, Mexico. *Revista Bio Ciencias*, 10 e1405. <https://doi.org/10.15741/revbio.10.e1405>

### Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: August 23<sup>th</sup> 2022.

Accepted/Aceptado: January 01<sup>th</sup> 2023.

Available on line/Publicado: January 19<sup>th</sup> 2023.

### RESUMEN

La condición ecológica es un parámetro que permite diagnosticar la estructura y funcionalidad de los ríos. La cuenca del Río Margaritas, localizada en el municipio de Pijijiapan, Chiapas, México es una fuente importante de recarga y provisión hídrica. Con el objetivo de evaluar la condición ecológica presente en un gradiente altitudinal del Río Margaritas, se realizó la evaluación visual del hábitat físico a través del protocolo de Barbour y se determinaron los parámetros fisicoquímicos (profundidad, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, salinidad y potencial de Hidrógeno). También se cuantificaron los iones de amonio, nitritos, nitratos y fosfatos en tres sitios de estudio. Se realizaron tres repeticiones y se aplicó un análisis de varianza y comparación de medias por Tukey-kramer ( $p \geq 0.05$ ). Los resultados mostraron una condición de hábitat sub óptima (sitios Margaritas 1 y 2) y marginal (sitio Río Ramón). Los parámetros fisicoquímicos presentaron diferencias significativas para la conductividad eléctrica específica en el sitio ( $F_{2,6} = 68.77$   $p \leq 0.0001$ ), conductividad eléctrica a 25 °C ( $F_{2,6} = 59.67$   $p = 0.0001$ ) y temperatura del agua ( $F_{2,6} = 160.66$ ,  $p \leq 0.0001$ ), donde los valores más altos fueron los del sitio Margaritas 2. La concentración de nitratos ( $6.83 \pm 0.55$  mg/L) y nitritos ( $3.67 \pm 1.15$  mg/L) obtenidos en el sitio Margaritas 2 fueron los valores más altos. Finalmente, los iones de fosfato presentaron los valores más altos en el sitio Río Ramón ( $0.12 \pm 0.05$  mg/L). Los resultados obtenidos brindan una perspectiva actual sobre el estado y condición del Río Margaritas, siendo necesario implementar estrategias de gestión propicias para cada zona de estudio.

**PALABRAS CLAVE:** Calidad hídrica, ecosistema fluvial, evaluación del río, sistemas acuáticos, vulnerabilidad del río.

### \*Corresponding Author:

Romeo de Jesús Barrios-Calderón. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Autónoma de Chiapas. Entronque Carretera Costera y Pueblo de Huehuetán. C.P. 30660, Huehuetán, Chiapas, México. Telefono: +52 9622342421.  
E-mail: [romeo.barrios@unach.mx](mailto:romeo.barrios@unach.mx)

---

## ABSTRACT

---

The ecological condition is a parameter that allows us to diagnose the structure and functionality of rivers. The Margaritas River basin, located in the municipality of Pijijiapan, Chiapas, Mexico, is an important source of water recharge and supply. In order to evaluate the ecological condition present at three altitudinal gradients of the Margaritas River, a visual evaluation of the physical habitat was performed following Barbour's protocol and some physical-chemical parameters were determined (depth, dissolved oxygen, electrical conductivity, temperature, salinity and hydrogen potential). Ammonium, nitrite, nitrate and phosphate ions were also measured at the three study sites. Three replicates were carried out and an analysis of variance and comparison of means by Tukey-kramer ( $p \geq 0.05$ ) was applied. The results showed a suboptimal (Margaritas 1 and 2 sites) and marginal (Río Ramón site) habitat condition. Physicochemical parameters presented significant differences for site-specific electrical conductivity ( $F_{2,6} = 68.77$   $p \leq 0.0001$ ), electrical conductivity at 25 °C ( $F_{2,6} = 59.67$   $p = 0.0001$ ) and water temperature ( $F_{2,6} = 160.66$ ,  $p \leq 0.0001$ ), where the highest values correspond to site Margaritas 2. The amount of nitrates ( $6.83 \pm 0.55$  mg/L) and nitrites ( $3.67 \pm 1.15$  mg/L) at site Margaritas 2 were the highest values obtained. Finally, phosphate ions presented their highest values at the Río Ramón site ( $0.12 \pm 0.05$  mg/L). The results obtained provide a current perspective on the state and condition of the Margaritas River, and it is necessary to implement appropriate management strategies for each study area.

---

**KEY WORDS :** Water quality, river ecosystem, river assessment, aquatic systems, river vulnerability.

---

## Introducción

Los ecosistemas fluviales proporcionan a los seres humanos servicios ecosistémicos, como agua potable, alimentos y actividades recreativas (Ullah *et al.*, 2018). Los cambios de uso de suelo y algunos patrones paisajísticos influyen notablemente en la gestión de los ecosistemas fluviales y se reflejan en la calidad del agua, su estructura y funcionalidad (Malacarne *et al.*, 2016; Rossi *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2022). Los ecosistemas fluviales han sido utilizados por el ser humano como fuente de recursos y como una vía para la eliminación de residuos, lo cual históricamente originó la degradación paulatina de los mismos (Alonso & Camargo, 2005). Por ejemplo, en México la ocupación de la planicie deltaica conformada por los ríos Mezcalapa-Grijalva-Usumacinta data desde hace 3500 años con la presencia de la cultura olmeca y el impacto de la deforestación, así como la modificación de estos ríos ha incidido en la morfodinámica de su sistema deltaico (Sandoval-Rivera *et al.*, 2022).

El deterioro de los ecosistemas se acentuó luego de la Revolución Industrial, debido a una mayor producción de materiales residuales, la introducción de nuevos contaminantes y por

el aumento poblacional en ciudades, que a su vez generaron más residuos (Oscos *et al.*, 2006; De los Santos *et al.*, 2022). A tal punto es su deterioro que en la actualidad constituyen uno de los ecosistemas más degradados en el mundo (Reid *et al.*, 2019, Albert *et al.*, 2021).

En los últimos años, el cambio climático y las perturbaciones humanas como la construcción de presas y la deforestación han provocado graves impactos en el entorno ecológico de las grandes cuencas fluviales, alterando significativamente la estructura y la funcionalidad del ecosistema, lo que hace que su vulnerabilidad aumente (Varis *et al.*, 2012; Pan *et al.*, 2022). Actualmente, a nivel mundial y particularmente en México existen numerosas causas de degradación de la calidad del agua y de las comunidades biológicas que habitan. Entre ellas se enlistan la contaminación por materia orgánica, el enriquecimiento en nutrientes, la eliminación o degradación del bosque de ribera (Escalona-Domenech *et al.*, 2022), la rectificación y canalización de ríos (Tovilla, 2005), la regulación de cauces, el aumento de contaminantes inorgánicos y orgánicos persistentes y las actividades mineras (Zhou *et al.*, 2019; De los Santos *et al.*, 2022; Golin *et al.*, 2022). Estas causas han provocado modificaciones importantes en el estado ecológico de los ríos en México (Díaz-Pascacio *et al.*, 2018; Ortiz, 2019).

El estado ecológico es aquella medida de calidad de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (Ferreira, 2012). El buen estado ecológico se hace visible cuando las comunidades biológicas en un sistema acuático son iguales o muy próximas a las que se pueden encontrar en condiciones inalteradas (Volonté *et al.*, 2015). En un buen estado ecológico, las condiciones fisicoquímicas y también la configuración del medio (condiciones hidromorfológicas) deben permitir el desarrollo de estas comunidades (Martínez *et al.*, 2004; Ferreira, 2012).

Particularmente en un río, un buen estado ecológico se define por aspectos como la calidad de agua, el hábitat, los organismos acuáticos, los procesos ecológicos o la hidrología, actuando en diferentes escalas de interacción (Deegan *et al.*, 2010; Pinto & Maheshwari 2011; Poole *et al.*, 2013). Por tanto, la evaluación de la calidad fisicoquímica, hidromorfológica y biológica (basada sobre todo en la composición de la flora acuática, la fauna invertebrada y los peces) determina el estado ecológico de los cuerpos de agua (Ferreira, 2012). De manera específica, los parámetros físico-químicos aportan información suficiente sobre la naturaleza de las propiedades físicas y especies químicas del agua, permitiendo una evaluación de su calidad para diferentes tipos de uso, a diferencia de otros métodos biológicos (Samboni *et al.*, 2007).

El estudio de la condición ecológica de los ríos en Chiapas, México reviste singular importancia debido al amplio proceso de cambio de cobertura y usos del suelo que están sufriendo las cuencas hidrográficas del estado (Tovilla, 2005). Estos procesos provocan el aumento de los sedimentos que de forma natural son acarreados por los ríos cuenca abajo, y que llegan a las lagunas costeras (donde desembocan la mayoría de los ríos de la costa), y ocasionan problemas de azolvamiento en las mismas (Carbajal-Evaristo *et al.*, 2015).

La cuenca del Río Margaritas al sureste de Chiapas constituye una fuente importante de recarga y suministro hídrico que abastece a las lagunas costeras y comunidades de las zonas bajas (Tovilla, 2005). Algunos autores han encontrado una relación muy estrecha entre la condición ecológica del hábitat y los factores abióticos evaluados en el río (calidad del hábitat, la

temperatura del agua, el pH) y las concentraciones de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno (Stevenson, 2014; Charles *et al.*, 2019; Tang, 2020).

El 37 % de la extensión de la cuenca Margaritas está formado por pastizales inducidos en los cuales predomina la actividad ganadera, lo cual ha provocado la disminución de la condición ecológica de las riberas y la fragmentación de la vegetación ribereña (Escalona-Domenech *et al.*, 2022). Por esta razón, resulta de suma importancia hacer un diagnóstico del estado y condición actual de este ecosistema fluvial. Desde esta perspectiva, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la condición ecológica presente en un gradiente altitudinal del Río Margaritas, con base a parámetros fisicoquímicos del agua y la evaluación del hábitat físico acuático.

## Material y métodos

### Descripción del área de estudio

La cuenca del río Margaritas está ubicada dentro del municipio de Pijijiapan, Chiapas, México, entre las coordenadas 93° 07' 57" y 92° 59' 06" de longitud oeste y 15° 25' 01" y 15° 41' 40" de latitud norte. La cuenca se ubica dentro de la vertiente que forma la Sierra Madre de Chiapas y el Océano Pacífico y forma parte de la región hidrológica No. 23 (RH 23) Costa de Chiapas (CONAGUA, 2009) y su extensión territorial total es de 19,475.81 ha (Figura 1).

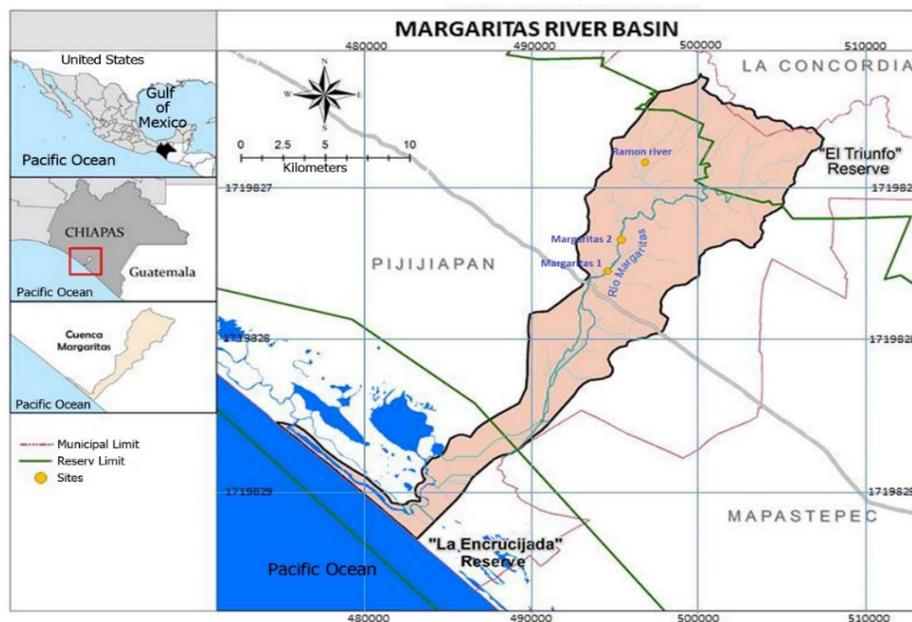
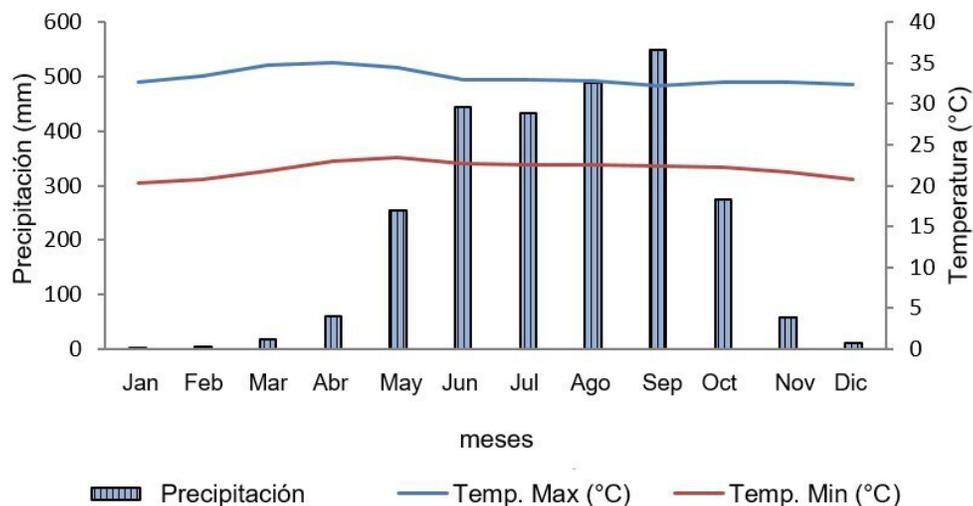


Figura 1. Ubicación geográfica de la cuenca del Río Margaritas

La cuenca del río Margaritas pertenece a la región fisiográfica Llanuras Costeras del Pacífico de Chiapas, ubicada en la Cordillera Centroamericana (INEGI, 2002). El clima predominante en la cuenca es cálido húmedo Am (w) que representa el 60.95 % (11,871.25 ha) de la superficie total de la cuenca, mientras que el 39.05 % (7,604.56) contempla un clima cálido subhúmedo Aw2(w) (en la parte media y baja de la cuenca) y clima semicálido húmedo ACm(W) (en la parte más alta de la cuenca) (INEGI, 2008). Se reporta para la cuenca una temperatura media anual de 27.6 °C y una precipitación promedio de 2,596 mm de acuerdo a datos de la estación meteorológica No. 23018 de la Comisión Nacional del Agua (Escalona-Domenech *et al.*, 2022), aunque en las zonas más altas de la cuenca pueden alcanzar los 2600 mm anuales. Los caudales de este río siguen un comportamiento de acuerdo a dos marcadas temporadas del año, lluvias y secas. La temporada de lluvias comprende los meses de mayo a octubre, mientras que la temporada de secas incluye los meses desde noviembre a abril. Los valores máximos históricos de precipitación se presentan durante el mes de septiembre y los mínimos en enero (Figura 2).



**Figura 2. Diagramas climáticos de Walter y Lieth de la cuenca del río Margaritas para el periodo 1951 a 2021**

A lo largo de la cuenca del río Margaritas la edafología está formada por siete unidades de suelo, donde predominan las unidades cambisol, litosol y regosol, que representan el 37.58, 37.21 y 17.18 % respectivamente del total de la superficie de la cuenca (INEGI, 2016).

### Ubicación de sitios de muestreo

Se ubicaron tres sitios de muestreo a diferentes altitudes del Río Margaritas: 1) Margaritas 1 establecido entre las coordenadas 15°32'14.37" N y 93° 4'50.12" O a una altura

de 15 msnm, 2) Margaritas 2 instalado entre los 15°35'31.97" N y 93°3'23.53" O a 70 msnm y 3) Río Ramón demarcado entre las coordenadas 15°39'46.05" N y 93°1'45.39" O a una altitud de 386 msnm (Figura 1).

### Evaluación de hábitat

En cada sitio de muestreo se realizó la evaluación visual del hábitat físico siguiendo el protocolo de Barbour *et al.* (1999) para ríos vadeables, el cual consta de diez variables a las que se les asigna un valor de 0 hasta 20 puntos. Con la sumatoria de todas las variables se ofrece una puntuación final otorgándose una calificación a la condición del hábitat de óptima, sub óptima, marginal y pobre (Tabla 1).

**Tabla 1. Variables para la evaluación de la condición del hábitat y su puntuación**

Parámetro	Condición				
	Óptima	Sub óptima	Marginal	Pobre	
Alteración del cauce	20-16	15-11	10-6	5-0	
Estado del cauce	20-16	15-11	10-6	5-0	
Cubrimiento de cantos por sedimentos	20-16	15-11	10-6	5-0	
Estabilidad del banco	Derecho	10-9	8-6	5-3	2-0
	Izquierdo	10-9	8-6	5-3	2-0
Regímenes de velocidad y profundidad	20-16	15-11	10-6	5-0	
Sustrato para la epifauna	20-16	15-11	10-6	5-0	
Frecuencia de rápidos	20-16	15-11	10-6	5-0	
Ancho de la zona ribereña del banco	Derecho	10-9	8-6	5-3	2-0
	Izquierdo	10-9	8-6	5-3	2-0
Depósito de sedimento	20-16	15-11	10-6	5-0	
Protección vegetal del banco	Derecho	10-9	8-6	5-3	2-0
	Izquierdo	10-9	8-6	5-3	2-0
<b>Total</b>	(200-166)	(156-113)	(100-60)	(47-0)	

Fuente bibliográfica: Barbour *et al.* (1999)

## Hidrología y parámetros físico-químicos del agua

En cada sitio se determinaron directamente en campo y por triplicado, los parámetros de profundidad (Prof), oxígeno disuelto ( $O_2$ ), conductividad eléctrica (EC), temperatura (T) y salinidad (Sal) utilizando un equipo multiparamétrico portable YSI modelo 85. El potencial de hidrógeno (pH) se midió con un sensor de pH eco Test modelo pH2. Además, se determinaron las concentraciones de amonio ( $NH_4^+$ ), nitritos ( $NO_2^-$ ), nitratos ( $NO_3^-$ ) y fosfatos ( $PO_4^-$ ), por medio de un equipo de Hach portable Case modelo DR/890.

### Análisis estadísticos

Se aplicó un diseño completamente al azar. El tamaño de la muestra incluyó un total de tres repeticiones por cada análisis experimental realizado ( $n \geq 3$ ). Para el análisis de resultados de cada una de las variables evaluadas en los sitios de estudio, se aplicó un análisis de varianza y comparación de medias por Tukey-kramer ( $p \geq 0.05$ ) empleando el software jmp pro 15 (Statistical Analysis System [SAS], 2020).

## Resultados

### Hábitat físico

En los tres sitios evaluados se obtuvieron calificaciones correspondientes con dos de los estados para la condición de hábitat mencionados por Barbour *et al.* (1999), los cuales fueron: marginal y sub óptimo. Los sitios Margaritas 1 y Margaritas 2 mostraron la puntuación más alta correspondiente a una condición de hábitat sub óptima (Tabla 2).

**Tabla 2. Valores obtenidos en la evaluación del hábitat físico acuático**

Sitio	Altitud msnm	Coordenadas	Puntaje	Calificación
Margaritas 1	56	15°32'14.37"N, 93°4'50.12"O	141	Sub-óptimo
Margaritas 2	68	15°35'31.97"N, 93°3'23.53"O	143	Sub-óptimo
Río Ramón	386	15°39'46.05"N 93°1'45.39"O	92	Marginal

Las variables que más influyeron en esta calificación fueron las relacionadas con la protección de los márgenes y el ancho de la vegetación ribereña (Tabla 3). La variable que mostró menos variación entre los sitios fue la alteración del cauce (Figura 3).

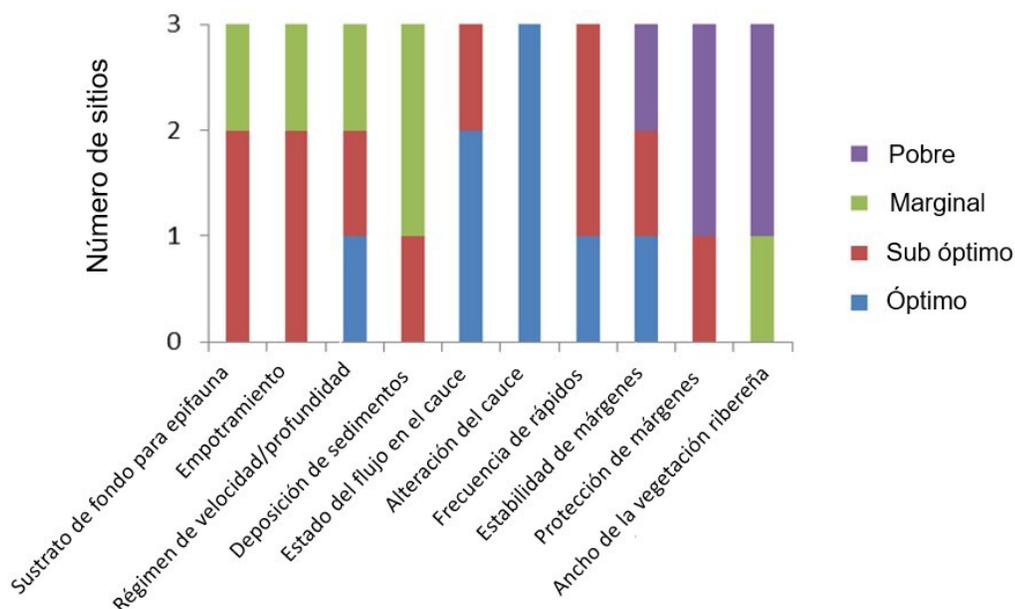
**Tabla 3. Valores obtenidos de cada variable por sitios en la evaluación del hábitat físico acuático según Barbour *et al.* (1999)**

Variable	Río Ramón	Margaritas 1	Margaritas 2
Sustrato del fondo para epifauna	10	14	13
Empotramiento (cubrimiento de cantos por sedimentos)	8	12	15
Régimen velocidad/profundidad	10	13	20
Deposición de sedimentos	10	12	10
Estado del flujo en el cauce	14	19	14
Alteración del cauce	16	19	16
Frecuencia de Rápidos	14	20	15
Estabilidad márgenes (margen derecho)	2	9	9
Estabilidad márgenes (margen izquierdo)	2	10	9
Protección de márgenes (margen derecho)	2	2	6
Protección de márgenes (margen izquierdo)	2	5	6
Ancho vegetación ribereña (margen derecho)	1	2	5
Ancho vegetación ribereña (margen izquierdo)	1	4	5
Total	92	141	143

### Parámetros físico-químicos

Los resultados obtenidos de la medición de parámetros físico-químicos de las aguas del Río Margaritas, tomando en cuenta cada una de las repeticiones, se muestran en la Tabla 4. O<sub>2</sub> (%) = oxígeno disuelto en porcentaje, Od (mg/L) = oxígeno disuelto en miligramos por litro, EC 1 (μS/cm) = conductividad eléctrica específica en el sitio expresada en micro Siemens/centímetros, EC 1 (μS/cm) = conductividad eléctrica a 25°C expresada en micro Siemens/centímetros, Sal (ppm) = salinidad en partes por mil, T (°C) = temperatura en grados centígrados, pH = potencial de Hidrógeno.

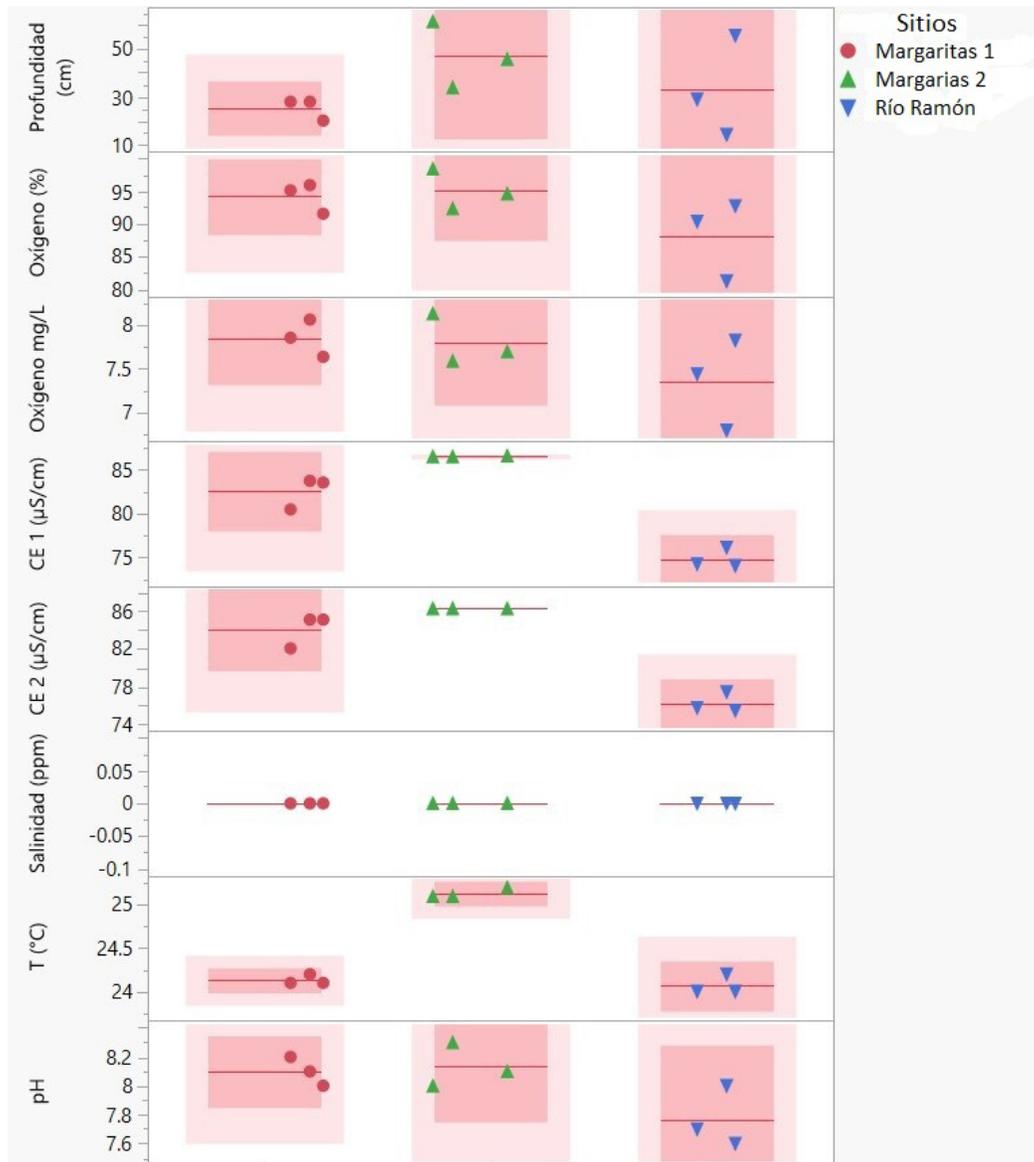
Los valores promedio obtenidos para cada parámetro evaluado se expresan gráficamente en la figura 4, mientras que la prueba de comparación de medias y ANOVA aplicados en cada uno de los parámetros se muestran en la Tabla 5.



**Figura 3. Estado de cada uno de los atributos del hábitat físico del protocolo de Barbour et al. (1999) en los 3 sitios de muestreo del río Margaritas, Chiapas**

**Tabla 4. Profundidad, oxígeno, conductividad eléctrica, salinidad, temperatura y pH del agua del Río Margaritas en los sitios de muestreo**

Sitio	Repetición	Prof (cm)	O <sub>d</sub> (%)	O <sub>d</sub> (mg/L)	EC 1 (μS/cm)	EC 2 (μS/cm)	Sal (ppm)	T (°C)	pH
Margaritas 1	1- Izquierda	28	95.2	7.86	80.5	82.1	0.00	24.1	8.2
Margaritas 1	2- Centro	28	96.0	8.07	83.8	85.2	0.00	24.2	8.1
Margaritas 1	3- Derecha	20	91.6	7.64	83.6	85.2	0.00	24.1	8.0
Margaritas 2	1- Izquierda	34	92.4	7.59	86.6	86.4	0.00	25.1	8.3
Margaritas 2	2- Centro	62	98.5	8.14	86.6	86.4	0.00	25.1	8.0
Margaritas 2	3- Derecha	46	94.7	7.70	86.7	86.4	0.00	25.2	8.1
Río Ramón	1- Izquierda	14	81.2	6.79	76.10	77.4	0.00	24.2	8
Río Ramón	2- Centro	29	90.4	7.44	74.20	75.7	0.00	24	7.7
Río Ramón	3- Derecha	56	92.8	7.83	74.00	75.4	0.00	24	7.6



**Figura 4. Interpretación gráfica de cada uno de los parámetros físico-químicos evaluados en cada sitio de estudio y sus respectivas repeticiones con respecto a la media**

**Tabla 5. Valores promedio de profundidad, oxígeno, conductividad eléctrica (EC), Salinidad, temperatura y potencial de Hidrógeno (pH) en Río Margaritas  $\pm$  S.D. Prueba Tukey-Kramer,  $p \leq 0.05$ .**

Sitio	Promedio	S.D.		
<b>Profundidad (cm)</b>				
Margaritas 1	25.33	4.61		$F_{2,6}=1.67$
Margaritas 2	47.33	14.04	n.s.	$p = 0.26$
Río Ramón	33	21.28		
<b>Oxígeno (%)</b>				
Margaritas 1	94.26	2.34		$F_{2,6}=2.52$
Margaritas 2	95.2	3.08	n.s.	$p = 0.15$
Río Ramón	88.13	6.12		
<b>Oxígeno mg/L</b>				
Margaritas 1	7.85	0.21		$F_{2,6}=1.71$
Margaritas 2	7.81	0.29	n.s.	$p = 0.25$
Río Ramón	7.35	0.52		
<b>EC 1 (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>				
Margaritas 1	82.63	1.85	b	$F_{2,6}=68.77$
Margaritas 2	86.63	0.05	a	$p \leq 0.0001$
Río Ramón	74.76	1.15	c	
<b>EC 2 (<math>\mu\text{S/cm}</math>)</b>				
Margaritas 1	84.16	1.78	a	$F_{2,6}=59.67$
Margaritas 2	86.4	1.74e-14	a	$p = 0.0001$
Río Ramón	76.16	1.07	b	
<b>Salinidad (ppm)</b>				
Margaritas 1	0			
Margaritas 2	0			
Río Ramón	0			
<b>T (<math>^{\circ}\text{C}</math>)</b>				
Margaritas 1	24.13	0.05	b	$F_{2,6}=160.66$
Margaritas 2	25.13	0.05	a	$p \leq 0.0001$
Río Ramón	24.06	0.11	b	
<b>pH</b>				
Margaritas 1	8.1	0.1		$F_{2,6}=4.82$
Margaritas 2	8.13	0.15	n.s.	$p = 0.06$
Río Ramón	7.76	0.2		

De acuerdo a los valores promedio obtenidos en cada uno de los sitios, se presentaron diferencias significativas en la conductividad eléctrica, misma que fue evaluada bajo dos condiciones: conductividad eléctrica específica en el sitio (EC1) y conductividad eléctrica a 25  $^{\circ}\text{C}$  (EC2). Los resultados muestran diferencias entre los tres sitios evaluados para ambas condiciones. Para la EC1, el valor más alto corresponde al sitio Margaritas 2 ( $86.63 \pm 0.05$   $\mu\text{S/cm}$ ), mientras que, en la EC2, los sitios Margaritas 1 ( $84.16 \pm 1.78$   $\mu\text{S/cm}$ ) y Margaritas 2

( $86.4 \pm 1.74e-14 \mu\text{S/cm}$ ) fueron muy superiores. Tanto para EC1 y EC2, los resultados obtenidos para el sitio Río Ramón fueron significativamente menores (Tabla 5).

También la temperatura del agua presentó diferencias estadísticas significativas teniendo un valor mayor en el sitio Margaritas 2 ( $25.13 \pm 0.05 \text{ }^\circ\text{C}$ ) con respecto al sitio Margaritas 1 ( $24.13 \pm 0.05 \text{ }^\circ\text{C}$ ) y el sitio Río Ramón ( $24.06 \pm 0.11 \text{ }^\circ\text{C}$ ), tal y como se muestra en el Tabla 5. Los valores de profundidad (Prof.), oxígeno disuelto ( $\text{O}_2$ ) y pH no presentaron diferencias significativas en las tres zonas evaluadas dentro del Río Margaritas (Tabla 5).

En cuanto a los parámetros químicos, el amonio solo presentó un valor para el sitio Margaritas 2, siendo este muy bajo (Tabla 6). La cantidad de nitratos fue más alta en el sitio Margaritas 2 con un valor promedio de  $6.83 \pm 0.55 \text{ mg/l}$  mientras que el sitio Río Ramón solo presentó  $0.2 \pm 3.40E-17 \text{ mg/l}$  (Tabla 6).

**Tabla 6. Resultados de los parámetros físico-químicos del agua del río Margaritas en tres sitios de muestreo en temporada de lluvia con los valores de desviación estándar**

Sitio	Parámetros			
	$\text{NH}_4^+$ (mg/L)	$\text{NO}_3^-$ (mg/L)	$\text{NO}_2^-$ (mg/L)	$\text{PO}_4^-$ (mg/L)
Margaritas 1	$0 \pm 0$	$2.57 \pm 2.60$	$0 \pm 0$	$0.02 \pm 0.02$
Margaritas 2	$0.01 \pm 0.02$	$6.83 \pm 0.55$	$3.67 \pm 1.15$	$0.05 \pm 0.12$
Ramón river	$0 \pm 0$	$0.2 \pm 3.40E-17$	$0.67 \pm 0.58$	$0.12 \pm 0.05$

$\text{NH}_4^+$  = amonio,  $\text{NO}_2^-$  = nitritos,  $\text{NO}_3^-$  = nitratos,  $\text{PO}_4^-$  = fosfatos

Los nitritos tuvieron un comportamiento similar a los nitratos en el sitio Margaritas 2 obteniéndose los valores más elevados ( $3.67 \pm 1.15 \text{ mg/l}$ ) con respecto a los sitios Río Ramón y Margaritas 1 (Tabla 6). Para el análisis de los fosfatos, el sitio que presentó los valores más altos fue Río Ramón ( $0.12 \pm 0.05 \text{ mg/l}$ ) como se aprecia en la tabla 6. De esta manera se considera que en los tres sitios analizados las concentraciones de amonio y fosfatos fueron bajas.

## Discusión

Los resultados de la evaluación de hábitat mostraron que en el río Margaritas las actividades humanas como la ganadería han provocado la disminución y/o el cambio en la vegetación ribereña hacia otro tipo de vegetación o a la desaparición de la misma. Esto puede estar acompañado de la perturbación humana en el paisaje, aspectos geológicos y las precipitaciones que suelen

afectar naturalmente la conductividad de los arroyos (Vander Laan *et al.*, 2013) y que pudieron haber contribuido a la desestabilización de los márgenes, que se logró observar en el caso del sitio Río Ramón.

La precipitación, la fertilidad del suelo, la pendiente de la cuenca y el tamaño del río afectan la ubicación y la intensidad del uso de la tierra agrícola y urbana porque regulan el crecimiento de los cultivos, la erosión, el transporte y el suministro de agua (Ramankutty *et al.*, 2006). Estos factores naturales a escala regional también determinan el uso de suelo y los cambios en la cobertura a nivel de la cuenca (Dodds *et al.*, 2015). El estado del hábitat, la estructura y funcionalidad de los ecosistemas determinan el potencial de existencia de su vulnerabilidad (Micheli *et al.*, 2014). Por tanto, los ecosistemas ribereños como el Río Margaritas que presentan condición sub óptima (sitios Margaritas 1 y 2) y marginal (sitio Río Ramón) en sus afluentes, dan un primer indicio de degradación en el hábitat. Es por esto que, desde una perspectiva de manejo, tal y como señala Tang (2020) se pueden gestionar las actividades humanas para reducir los contaminantes y las alteraciones del ecosistema en los sitios evaluados.

Los parámetros físico-químicos Prof,  $O_d$  y pH muestran similitud en las tres zonas evaluadas dentro del Río Margaritas. El pH del agua mostró cierto nivel de alcalinidad en las aguas del Río Margaritas en los tres sitios evaluados, lo cual es muy similar a lo reportado por García *et al.* (2019) aplicando modelos de regresión lineal en los que no se presentaron diferencias en el pH alcalino del río Chimbo, Ecuador. Por su parte, la C.E. muestra diferencias significativas en las que el sitio Río Ramón tiene valores bajos respecto a los otros sitios de estudio, no obstante, los valores obtenidos en esta investigación resultan ser superiores a los valores promedio reportados por Arroyo y Encalada (2009) en los ríos Guajalito (58.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Palmeras (55  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) y Brincador (30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) que se encuentran dentro de los estándares permisibles según lo establecido por Ríos y Prat (2004). De esta manera, algunas condiciones fisicoquímicas en la corriente como lo son las altas concentraciones de nutrientes, se han asociado ampliamente con factores naturales y humanos a escala de cuenca (Golden *et al.*, 2016), lo cual hace más evidente una mayor concentración de sólidos disueltos en el sitio Margaritas 2. Lo anterior podría derivarse de una mayor emisión de desechos orgánicos, fertilizantes o materiales provenientes de prácticas agrícolas y ganaderas que incrementan estos valores.

En el caso los parámetros químicos como los fosfatos, se observa que estos mostraron una disminución a medida que se descende en altura y aumenta el caudal del río, acrecentándose además por las precipitaciones de la temporada. Resultados similares obtuvo Hernández (2014) para el río Cacaluta. Esta disminución de fosfatos podría explicarse debido al efecto de dilución que tiene el agua sobre este compuesto, esto porque el sitio Río Ramón se encuentra en un río de cabecera, mientras que los sitios Margarita 1 y Margarita 2 se encuentran sobre el cauce principal, mucho más ancho y con mayor caudal. Marcarelli y Wurtsbaugh (2007) señalan que altas concentraciones de fósforo benefician la abundancia de taxa fijadores de nitrógeno y un incremento en su tasa de fijación al aumentar el ingreso de nitrógeno en las aguas, sin embargo, las concentraciones de nitratos en el sitio Río Ramón fueron menores con respecto al sitio Margaritas 1 y Margaritas 2. Esta baja fijación de nitrógeno en el sitio Río Ramón, además de la altura, puede deberse a una energía lumínica muy limitada cuya tasa de fijación en río sombreados es menor (Marcarelli *et al.*, 2008) tal como sucede en esta zona de mayor altitud

dentro del Río Margaritas.

Las concentraciones de amonio solo presentaron valores para el sitio Margaritas 2 y estos fueron muy bajos, pero que relacionados a la mayor CE obtenida para este sitio son indicio de mayor contaminación en sus aguas. En este resultado también influye la concentración de oxígeno y pH que hace que se oxide rápidamente a nitrito (Hernández, 2014), lo cual podría estar relacionado con que el sitio Ramón 2 obtuvo los mayores resultados en los nitritos. Las actividades agropecuarias (fertilizantes nitrogenados y el estiércol del ganado) que son realizadas en esta cuenca, podrían estar incidiendo en la concentración de estos parámetros (Auquilla *et al.* 2005; Hernández, 2014).

## Conclusiones

En el Río Margaritas la condición ecológica reportada para las tres secciones evaluadas es favorable de acuerdo a la información obtenida. Las condiciones del hábitat y los valores de oxígeno disuelto generan condiciones sub óptimas para el desarrollo de la vida acuática. No obstante, resulta necesario implementar estrategias de manejo en el sitio Margaritas 2, debido a que este sitio presenta una mayor conductividad eléctrica y mayor presencia de nitritos, los cuales indican la degradación de esta zona del río.

Los resultados obtenidos permiten tener un panorama sobre la condición ecológica del Río Margaritas en las tres zonas evaluadas. Sin embargo, se recomienda llevar a cabo un estudio más extenso y de mayor intensidad, donde se incremente el número de sitios a diferentes altitudes. También será importante incluir las condiciones climáticas (lluvia y seca) lo cual permita completar la información que se generó en esta investigación, para que a partir de ello se puedan proponer estrategias de manejo más concretas para cada zona del Río Margaritas.

## Contribución de los autores

Raisa Yarina Escalona Domenech: Conceptualización del trabajo, desarrollo de la metodología, manejo de datos, escritura y preparación del manuscrito, redacción, revisión y edición. Romeo de Jesús Barrios Calderón: Conceptualización del trabajo, validación experimental, análisis de resultados, escritura y preparación del manuscrito, redacción, revisión y edición.

## Financiamiento

Esta investigación no recibió financiamiento externo.

## Agradecimientos

A la Dra. Dulce Infante Mata, Dr. Everardo Barba Macías y Biólogo José R. García Alfaro de El Colegio de la Frontera Sur por el apoyo administrativo y técnico, y todas las facilidades brindadas (materiales y equipo utilizados) para realizar el presente estudio; al Ing. José H. López Urbina por su apoyo en la elaboración del mapa y LDG Nereyda J. Barrios Calderón por el diseño y procesamiento de imágenes.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## Referencias

- Alonso, A., & Camargo, J. A. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*, 14(3), 87-99. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=133>
- Albert, J. S., Destouni, G., Duke-Sylvester, S. M., Magurran, A. E., Oberdorff, T., Reis, R. E., Winemiller, K. O., & Ripple, W. J. (2021). Scientists' warning to humanity on the freshwater biodiversity crisis. *Ambio*, 50, 85-94. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01318-8>
- Arroyo, J. C., & Encalada, A. (2009). Evaluación de la calidad de agua a través de macroinvertebrados bentónicos e índices biológicos en ríos tropicales en bosque de neblina montano. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 1(1). <https://doi.org/10.18272/aci.v1i1.4>
- Aquilla, R. C., Astorga, Y., & Jiménez, F. (2005). Influencia del uso del suelo y calidad del agua en la subcuenca del río Jabonal, Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente*, 48, 81-92. <https://www.uv.mx/oabcc/files/2018/11/Revista-Rec.-Nat.-y-Amb.-No.-48.pdf>
- Barbour, M., Gerritsen, J., Snyder, B., & Stribling, J. (1999). Habitat assessment and physicochemical parameters. In *Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish*. Second Edition. Washington D.C.: U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water. [https://www.waterboards.ca.gov/water\\_issues/programs/tmdl/docs/303d\\_policydocs/161.pdf](https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/tmdl/docs/303d_policydocs/161.pdf)
- Carbajal-Evaristo, S. S., Tovilla-Hernández, C., Díaz-Gallegos, J. R., Infante-Mata, D.M., & Acosta-Velázquez, J. (2015). Evaluación del impacto del azolvamiento en la Laguna Cerritos como consecuencia de la canalización del río Cintalapa, Chiapas. En: Velázquez Velázquez, E., Romero-Berny, E.I., & Rivera-Velázquez, G. (Eds.) *Reserva de la Biósfera La Encrucijada, dos décadas de investigación para su conservación*. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. 253-264.
- Charles, D. F., Tuccillo, A. P., & Belton, T. J., (2019). Use of diatoms for developing nutrient criteria for rivers and streams: a biological condition gradient approach. *Ecological Indicators*, 96(1), 258-269. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.048>
- Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (2009). *Atlas del agua en México*. Comisión Nacional del Agua, SEMARNAT. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259343/\\_2009\\_Atlas\\_del\\_Agua\\_en\\_M\\_xico\\_2009.compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259343/_2009_Atlas_del_Agua_en_M_xico_2009.compressed.pdf)
- De Los Santos, L., Ccamapaza, J. L., Valencia-Bedregal, R. A., Borja-Castro, L. E., Velazquez-

- García, J., Nimalika, D. H., Ionescu, A., Arvidsson, D., Peregrine, E., Newton, P., Lepage, H., Byrne, P., Bustamante, A. G., & Barnes, C. (2022). Physical and chemical characterization of sediments from an Andean river exposed to mining and agricultural activities: The Moquegua River, Peru. *International Journal of Sediment Research*, 37(6), 780-793. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2022.06.002>
- Deegan, L. A., Neill, C., Hauptert, C. L., Ballester, M. V. R., Krusche, A. V., Victoria, R. L., Thomas, S. M., & Moor, E. (2010). Amazon deforestation alters small stream structure, nitrogen biogeochemistry and connectivity to larger rivers. *Biogeochemistry*, 105, 53-74. <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9540-4>
- Díaz-Pascacio, E., Ortega-Argueta, A., Castillo-Uzcanga, M. M., & Ramírez-Marcial, N. (2018). Influence of land use on the riparian zone condition along an urban-rural gradient on the Sabinal River, Mexico. *Botanical Sciences*, 96(2), 180-199. <https://doi.org/10.17129/botsci.1858>
- Dodds, W. K., Gido, K., Whiles, M. R., Daniels, D., & Grudzinski, B. P. (2015). The stream biome gradient concept: factors controlling lotic systems broad biogeographic scales. *Freshwater Science*, 34(1), 1-19. <http://dx.doi.org/10.1086/679756>
- Escalona-Domenech, R. Y., Infante-Mata, D., García-Alfaro, J. R., Ramírez-Marcial, N., Ortiz-Arrona, C. I., & Barba, E. (2022). Evaluación de la calidad del agua y de la ribera en la cuenca del Río Margaritas, Chiapas, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 38, 54092. <https://doi.org/10.20937/rica.54092>
- Ferreira, T. (2012). Restauración y Gestión Ecológica Fluvial. Un Manual de Buenas Prácticas de Gestión de Ríos y Riberas. Camprodon J, Ferreira MT, Ordeix M, editors. [http://observatoriagua.uib.es/repositori/gf\\_restauracion\\_sudoe.pdf](http://observatoriagua.uib.es/repositori/gf_restauracion_sudoe.pdf)
- García, S. L., Arguello, A., Parra, R., & Pincay Pilay, R. (2019). Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal. *INNOVA Research Journal*, 4(2), 59-71. <https://doi.org/10.33890/innova.v4.n2.2019.909>
- Golden, H. E., Lane, C. R., Prues, A. G., & D'Amico, E. (2016). Boosted regression tree models to explain watershed nutrient concentrations and biological condition. *Journal of the American Water Resources Association*, 52(5), 1251-1274. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12447>
- Golin, N., Santos, L., Esquivel, Lima de Souza, T., Gallucci, M., Pinto, A., Castro, C., & de Oliveira, C. A. (2022). Organic and inorganic pollutants in Jordão and Iguaçu rivers southern Brazil impact early phases of *Rhamdia quelen* and represent a risk for population. *Chemosphere*, 303, part 1, 134989 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134989>
- Hernández, J. L. (2014). Caracterización de uso de suelo y evaluación de la calidad riparia del río Cacaluta, Acacoyagua, Chiapas, México. [Tesis de Maestría, El Colegio de la Frontera Sur, Tapachula, Chiapas]. [https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2026/1/100000054653\\_documento.pdf](https://ecosur.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1017/2026/1/100000054653_documento.pdf)
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática]. (2002). Conjunto de datos vectoriales edafológico. Escala 1:250000. Serie III (continuo nacional). Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática]. (2016). Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250000. Serie VI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática]. (2008). Carta climática de acuerdo al sistema de Köppen modificado.
- Liu, Y., Shen, Y., Cheng, C., Yuan, W., Gao, H., & Guo, P. (2022). Analysis of the influence paths of land use and landscape pattern on organic matter decomposition in river ecosystems:

- Focusing on microbial groups. *Science of The Total Environment*, 817,152999. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.152999>.
- Marcarelli, A. M., & Wurtsbaugh, W. A. (2007). Effects of upstream lakes and nutrient limitation on periphytic biomass and nitrogen fixation in oligotrophic, subalpine streams. *Freshwater Biology*, 52(11), 2211-2225. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01851.x>
- Marcarelli, A. M., Baker, M. A., & Wurtsbaugh, W. A. (2008). Is in-stream N<sub>2</sub> fixation an important N source for benthic communities and stream ecosystems? *Journal of the North American Benthological Society*, 27(1), 186-211. <https://doi.org/10.1899/07-027.1>
- Malacarne, T.J., Baumgartner, M. T., Moretto, Y., & Gubiani, E. A. (2016). Effects of land use on the composition and structure of aquatic invertebrate community and leaf breakdown process in neotropical streams. *River Research and Applications* 32(9), 1958–1967. <https://doi.org/10.1002/rra.3031>
- Martínez, J. F., Correcher, E., Piñón, A., Martínez, M. A., & Pujante, A. M. (2004). Estudio del estado ecológico de los ríos de la cuenca hidrográfica del Júcar (España) mediante el índice BMWP. *Limnética*, 23(3-4), 331-346. <https://doi.org/10.23818/limn.23.28>
- Micheli, F., Mumby, P. J., Brumbaugh, D. R., Broad, K., Dahlgren, C. P., Harborne, A. R., Holmes, K. E., Kappel, C. V., Litvin, S. Y., & Sanchirico, J. N. (2014). High vulnerability of ecosystem function and services to diversity loss in Caribbean coral reefs. *Biological Conservation*, 171, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.029>
- Ortiz, C. I. (2019). Los corredores ribereños en la cuenca del río Ayuquila-Armería en México. Vegetación ribereña y calidad de las riberas. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur (Eds.). Guadalajara, México.
- Oscos, J., Campos, F., & Escala, M. C. (2006). Variación de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en relación con la calidad de las aguas. *Limnética*, 25(3), 683-692. <https://doi.org/10.23818/limn.25.46>
- Pan, Z., Gao, G., & Fu, Bojie. (2022). Spatiotemporal changes and driving forces of ecosystem vulnerability in the Yangtze River Basin, China: Quantification using habitat-structure-function framework. *Science of The Total Environment*, 835, 155494. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155494>.
- Pinto, U., & Maheshwari, B. L. (2011). River health assessment in peri-urban landscapes: An application of multivariate analysis to identify the key variables. *Water Research*, 45(13), 3915-3924. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.04.044>
- Poole, A. E., Bradley, D., Salazar, R., & Macdonald, D. W. (2013). Optimizing agrienvironment schemes to improve river health and conservation value. *Agriculture, ecosystems & environment*, 181, 157-168. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.015>
- Ramankutty, N., Graumlich, L., Achard, F., Alves, D., Chhabra, A., DeFries, R.S., Foley, J., Gesit, H., Houghton, R., Goldewijk, K., Lambin, E., Millington, A., Rasmussen, K., Reid, R., & Turner, B. (2006). Global land-cover change: Recent progress, remaining challenges. In: Lambin, E. F., Geist, H. (Eds.). *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts* (1<sup>st</sup> ed), 9-39 <https://researchnow.flinders.edu.au/en/publications/global-land-cover-change-recent-progress-remaining-challenges>
- Reid, A. J., Carlson, A. K., Creed, I. F., Eliason, E. J., Gell, P. A., Johnson, P. T., Kidd, K. A., MacCormack, T. J., Olden, J. D., Ormerod, Smol, P. J., Taylor, W. W., Tockner, K., Vermaire, C. J., Duggeon, D., & Cooke, J. S. (2019). Emerging threats and persistent conservation challenges for freshwater biodiversity. *Biological Reviews*, 94(3), 849-873. <https://doi.org/10.1111/brv.12480>
- Ríos, B., & Prat, N. (2004). Estudios de las condiciones de referencia de las cuencas del río Pita, San Pedro y Machángara. Departamento de Ecología, Universitat de Barcelona, España.

- Rossi, F., Mallet, C., Portelli, C., Donnadieu, F., Donnadieu, F., & Artigas, J. (2018). Stimulation or inhibition: leaf microbial decomposition in streams subjected to complex chemical contamination. *Science of The Total Environment*, 648, 1371–1383. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.197>
- Sandoval-Rivera, J. P., Sáenz-Arroyo, A., Alcérreca-Huerta, J. C., & Rodiles-Hernández, R. (2022). Impacto histórico de la deforestación y la modificación de los ríos en la morfología de la costa del sur del Golfo de México. *Revista de historia (Concepción)*, 29(1), 150-181. <https://dx.doi.org/10.29393/rh29-6ihjr40006>
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, 27(3), 172-181. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64327320>
- Statistical Analysis System [SAS Institute Inc.]. (2020). JMP 14. Statistical discovery from SAS. Cary, NC, USA: Author
- Stevenson, R. J. (2014). Ecological assessments with algae: a review and synthesis. *Journal of Phycology*, 50(3), 437–461. <https://doi.org/10.1111/jpy.12189>
- Tang, T., Stevenson, R. J., & Grace, K. B. (2020). The importance of natural versus human factors for ecological conditions of streams and rivers. *Science of The Total Environment*, 704, 135268. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135268>
- Tovilla, C. (2005). Agonía y desaparición de los ríos y humedales en la costa de Chiapas. *Ecofronteras*, 25, 5-8. <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/873/866>
- Ullah, K. A., Jiang, J., & Wang, P. (2018). Land use impacts on surface water quality by statistical approaches. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 4(2), 231–250. <http://dx.doi.org/10.22034/gjesm.2018.04.02.010>
- Vander Laan, J. J., Hawkins, C. P., Olson, J. R., & Hill, R. A. (2013). Linking land use, instream stressors, and biological condition to infer causes of regional ecological impairment in streams. *Freshwater Science*, 32 (3), 801–820. <https://doi.org/10.1899/12-186.1>
- Varis, O., Kummu, M., & Salmivaara, A. (2012). Ten major rivers in monsoon Asia-Pacific: an assessment of vulnerability. *Applied Geography*, 32(2), 441–454. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.003>
- Volonté, A., Campo, A., & Gil, V. (2015). Estado ecológico de la cuenca baja del arroyo San Bernardo, Sierra de la Ventana, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, 1(54), 135-151. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.1-54.6>
- Zhou, M., Xia, J., & Deng, S. (2019). One-dimensional modelling of channel evolution in an alluvial river with the effect of large-scale regulation engineering. *Journal of Hydrology*, 575, 965-975. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.074>