

Condición ecológica de las riberas en el río Huixtla, Chiapas, México

Ecological condition of the riverbanks of the Huixtla River, Chiapas, Mexico

Raisa Yarina Escalona-Domenech^{1,2}, Juan Manuel Villarreal-Fuentes^{2*}, Romeo de Jesús Barrios-Calderón³,
José Rubén García-Alfaro⁴

¹CONACYT, Estancia posdoctoral. C.P. 03940. Delegación Benito Juárez, Ciudad de México.

²Cuerpo Académico Agricultura Tropical Ecológica de la Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV.
C.P. 30660, Huehuetán, Chiapas, México.

³Grupo de Investigación en Sistemas Agrícola y Forestal, Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas.
C.P. 30660, Huehuetán, Chiapas, México.

⁴Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), Unidad Tapachula.
C.P. 30700 Tapachula, Chiapas, México.

*Autor de correspondencia: jmf@unach.mx, Tel. 9621218564

Resumen

El estado ecológico de las riberas es un elemento esencial en la gestión de una cuenca hidrográfica, dado que refleja la calidad del agua y del hábitat acuático. Este estudio evaluó la condición ecológica de las riberas en ocho sitios de muestreo del río Huixtla a través del índice de calidad ecológica de las riberas (RQI, por sus siglas en inglés); además, se determinaron parámetros físicoquímicos del agua. Las condiciones variaron de muy buenas hasta malas. El sitio S1 fue el de mejor calidad, observándose una franja de vegetación ribereña continua de amplitud y longitud considerable. Los sitios con pobre y mala condición presentaron vegetación ribereña en parches, muros de contención y cauce rectificado, suelo compactado y extracción de arena del río. Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros ríos similares que presentan alteración por actividades humanas, como el cambio de uso del suelo, el pastoreo y la rectificación del cauce. Se concluye que las riberas necesitan medidas de restauración para lograr recuperar sus condiciones hidrogeomorfológicas.

Palabras clave: Calidad del agua; cuencas hidrográficas; ecosistema fluvial; uso del suelo; vegetación ribereña.

Abstract

The ecological state of the riverbanks is an essential element in the management of a hydrographic basin, since it reflects the quality of the water and the aquatic habitat. This study evaluated the ecological condition of the banks at eight sampling sites of the Huixtla River through the riverside ecological quality index (RQI); moreover, physical-chemical parameters of the water were also determined. Conditions ranged from very good to bad. Site S1 was the best quality, observing a strip of continuous riparian vegetation of considerable width and length. The sites with poor and bad condition presented riparian vegetation in patches, retaining walls and rectified channel, compacted soil, and extraction of sand from the river. These results coincide with those obtained in other similar rivers that are altered by human activities such as change in land use, grazing, and channel rectification. It is concluded that the banks need restoration measures to recover their hydrogeomorphological conditions.

Keywords: Water quality, watersheds; river ecosystem; land use; riparian vegetation.

Recibido: 19 de febrero de 2024

Aceptado: 14 de junio de 2024

Publicado: 11 de septiembre de 2024

Cómo citar: Escalona-Domenech, R. Y., Villarreal-Fuentes, J. M., Barrios-Calderón, R. de J., & García-Alfaro, J. R. (2024). Condición ecológica de las riberas en el río Huixtla, Chiapas, México. *Acta Universitaria* 34, e4135. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2024.4135>

Introducción

En las cuencas hidrográficas, los ríos conforman corredores de gran valor ecológico, conectan las partes altas con las tierras bajas y su función principal es el transporte de agua, sedimentos, nutrientes y seres vivos (Rodríguez-Téllez *et al.*, 2016). En los ríos, las condiciones fisicoquímicas del agua, así como las condiciones del hábitat, deben permitir un buen desarrollo de las comunidades acuáticas (Grizzetti *et al.*, 2019; Orozco-González & Ocasio-Torres, 2023), lo cual es indicador de su condición ecológica.

La condición ecológica de un río está determinada por la estructura y función del sistema (Ortiz, 2019; Tang *et al.*, 2020). Se considera que una buena condición ecológica es aquella donde las comunidades biológicas son iguales o muy próximas a las que se encontrarían en condiciones naturales o inalteradas (Volonté *et al.*, 2015). Entre las principales causas que alteran la condición ecológica en los ríos están: deforestación de la vegetación ribereña para establecer pastos y agricultura anual o permanente (Suga & Tanaka, 2013); enriquecimiento en nutrientes del agua; eliminación o degradación del bosque de ribera (Escalona-Domenech *et al.*, 2022); rectificación y canalización de ríos (Tovilla, 2005); y alteraciones al régimen de caudales por la construcción de presas, diques y bordos (Gieswein *et al.*, 2017; Grill *et al.*, 2019).

Conocer el estado ecológico de un río y de sus riberas es un elemento esencial en la gestión de la cuenca hidrográfica dado que refleja la calidad del agua y del medio acuático (Meli *et al.*, 2017; Mendoza-Cariño *et al.*, 2023). Los resultados son útiles para ubicar tramos con mayor problema ecológico y tomar decisiones para el manejo y conservación de la cuenca (Volonté *et al.*, 2015). Lo anterior resulta de importancia pues la pérdida de los ecosistemas ribereños es uno de los principales problemas en las cuencas hidrográficas mexicanas (Cotler & Caire, 2009; Ortiz, 2019; Sunil *et al.*, 2010).

Para realizar un diagnóstico que detecte problemas actuales y futuros en las cuencas hidrográficas y sus ríos, se utilizan distintos índices, entre los que se encuentran: el índice de hábitat fluvial (IHF) (Pardo *et al.*, 2002), el índice de calidad del bosque de ribera ("Qualitat del Bosc de Ribera" [QBR]) (Munné *et al.*, 2003) y el índice de calidad riparia ("Riparian Quality Index" [RQI]) (González & García, 2011). Este último permite expresar la condición de las riberas o zona ribereña de los ríos a través de la evaluación de su estructura y funcionamiento (González & García, 2011). Además, proporciona opciones de manejo con base en las afectaciones detectadas en las riberas, lo cual es útil para iniciar la restauración en las mismas y con ello mejorar la condición del hábitat en el río (González & García, 2011).

Diversos estudios muestran la existencia de una relación muy estrecha entre la condición ecológica del hábitat y los factores abióticos evaluados en el río, como la temperatura del agua, el pH o la conductividad (Escalona-Domenech & Barrios-Calderón, 2023; Sarkis *et al.*, 2023; Tang *et al.*, 2020). Es por esto que las evaluaciones de calidad del hábitat deberían de acompañarse de estos parámetros básicos para conocer el efecto en las condiciones del hábitat ribereño.

Las cuencas hidrográficas de la región del Soconusco en Chiapas presentan una severa deforestación en sus márgenes, lo que conduce a una excesiva evaporación y calentamiento del agua, así como a la erosión de las riberas (Tovilla, 2005). Esta deforestación ocurre, fundamentalmente, hacia las partes media y baja de las cuencas, por el desarrollo de actividades agrícolas y ganaderas que provocan la eliminación y fragmentación de la vegetación ribereña, y con esto se afecta negativamente la buena condición de la zona ribereña (Escalona-Domenech *et al.*, 2022; Mendoza-Cariño *et al.*, 2014).

El río Huixtla, localizado en el Soconusco en Chiapas, cruza el municipio del mismo nombre de norte a sur, siendo el más importante y caudaloso escurrimiento fluvial de la zona (Instituto Estatal del Agua [IEA], 2012). La importancia de este río en la recarga del manto acuífero y la creciente necesidad de restaurar los ecosistemas fluviales en las cuencas hidrográficas de esta región motivó la realización de la presente investigación, la cual tuvo como objetivo: evaluar la condición ecológica de las riberas en la cuenca baja del río Huixtla a través del índice de calidad ecológica de las riberas (RQI), y valorar el comportamiento de algunos parámetros físicos y químicos del agua (temperatura, conductividad, pH y sólidos totales disueltos).

Con base en lo anterior, la hipótesis planteada fue: que en la parte baja de la cuenca la calidad de las riberas es mala debido a la presencia de cultivos agrícolas y actividades ganaderas que han propiciado la deforestación de la vegetación ribereña, la rectificación del cauce y la presencia de bordos, lo cual influye sobre los parámetros físicos y químicos del agua de los sitios analizados.

Materiales y métodos

Área de estudio

La cuenca Huixtla se localiza al sureste de México, en la región hidrológica 23 de la costa de Chiapas (Comisión Nacional del Agua [Conagua], 2018), se ubica en las coordenadas geográficas 15° 0.8' N y 92° 28' W (Figura 1). Esta tiene una superficie total de 820.11 km² (IEA, 2012). Territorialmente, abarca los municipios de Huixtla, Tuzantán, Motozintla y una pequeña parte de Tapachula y Huehuetán. El clima predominante es cálido húmedo (García, 1998). La precipitación media anual es de 2883 mm; en verano alcanza los 3800 mm, mientras que en la parte media de la cuenca alcanza el rango entre los 4000 mm y 4500 mm (IEA, 2012).

Los suelos son: acrisoles, cambisoles y solonchak (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2016). En la parte baja la vegetación es hidrófila, mientras que en la parte alta están presentes los tipos de vegetación bosque mesófilo de montaña y coníferas (Rzedowski, 1978). En cuanto al uso del suelo domina la agricultura de riego y temporal (INEGI, 2016). El río Huixtla es de 5º orden, y la longitud del cauce principal es de 39 km (IEA, 2012). El caudal promedio correspondiente a la temporada de lluvia (mayo-octubre) es de 22.28 m³/s, mientras que en secas (febrero-abril) disminuye a 4.3 m³/s (Haney & González, 2014).

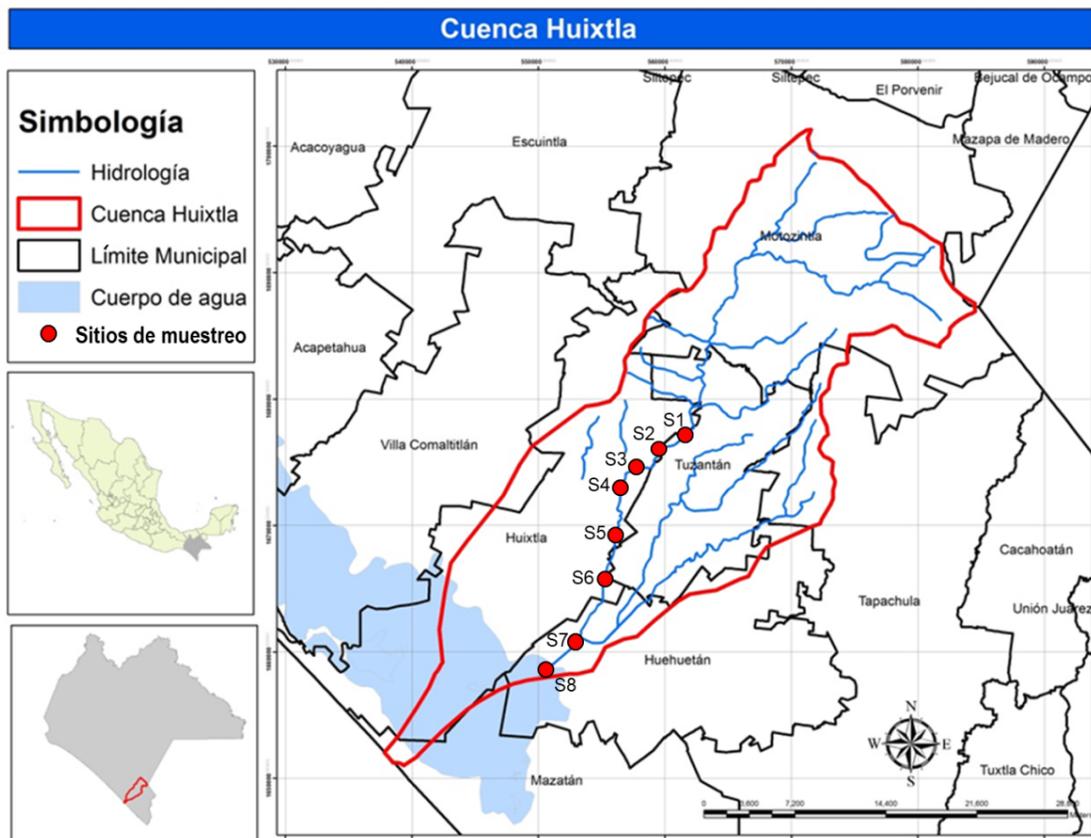


Figura 1. Localización del área de estudio y los ocho sitios muestreados en la cuenca del río Huixtla, Chiapas, México.
Fuente: Elaboración propia.

Ubicación de los sitios de muestreo

En la parte baja de la cuenca Huixtla se ubicaron ocho sitios para el muestreo, todos en la corriente principal (Figura 1); en cada sitio se identificó el tipo de cobertura vegetal, el uso del suelo y la altitud (Tabla 1). Para la ubicación de los sitios de muestreo se tomó en consideración la cercanía a zonas de cultivos y pastizales, puesto que la agricultura y la ganadería son las actividades económicas que predominan en esta parte de la cuenca, además de que existe la presencia de comunidades humanas, en este caso la cabecera municipal de Huixtla, la comunidad con mayor población en esta zona de la cuenca (53 245 habitantes) (INEGI, 2020).

El trabajo de campo se realizó en el mes de noviembre de 2022. En cada sitio se evaluó la condición ecológica en un transecto de 250 m donde se aplicó la metodología propuesta por González & García (2011); el método se describe más adelante. Además, en cada uno de los sitios se determinaron los siguientes parámetros físicos y químicos del agua: temperatura (T), pH, concentración de sólidos totales disueltos (SST) y conductividad eléctrica (CE).

Tabla 1. Características físicas de los sitios de muestreo en la cuenca del río Huixtla, Chiapas, México.

Sitios	Altitud (m. s. n. m.)	Cobertura vegetal	Uso del suelo
S1	119	Vegetación ribereña/Selvas	Selva mediana subperennifolia
S2	72	Vegetación ribereña/Vegetación secundaria	Muro de contención de inundación, Ganadería
S3	56	Herbáceas con árboles aislados	Poblado, agricultura, caminos
S4	41	Herbáceas con árboles aislados	Bordos de contención, extracción de material pétreo, caminos, puente
S5	28	Cultivos de palma africana	Bordos de contención, caminos, ganadería
S6	22	Parches de vegetación ribereña	Ganadería, caminos, bordos
S7	11	Herbáceas invasoras	Ganadería, caminos, bordos, cultivos
S8	10	Herbáceas invasoras	Cultivos de caña de azúcar, plátanos y palma africana, caminos, bordos

Fuente: Elaboración propia.

Condición ecológica de las riberas

Para la evaluación de la condición ecológica de las riberas se utilizó el índice de calidad de las riberas (RQI) propuesto por González & García (2011). El RQI constituye una herramienta práctica, confiable y de bajo costo para inferir la calidad de los ecosistemas acuáticos y sus riberas (Escalona-Domenech *et al.*, 2021; González & García, 2011; Ortiz, 2019). Este método integra siete atributos, cada uno con valor máximo de 15 puntos, los atributos son: 1) dimensiones del espacio ripario ocupado por vegetación asociada al río, 2) continuidad longitudinal de la vegetación leñosa ribereña, 3) composición y estructura de la vegetación ribereña, 4) regeneración natural de las principales especies leñosas, 5) condición de las orillas, 6) conectividad transversal del cauce con sus riberas y llanura de inundación, y 7) conectividad vertical a través de la permeabilidad y el grado de alteración de los materiales y relieve de los suelos riparios. Estos atributos son de fácil reconocimiento visual en el campo.

La evaluación de cada atributo del RQI se realizó de forma sistemática. Los tres primeros fueron caracterizados en cada orilla del río por separado y a cada una se le puede otorgar una puntuación mínima de un punto y la puntuación máxima de 15 puntos. Estos atributos determinan la estructura física del corredor ribereño; los cuatro restantes se caracterizaron conjuntamente en ambos márgenes de la ribera y pueden adquirir un valor máximo de 15 puntos y mínimo de un punto, los cuales expresan el funcionamiento de estos cuerpos de agua.

La calidad de las riberas de los ocho sitios (tramos de 250 m) en el río Huixtla se evaluó en el sistema de puntuación de 0 a 150, según lo indicado por el protocolo del RQI (González & García, 2011). En cada sitio la calidad de las riberas se determinó a partir de la puntuación obtenida de la sumatoria de los siete atributos, empleando las categorías sugeridas por González & García (2011) (Tabla 2).

Los resultados del RQI pueden representarse en cartografías de calidad, donde se puede relacionar el estado de cada tramo con las presiones e impactos existentes a diferentes escalas (cuenca, tramo de río o hábitat fluvial). Además, permite el diagnóstico de los principales problemas de las riberas, mediante el reconocimiento *in situ* de los efectos producidos en su estructura o funcionamiento, con lo que se contribuye de manera sustancial al diseño de estrategias para la restauración y conservación de la cuenca evaluada.

Tabla 2. Interpretación de los valores obtenidos con el RQI*.

Valor del RQI	Estado de la ribera
150-130	Muy bueno
129-100	Bueno
99-70	Moderado
69-40	Pobre
39-10	Malo
<10	Muy malo

*González & García (2011).
RQI: Índice de Calidad de la Ribera (Riparian Quality Index).
Fuente: Elaboración propia.

Parámetros físicos y químicos del agua

El muestreo de los parámetros físicos y químicos del agua: temperatura (T), pH, concentración de sólidos totales disueltos (SST) y conductividad eléctrica (CE), se realizó a través de una sonda multiparamétrica Hanna modelo HI-98130. La medición se realizó en los ocho sitios, directamente en el campo y por triplicado.

Estos parámetros se seleccionaron porque ejercen una influencia importante sobre la distribución de las comunidades acuáticas que habitan en el río, aunado a que son factores a los que los organismos son sensibles (Escalona-Domenech *et al.*, 2022; Gastezzi-Arias & Rincón, 2023). Adicionalmente, también fueron considerados por la relación que existe entre estos y la calidad del hábitat (Escalona-Domenech & Barrios-Calderón, 2023).

La comparación de los parámetros físicos y químicos del agua entre los sitios de estudio se realizó a través de un análisis de varianza (Anova), luego de que se cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Cuando el Anova fue significativo, se aplicó una prueba post hoc (Tukey) con un nivel de confianza del 95%. Para determinar la relación entre los parámetros físicos y químicos del agua con los atributos del RQI se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Ambos análisis se hicieron con el programa R versión 4.2.2 (R Development Core Team, 2023).

Resultados

Condición ecológica de las riberas

En los sitios evaluados se encontraron cuatro de los seis estados de las riberas que menciona el índice; las condiciones obtenidas en los sitios fueron desde muy buenas hasta malas (Tabla 3). El sitio que mostró mejor calidad fue el S1 (RQI = 137); en este sitio todos los atributos obtuvieron puntuaciones cercanas o iguales al máximo valor que indica el índice (15) (Tabla 4).

Tabla 3. Valores obtenidos en la evaluación del RQI en los ocho sitios de muestreo del río Huixtla, Chiapas, México.

Sitios	Tramo (m)	Valor del RQI	Estado de la Ribera	Altitud (m)	Coordenadas	
S1	250	137	Muy bueno	119	15°10'4.32"N	2°25'50.37"O
S2	250	85	Moderado	72	15° 9'23.36"N	2°26'49.41"O
S3	250	52	Pobre	56	15° 8'58.24"N	2°27'28.87"O
S4	250	39	Malo	41	15° 8'17.47"N	2°28'21.63"O
S5	250	58	Pobre	28	15° 6'12.65"N	2°28'46.26"O
S6	250	46	Pobre	22	15° 3'46.78"N	92°29'8.06"O
S7	250	40	Pobre	11	15° 1'14.00"N	2°30'33.56"O
S8	250	36	Malo	10	4°59'50.99"N	2°32'15.58"O

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Valores obtenidos por cada atributo del RQI en los ocho sitios muestreados en el río Huixtla, Chiapas, México.

Sitios	Dimensión del espacio ripario		Continuidad longitudinal		Composición y estructura de vegetación riparia		Regeneración Natural	Condición de las orillas	Conectividad transversal	Conectividad substrato y vertical
	Der.	Izq.	Der.	Izq.	Der.	Izq.				
S1	12	15	12	15	12	15	14	15	14	13
S2	8	8	8	8	8	8	8	11	6	12
S3	5	4	4	5	4	5	4	7	6	8
S4	3	3	3	3	3	3	3	5	6	7
S5	5	5	5	5	5	5	5	6	9	8
S6	5	5	4	4	4	4	4	6	5	5
S7	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
S8	3	3	4	4	3	4	3	4	4	4

Fuente: Elaboración propia.

En el sitio se observó una franja de vegetación ribereña continua con una amplitud y longitud considerable, donde coexisten especies comunes como *Andira inermis*, *Inga vera*, *Gurea* sp., *Lonchocarpus* sp. La vegetación de las laderas adenañas se compone de una selva mediana subperennifolia con estratos bien definidos, dosel superior arbóreo compuesto por *Ficus insípida*, *Bursera simaruba*, *Terminalia amazonia*, entre otros. No existen elementos de construcción o de otra índole que impidan la conectividad longitudinal y vertical del cauce principal con los restantes elementos del sistema fluvial (i.e., riberas, llanura de inundación y el medio hiporreico). Presenta orillas estables sin indicio de erosión y sin alteraciones del relieve y los suelos riparios.

El sitio S2 (RQI = 85) presentó una condición moderada. En este sitio las mayores afectaciones de la ribera se relacionan con la presencia de un muro de contención para inundaciones (bordo), el cual impide la conectividad lateral del río con su llanura de inundación, afectando a la regeneración de la vegetación ribereña. La vegetación en este tramo se presenta en parches de vegetación arbórea ribereña entremezclado o alternado con extensiones de pastos altos. Las especies arbóreas sobresalientes en ambos márgenes son: *Salix humboldtiana*, *Andira inermis*, *Tabebuia rosea*, *Inga vera* y *Ficus insípida*.

Los sitios S3 (RQI = 52), S5 (RQI = 58), S6 (RQI = 46) y S7 (RQI = 40) obtuvieron la condición pobre. En estos sitios, la vegetación ribereña se encuentra como pequeños parches donde predomina la existencia de elementos arbóreos aislados. Los elementos arbóreos más comunes son: *Salix humboldtiana* y *Ficus insípida*. Las hierbas son abundantes, principalmente pastos altos como *Penisetum purpureum* y *Panicum máximum*, establecidos en el borde de la corriente en ambos márgenes. En estos sitios existen otros impactos en la ribera que afectan negativamente la calidad del cauce: presencia de urbanización (S3), muro de contención de arena y cauce rectificado para evitar que la corriente inunde terrenos destinados a cultivos o ganadería (S3, S5, S6, S7).

Finalmente, los sitios S4 y S8 con una puntuación obtenida de RQI = 39 y RQI = 36, respectivamente, fueron los puntajes más bajos del índice y fueron clasificados con mala condición. En estos sitios se observó la compactación del suelo y la modificación del relieve y los materiales naturales del terreno, promoviendo el hundimiento del suelo.

En el sitio S4 se apreció la extracción de material arena y material pétreo del río, así como el tránsito de vehículos y maquinaria pesada, potreros adyacentes utilizados para ganadería y zonas de esparcimiento. Los pocos elementos arbóreos presentes de forma aislada tienen porte bajo; existen arbustos y abundan las hierbas, principalmente arvenses.

En el sitio S8 se observó el cauce de río completamente canalizado. En ambos márgenes del mismo existen grandes extensiones de cultivos de palma africana, plátano y caña de azúcar. Este sitio S8 está confinado dentro de la gran planicie de inundación costera, se encuentra a solo a tres kilómetros de los humedales permanentes de la costa y la desembocadura del río Huixtla hacia los manglares. En este tramo es casi nula la presencia de vegetación natural, solo se encuentran árboles aislados y elementos de vegetación secundaria, por ejemplo, *Cecropia* sp. y *Guazuma* sp.

Las condiciones pobres de los atributos del RQI predominaron en siete de los sitios muestreados (Figura 2). En el caso de la condición del sustrato y conectividad vertical, prevaleció la condición moderada. Solo un sitio (sitio S1) obtuvo condiciones muy buenas en todos los atributos del RQI.

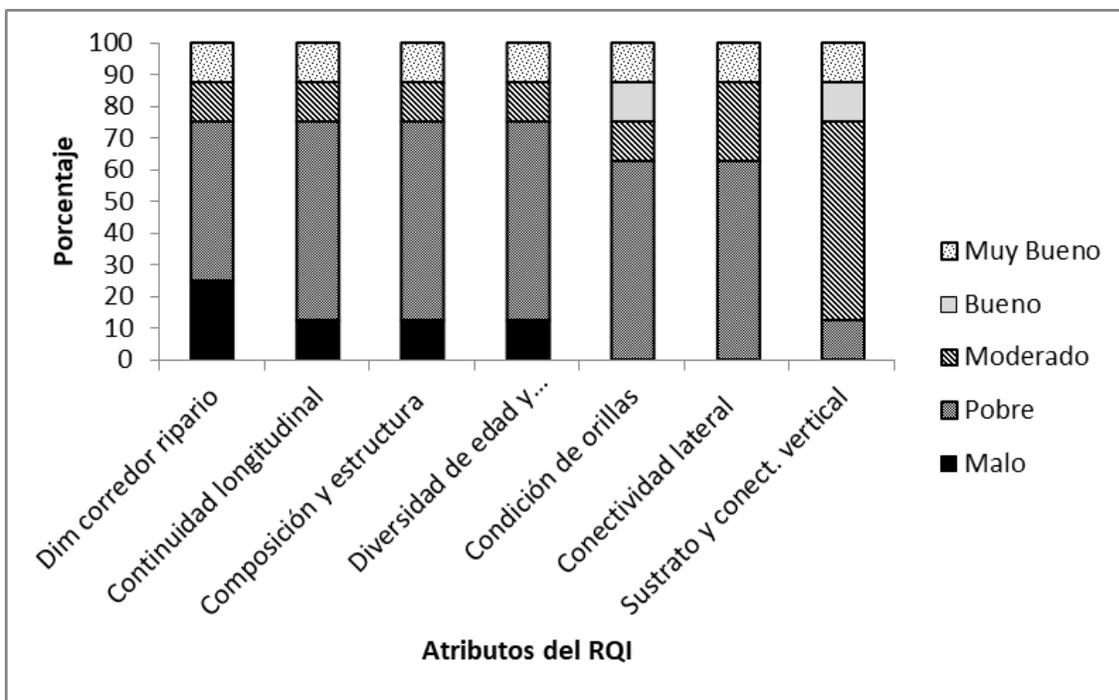


Figura 2. Estado de cada uno de los atributos del RQI (eje X) en el río Huixtla a partir de los muestreos realizados en los ocho sitios de muestreo (eje Y, representados en porcentajes) en el río Huixtla, Chiapas.
Fuente: Elaboración propia.

Parámetros físicos y químicos del agua

Los resultados de la medición de los parámetros físicos y químicos del agua en los sitios muestreados del río Huixtla se muestran en la Figura 3. Los valores obtenidos para la CE están expresados en miliSiemens/cm (mS/cm) y se pueden relacionar con la concentración de sales disueltas en el agua; en este caso, los valores indican una salinidad media (0.17-0.19 mS/cm), según la clasificación de Richards (1990). La temperatura (°C) mostró un comportamiento ascendente desde S1 (22.7 °C) hasta S8 (29.4 °C). Los resultados del pH indicaron valores cercanos a la neutralidad (S5, 7.2) y ligeramente alcalinos (S1, 7.76). Con relación a los sólidos totales disueltos, se encontraron valores promedio de 0.08 para S1, S2 y S8, mientras que en el resto mostró un valor de 0.09 ppt (Figura 3).

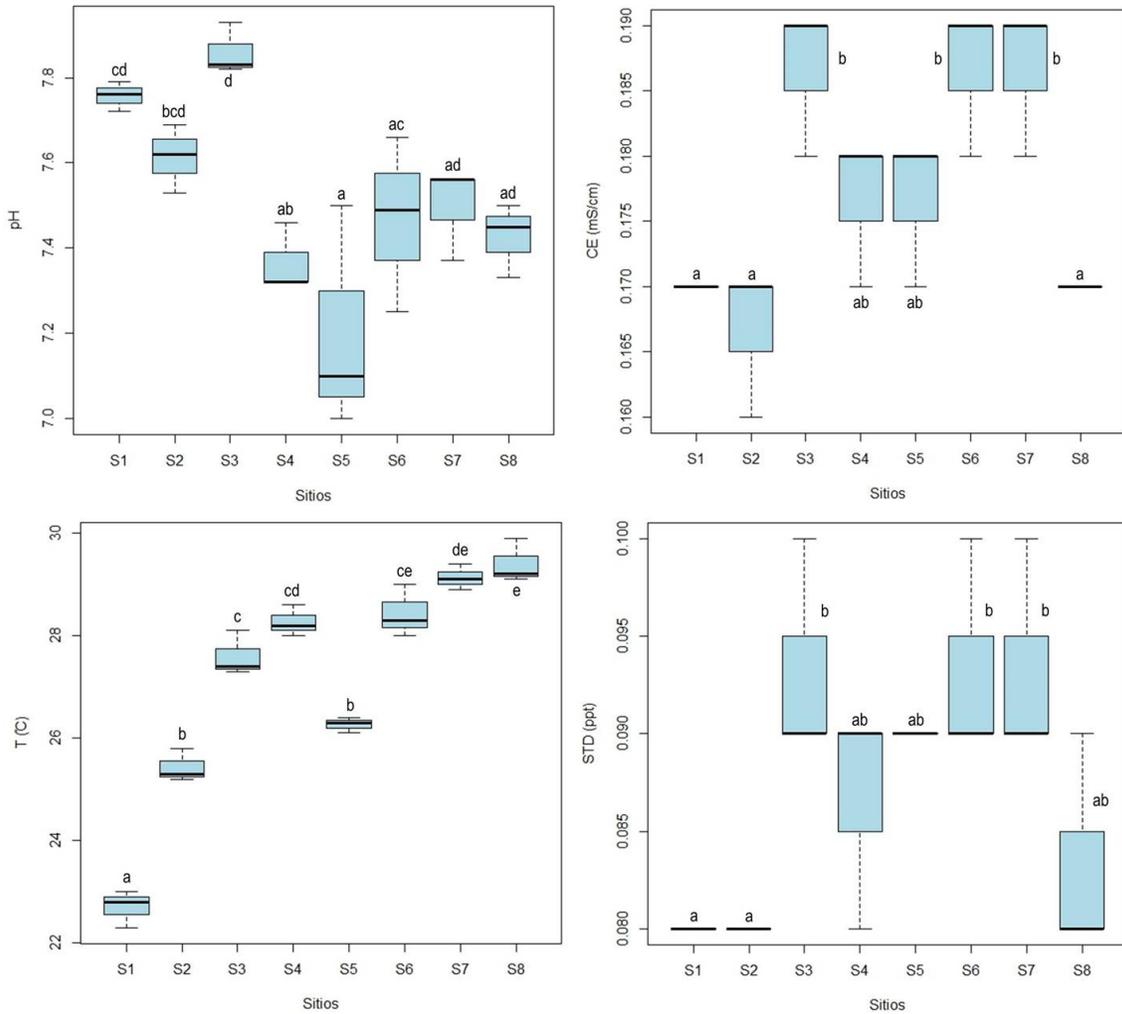


Figura 3. Resultados de la prueba Tukey-Kramer de los parámetros fisicoquímicos evaluados en los ocho sitios de muestreo del río Huixtla. Letras diferentes indican diferencias significativas. Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis de varianza realizado en los sitios de muestreo se muestran en la Figura 3. Se puede apreciar que existieron diferencias significativas entre los sitios evaluados en todos los parámetros analizados. El promedio de pH más bajo ocurrió en S5, con valores superiores para S3, que fue el más alto, siendo ambos sitios diferentes al resto de los evaluados en el estudio. En cuanto a la CE, los sitios S1, S2 y S8 obtuvieron los valores más bajos y fueron diferentes a S3, S6 y S7, que obtuvieron los valores más altos (Figura 3). Con relación a la temperatura, los valores más bajos ocurrieron en S1, mientras que los más altos ocurrieron en S8. Los valores de STD fueron diferentes entre los sitios S1 y S2 con respecto a S3, S6 y S7, mientras que el resto fueron similares tanto a los primeros como a los segundos (Figura 3).

El ACP (Figura 4) muestra la relación entre los parámetros físicos y químicos del agua con los atributos del RQI en los ocho sitios de muestreo, con una proporción de varianza acumulada en los dos primeros componentes del 88%. El componente principal 1 (CP1) indicó una proporción acumulativa de varianza del 76.2%, mientras que el CP2 muestra el 11.8% de varianza acumulada (Tabla 5). Ambos componentes mostraron que las variables físicas y químicas y las del RQI separan los sitios según la condición ecológica. Las variables continuidad longitudinal (CL), composición y estructura de vegetación riparia (CEVR), regeneración natural (RN), condición de las orillas (CO), dimensión del espacio ripario (DER) y conectividad vertical y substrato (CVS) constituyen una mejor condición ecológica en los sitios 1 y 2. Las variables CE y los STD separaron a los sitios S6 y S7 en el CP2 (Tabla 6).

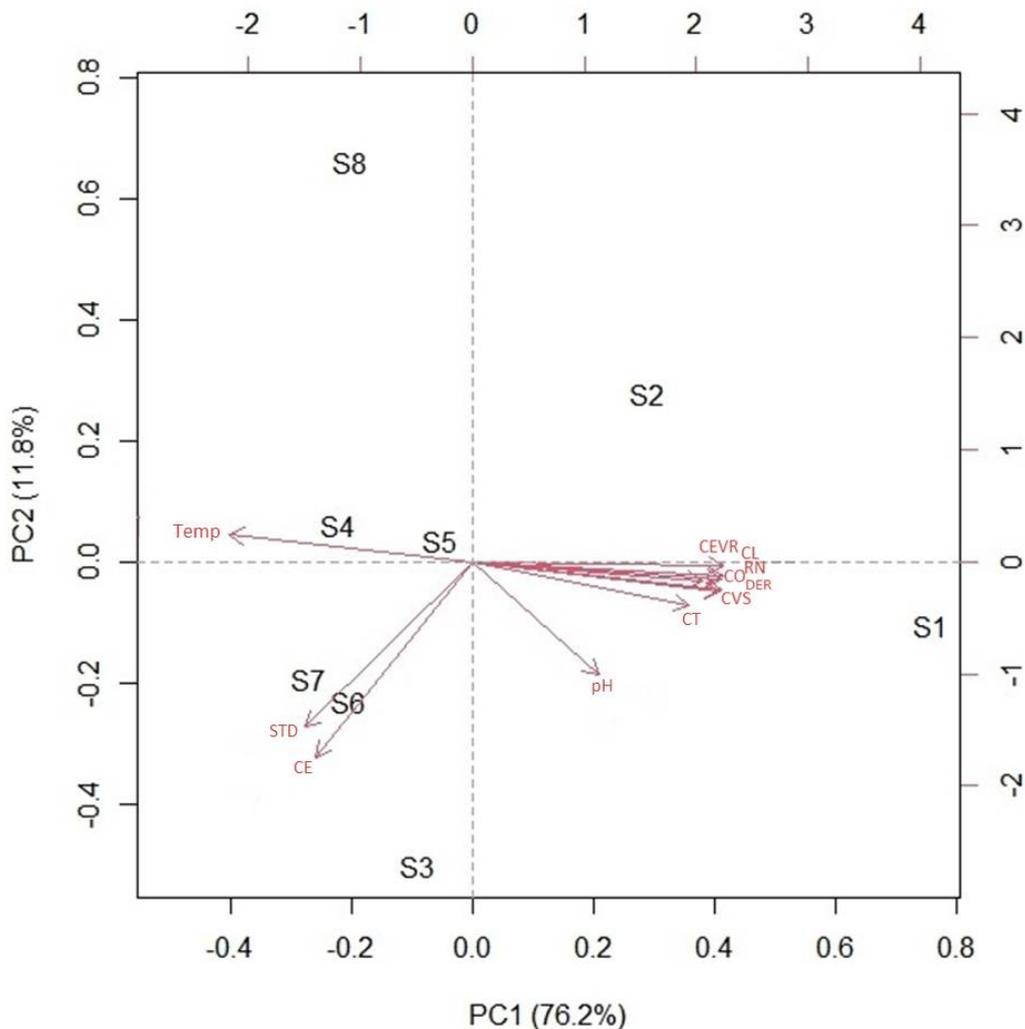


Figura 4. Análisis de componentes principales para los ocho sitios de muestreo del río Huixtla, en relación con los atributos del RQI (Dimensión del espacio ripario, DER; Continuidad longitudinal, CL; Composición y estructura de vegetación riparia CEVR; Regeneración natural, RN; Condición de las orillas, CO; Conectividad transversal, CT; Conectividad substrato y vertical, CVS) y los parámetros físicos y químicos del agua (Temperatura, Temp; sólidos totales disueltos, STD; conductividad, CE; potencial de Hidrógeno, pH).
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. Tabla resumen del análisis de componentes principales para las variables del RQI y los parámetros físicos y químicos del agua en los ocho sitios de muestreo en el río Huixtla.

Componente Principal	Eigenvalor	Porcentaje de variación explicada	Porcentaje acumulado
PC 1	28.95	76.2	76.2
PC 2	11.40	11.82	88.02
PC 3	9.36	7.97	95.99
PC 4	5.39	2.644	98.632
PC 5	3.55	1.148	99.78
PC 6	1.18	0.127	99.907

Nota. Se muestran los primeros seis componentes principales, sus eigenvalores, el porcentaje de variación explicada por cada componente y el porcentaje acumulado.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. *Loadings* de los dos primeros componentes principales, los cuales constituyen el mayor porcentaje de varianza explicada para cada una de las variables evaluadas en los ocho sitios de muestreo en el río Huixtla.

Variable	PC 1	PC 2
pH	0.4955518	-0.44774859
CE	-0.6175583	-0.77030068
STD	-0.6598421	-0.65128643
Temp.	-0.9613351	0.10708424
DER	0.9765057	-0.12078992
CL	0.9885937	-0.01819460
CEVR	0.9888481	-0.05602897
RN	0.9835522	-0.06660830
CO	0.9815723	-0.10949491
CT	0.8561678	-0.17349261
CVS	0.9073337	-0.07467309

DER, Dimensión del espacio ripario; CL, Continuidad longitudinal; CEVR, Composición y estructura de vegetación riparia; RN, Regeneración natural; CO, Condición de las orillas; CT, Conectividad transversal; CVS, Conectividad substrato y vertical; Temp, Temperatura; STD, sólidos totales disueltos; CE, conductividad eléctrica, pH, potencial de Hidrógeno.

Fuente: Elaboración propia.

Discusión

La cuenca del río Huixtla está modificada por el cambio de uso del suelo, la construcción de bordos de protección contra la inundación y el proceso de rectificación del río, todo lo cual conduce a la disminución de la condición ecológica de las riberas. Esto se debe a la eliminación de la vegetación ribereña, la disminución de la conectividad lateral del cauce con la llanura de inundación y la modificación de los procesos naturales de sedimentación y erosión de los márgenes del río.

El patrón de impacto negativo registrado en la parte baja del área de estudio coincide con el reportado por Escalona-Domenech *et al.* (2022), quienes desarrollaron un estudio similar en la cuenca del río Margaritas, localizada en la región aledaña a los sitios evaluados en el presente estudio.

La buena condición ecológica registrada en el S1 pudiera atribuirse a la presencia de vegetación ribereña en buen estado de conservación, así como a la continuidad del recurso florístico aledaña de las laderas cercanas a la zona ribereña. El buen estado de la vegetación ribereña en el ecosistema fluvial es importante para su buena condición, ya que la vegetación riparia densa y bien estructurada permite el amortiguamiento del flujo y retención de nutrientes y humedad del suelo (Becerra, 2013; Elosegui, 2009). Tomando en cuenta este resultado, este sitio puede servir de referencia para la restauración ecológica de los otros tramos del río donde se encontraron malas y pobres condiciones (Meli *et al.*, 2013).

En contraste, los resultados obtenidos en sitios con pobre o mala condición de la ribera se atribuyen a la falta de vegetación ribereña natural, reemplazada por el desarrollo de pastos y cultivos agrícolas (palma de aceite y caña de azúcar). Así mismo, la presencia de muros de contención, el cauce rectificado y el tránsito de vehículos pesados para extraer arena y grava del cauce del río, son elementos que determinan la mala y pobre condición ecológica del lugar. Estas actividades disminuyen la estabilidad de las orillas y provocan la erosión de los suelos ribereños, así como la pérdida de conexión entre el cauce y la llanura de inundación con la consiguiente modificación de la dinámica de los sedimentos y la recarga de los acuíferos (Sabater *et al.*, 2009).

Por otro lado, la pérdida en la conectividad lateral (observada en los sitios con pobres y malas condiciones) es provocada por la construcción de los bordos o muros de contención, lo cual afecta el intercambio de agua, sedimentos, nutrientes y organismos entre el cauce y las riberas que son importantes para el buen funcionamiento del ecosistema fluvial (Granados-Sánchez *et al.*, 2006; Magdaleno 2013). En otras palabras, el buen estado de las riberas requiere que se produzcan episodios periódicos de crecida o pulsos de inundación que permitan el flujo del recurso hídrico (Junk *et al.*, 1989).

También, el acceso incontrolado hacia las franjas ribereñas por parte de actividades de pastoreo, como se observó en la mayoría de los sitios con pobre y mala condición, pueden conducir a un sobrepastoreo, pisoteo, modificación de la estructura del suelo y contaminación del agua con nutrientes ricos en orina y heces fecales procedentes del ganado, que, unido a episodios de incendios e invasión de arvenses o plantas exóticas, degradan la franja ribereña y conducen a la eliminación de la vegetación de la orilla del río (Gantes *et al.*, 2014; Morocho *et al.*, 2018). El resultado de lo anterior es la modificación de todas las dimensiones del sistema fluvial y con ello la pérdida de su buena condición (Hernández *et al.*, 2020).

Las diferencias encontradas entre los sitios en relación con los parámetros físicos y químicos del agua pueden explicarse por las diferencias en la estructura de las riberas entre los sitios con relación al estado de la vegetación ribereña. Se ha demostrado que la pérdida de vegetación en las orillas de los ríos implica la ausencia de sombra y de hojas que caen en el agua, lo cual cambia la composición química de esta (Magdaleno, 2013; Meli & Carrasco-Carballido, 2011). La vegetación ribereña amortigua el ingreso de sedimentos y contaminantes a los cursos de agua y disminuye la temperatura del agua por sombreado, lo que repercute en la estructura y la dinámica de los diferentes niveles tróficos (Sabater *et al.*, 2009) y afectan la integridad ecológica de los sistemas acuáticos (Kutschker *et al.*, 2009; Miserendino *et al.*, 2011). Además, se ha encontrado que existe una relación negativa entre los estresores (hidromorfología, nutrientes y materia orgánica, y toxicidad química) y el buen estado ecológico, lo cual incide sobre las comunidades de fauna acuática en los ríos (Sarkis *et al.*, 2023). Por ejemplo, se ha demostrado que las comunidades de macroinvertebrados acuáticos reflejan la calidad de los ecosistemas acuáticos, pues la mayor diversidad de estos se encuentra en ríos y arroyos limpios con agua bien oxigenada, mientras que en ambientes contaminados la composición y la riqueza de los mismos disminuye (Orozco-González & Ocasio-Torres, 2023).

En el río Usumacinta, Olea-Olea *et al.* (2022) encontraron que la influencia de las actividades antrópicas es marcada en la estación seca y difusa en la estación lluviosa debido al aumento del caudal en el río, lo cual es muy similar a lo que sucede en el río Huixtla. Tal y como lo señalan Manalu & Harahap (2021), la temperatura es una variable importante que determina la solubilidad de las sustancias en el agua, por lo que tendrá efecto en el valor del pH. Aunque los resultados del pH muestran un nivel de alcalinidad similar, el S3 presenta el pH mayor estadísticamente con respecto a los demás sitios. Sin embargo, el rango de temperatura registrado entre 20 °C y 30 °C es apropiado para las regiones tropicales y adecuado para las condiciones de vida de microorganismos como eubacterias, hongos y protistas (Napolitano & Shain, 2005).

La relación que presenta la temperatura con el pH en el presente estudio es muy parecida a la reportada por Manalu & Harahap (2021) en el río Pandayangan, en la provincia de Sumatra del Norte en Indonesia, particularmente la temperatura y pH del S3, donde se reportaron valores similares a los de la estación 1 del río Pandayangan (27.8 °C y pH de 7.8). En otro estudio realizado en el río Pery, en el estado de Paraná en Brasil, por Gonçalves *et al.* (2019), se encontraron valores de pH con una variación entre 6.45 y 7.20 durante dos épocas de muestreo; sin embargo, en el sitio 8 los autores reportan valores de pH muy bajos (alta acidez) en las dos temporadas, lo que indica lixiviación y solubilización de ácidos que desembocan en el río y lo contaminan.

Lo anterior muestra que los valores de pH del río Huixtla presentan niveles normales; sin embargo, en temporada de lluvia los valores de pH pueden disminuir derivado a la presencia de sólidos disueltos que contaminan el río. Por ejemplo, en Indonesia, el río Cipeusing presenta altos niveles de acidez derivado de la presencia de desechos originados de la industria textil (Suriadikusumah *et al.*, 2021).

La concentración de sólidos totales disueltos (STD) presentó valores muy bajos y similares entre los sitios evaluados en el río Huixtla. Esto indica un bajo nivel de contaminación de las aguas asociadas a las actividades agrícolas y el uso de agroquímicos, pesticidas, producción de estiércol y otros residuos sólidos, tal y como lo indican Ferat *et al.* (2020) en un estudio realizado en el río Usumacinta, México. De esta manera, la agricultura, además de NO_3^- , también descarga Na^+ , Cl^- y HCO_3^- , que están altamente correlacionados con los STD (Jalali, 2009).

El mantenimiento del bosque ribereño constituye un componente integral de las estrategias de manejo para la conservación de la biodiversidad, la calidad del agua y la buena condición en las cuencas hidrográficas (Mendoza-Cariño *et al.*, 2023). Es por ello que resulta fundamental sostener una buena calidad de los bosques ribereños en el río Huixtla y sus tributarios a través de la restauración ecológica de los sitios evaluados aquí, los cuales presentaron mala y pobre condición.

En relación con la rehabilitación y opciones de manejo que pudieran emplearse, el propio RQI ofrece sugerencias de manejo en dependencia del estado detectado en cada sitio. Algunas de las recomendaciones a las que hace referencia el RQI son: reintroducir o mejorar gradualmente las funciones riparias tanto las hidrológicas como las ecológicas y eliminar o reducir las presiones o actividades que propician la degradación de la vegetación ribereña (González & García, 2011).

Conclusiones

El objetivo del estudio se cumplió. Se concluye que la calidad de las riberas en la cuenca baja del río Huixtla es mala debido a la escasez de vegetación ribereña y al cambio de uso del suelo a pastos y cultivos agrícolas, por lo que se acepta la hipótesis planteada al inicio de la investigación. Otros elementos que se observaron y propiciaron la mala calidad de la zona ribereña fueron: la erosión en las orillas, la pérdida de la conectividad transversal del cauce con la llanura de inundación y la conectividad vertical, debido a procesos de urbanización, presencia de caminos y bordos. Los parámetros físicos y químicos del agua variaron entre los sitios, lo cual está relacionado con la calidad de las riberas reportada en la zona. El rango de temperatura reportado es adecuado para el desarrollo de las comunidades acuáticas, mientras que el pH indicó aguas cercanas a la neutralidad y ligeramente alcalinas. Finalmente, se recomienda implementar acciones de restauración ecológica en las riberas que conlleven a la recuperación de sus condiciones hidrogeomorfológicas, por ejemplo: reforestación de la vegetación ribereña con especies nativas, eliminación de las arvenses y eliminación de los bordos y el control del acceso de equipos pesados a la zona ribereña.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada para hacer estancia posdoctoral a la primera autora de este trabajo; a la Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas, por haber brindado sus instalaciones para la realización del trabajo; a la Dra. Dulce María Infante Mata de El Colegio de la Frontera Sur (Ecosur), por las facilidades de equipos otorgadas para la realización de este trabajo; a la MSc. Dulce Thelma González Castillo por su acompañamiento en el trabajo en campo.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Gastezzi-Arias, P., & Rincón, J. E. (2023). Composición de los macroinvertebrados según la calidad del agua en turberas de altura, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 71(1), 53.
<http://dx.doi.org/10.15517/rev.biol.trop.v71i1.54605>
- Becerra, C. (2013). *Flora y vegetación ribereña en la Reserva Nacional Trapananda, Región de Aysén, Chile* [Tesis de licenciatura]. Universidad Austral de Chile.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2018). *Atlas del agua en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). [Contexto geográfico y socioeconómico, la división hidrológico-administrativa de México, la disponibilidad nacional del agua, la precipitación pluvial, y la ubicación geográfica de ríos, cuencas y acuíferos mexicanos.]
https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html
- Cotler, H., & Caire, G. (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. INE-Semarnat.
- Elosegui, A. S. (2009). La vegetación terrestre asociada al río el bosque de ribera. En S. Sabater & A. Elosegui (eds.), *Conceptos y técnicas en la ecología fluvial*.
https://www.fbbva.es/microsites/ecologia_fluvial/pdf/cap_17.pdf
- 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>

- Escalona-Domenech, R. Y., Infante-Mata, D., García-Alfaro, J. R., Ramírez-Marcial, N., Ortiz-Arrona, C. I., & Barba-Macías, 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, 37-56.
<https://doi.org/10.20937/rica.54092>
- Escalona-Domenech, R. Y., Infante-Mata, D., García-Alfaro, J. R., Ramírez-Marcial, N., Ortiz-Arrona, C. I., & 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, 1-22.
<https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3526>
- Ferat, M. A., Galaviz, I., & Partida, S. (2020). Evaluation of nitrogen and total phosphorus in agricultural runoff in the lower basin of the Usumacinta River (Tabasco, Mexico). *Ecosistemas*, 29(1), 1879.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.1879>
- Gantes, P., Falco, L., & Sánchez, A. (2014). Efecto del ganado sobre la estructura de la vegetación en las riberas de un arroyo pampeano. *Biología Acuática*, (30), 123-131.
<https://revistas.unlp.edu.ar/bacuatica/article/view/7634>
- García, E. (1988). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana)*. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gieswein, A., Hering, D., & Feld, C. K. (2017). Additive effects prevail: The response of biota to multiple stressors in an intensively monitored watershed. *Science of the Total Environment*, 593, 27-35.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.116>
- Gonçalves, G. L., Carneiro, A. C., Carvalho, H., & Caetano, J. R. (2019). Physical-chemical parameters evaluation of Pery River Waters in Pontal do Paraná, PR. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology (IOSR-JESTFT)*, 13(6), 69-78. <https://doi.org/10.9790/2402-1306026978>
- González, M., & García, D. (2011). Riparian Quality Index (RQI): a methodology for characterizing and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica*, 30(2), 235-254.
<https://doi.org/10.23818/limn.30.18>
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á., & López-Ríos, G. F. (2006). Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 12(1), 55-69.
<https://www.redalyc.org/pdf/629/62912107.pdf>
- Grill, G., Lehner, B., Thieme, M., Geenen, B., Tickner, D., Antonelli, F., Sabu, S., Borrelli, P., Cheng, L., Crochetiere, H., Macedo, H. E., Filgueiras, R., Goichot, M., Higgins, J., Hogan, Z., Lip, B., McClain, M. E., Meng, J., Mulligan, M., ... & Zarfl, C. (2019). Mapping the world's free-flowing rivers. *Nature*, 569(7755), 215-221.
<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1111-9>
- Grizzetti, B., Liqueste, C., Pistocchi, A., Vigiak, O., Zulian, G., Bouraoui, F., De Roo, A., & Cardoso, A. C. (2019). Relationship between ecological condition and ecosystem services in European rivers, lakes and coastal waters. *Science of the Total Environment*, 671, 452-465. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.155>
- Haney, J., & González, A. (2014). Estudio de caudales ecológicos en las cuencas costeras de Chiapas. *Informe técnico Fase II. The Nature Conservancy*. Ciudad de México, México, 83 pp.
- Hernández, O., Mancilla, O. R., Palomera, C., Olguín, J. L., Flores, H., Can, Á., Ortega, H. M., & Sánchez, E. I. (2020). Water and riverbank quality assessment in two tributary basins of the Tuxcacuesco river, Jalisco, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 36(3), 689-701.
<https://doi.org/10.20937/RICA.53595>
- Instituto Estatal del Agua (IEA). (2012). *Plan de gestión integral de la cuenca del Río Huixtla*.
https://issuu.com/inesachiapas/docs/plan_de_gesti_n_del_r_o_huixtla
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). *Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250000. Serie VI*.
<http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s6gw.html>
- Jalali, M., (2009). Geochemistry characterization of groundwater in an agricultural area of Razan, Hamadan, Iran. *Environmental Geology*, 56, 1479-1488. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1245-9>
- Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 106(1), 110-127.

- Kutschker, A., Brand, C., & Miserendino, M. L. (2009). Evaluación de la calidad de los bosques de ribera en ríos del NO del Chubut sometidos a distintos usos de la tierra. *Ecología Austral*, 19(1), 19-34. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1667-782X2009000100002&script=sci_arttext&tlng=pt
- Magdaleno, F. (2013). *Las riberas fluviales*. https://www.researchgate.net/publication/256993717_Las_riberas_fluviales/link/0deec5242b4d9eaf52000000/download?_tp=eyJjb250ZXh0ljp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
- Manalu, B. N., & Harahap, A. (2021). The study of quality of the river Pandayangan in his review of the factors of physical-chemical. *Budapest International Research and Critics Institute-Journal (BIRCI-Journal)*, 4(1), 1236-1241. <https://doi.org/10.33258/birci.v4i1.1741>
- Mendoza-Cariño, M., Cruz-Flores, G., & Mendoza, D. (2023). Salud de los bosques de galería y de los ecosistemas ribereños. *Madera y Bosques*, 29(1), 1-15. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912387>
- Meli, P., & Carrasco-Carballido, V. (2011). *Restauración ecológica de riberas: manual para la recuperación de la vegetación ribereña en arroyos de la Selva Lacandona*. http://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/versiones_digitales/RestRiberas.pdf
- Meli, P., Martínez-Ramos, M., & Rey-Benayas, J. M. (2013). Selecting species for passive and active riparian restoration in Southern Mexico. *Restoration Ecology*, 21(2), 163-165. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00934.x>
- Meli, P., Ruiz, L., Aguilar, R., Rabasa, A., Rey-Benayas, J. M., & Carabias, J. (2017). Bosques ribereños del trópico húmedo de México: un caso de estudio y aspectos críticos para una restauración exitosa. *Madera y Bosques*, 23(1), 181-193. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311118>
- Mendoza-Cariño, M., Quevedo-Nolasco, A., Bravo-Vinaja, A., Flores-Magdaleno, H., de la Isla de Bauer, M. L., Gavi-Reyes, F., & Zamora-Morales, B. P. (2014). Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva ley general de aguas de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(4), 407-414. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992014000400010&script=sci_arttext
- Miserendino, M. L., Casaux, R., Archangelsky, M., Di Prinzio, C. Y., Brand, C., & Kutschker, A. M. (2011). Assessing land-use effects on water quality, in-stream habitat, riparian ecosystems and biodiversity in Patagonian northwest streams. *Science of The Total Environment*, 409(3), 612-624. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.10.034>
- Morocho, F., Santín, J., Ruiz, L., Alvarado-Jaramillo, V., & Rengel, E. (2018). Evaluación de la calidad de las riberas en cuencas prioritarias del cantón Loja, provincia de Loja, Ecuador. *Bosques Latitud Cero*, 8(2), 91-106. <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/502>
- Munné, A., Prat, N., Solà, C., Bonada, N., & Rieradevall, M. (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>
- Napolitano, M. J., & Shain, D. H. (2005). Distinctions in adenylate metabolism among organisms inhabiting temperature extremes. *Extremophiles*, 9(2), 93-98. <https://doi.org/10.1007/s00792-004-0424-1>
- Olea-Olea, S., Alcocer, J., Armienta, M. A., & Oseguera, L. A. (2022). Geochemical modeling unravels the water chemical changes along the largest Mexican river. *Applied Geochemistry*, 137, 105157. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105157>
- Orozco-González, C. E., & Ocasio-Torres, M. E. (2023). Aquatic macroinvertebrates as bioindicators of water quality: a study of an ecosystem regulation service in a tropical river. *Ecologies*, 4(2), 209-228. <https://doi.org/10.3390/ecologies4020015>
- 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.
- Pardo, I., Álvarez, M., Casas, J., Moreno, J. L., Vivas, S., Bonada, N., Alba-Tercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Moyá, G., Prat, N., Robles, S., Suárez, M. L., Toro, M., & Vidal-Abarca, M. R. (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*, 21(3-4), 115-133. <https://limnetica.net/documentos/limnetica/limnetica-21-2-p-115.pdf>
- R Development Core Team. (2023). *R. A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/4.2.2>

- Richards, L. A. (1990). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual No. 60. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América*. Limusa.
- Rodríguez-Téllez, E., García-De-Jalón, D., Pérez-López, M. E., Torres-Herrera, S. I., Ortiz-Carrasco, R., Pompa-García, M., Morales-Montes, M., García-García, D. A., Zamudio-Castillo, E., & Vázquez, L. (2016). Caracterización de la calidad ecológica del bosque de galería del río La Saucedá, Durango, México. *Hidrobiológica*, 26(1), 35-40. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-88972016000100006&script=sci_arttext
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa.
- Sabater, S., Donato, J., Giorgi, A., & Elosegui, A. (2009). La importancia del caudal. En S. Sabater & A. Elosegui (eds.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. () Fundación BBVA.
- Sarkis, N., Geffard, O., Souchon, Y., Chandesris, A., Ferréol, M., Valette, L., Francois, A., Piffady, J., Chaumot, A., & Villeneuve, B. (2023). Identifying the impact of toxicity on stream macroinvertebrate communities in a multi-stressor context based on national ecological and ecotoxicological monitoring databases. *Science of The Total Environment*, 859, 160179. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160179>
- Suga, C. M., & Tanaka, M. O. (2013). Influence of a forest remnant on macroinvertebrate communities in a degraded tropical stream. *Hydrobiologia*, 703, 203-213. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1360-1>
- Sunil, C., Somashekar, R. K., & Nagaraja, B. C. (2010). Riparian vegetation assessment of Cauvery River basin of South India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170, 545-553. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1256-3>
- Suriadikusumah, A., Mulyani, O., Sudirja, R., Trinurani, E., Rizki, M. H., & Mulyono, A. (2021). Analysis of the water quality at Cipeusing river, Indonesia using the pollution index method. *Acta Ecologica Sinica*, 41(3), 177-182. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2020.08.001>
- Tang, T., Stevenson, R. J., & Grace, J. 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. H. (2005). Agonía y desaparición de los ríos y humedales en la costa de Chiapas. *Ecofronteras*, 5-8. <https://revistas.ecosur.mx/ecofronteras/index.php/eco/article/view/873>
- Volonté, A., Campo, A. M., & 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. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/117562>