



CONSERVACIÓN DE DOS RÍOS EN
LOS TUXTLAS, VERACRUZ: LA APLICACIÓN
DE ÍNDICES DE INTEGRIDAD BIÓTICA

Fernando Álvarez^{1*}
Gema Armendáriz¹
Blanca Jiménez¹
Lilia Millán¹
Juan Carlos Ojeda¹
José Luis Villalobos¹

¹ Colección Nacional de Crustáceos, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 Ciudad de México, México.

*Autor para correspondencia: fvarez@unam.mx

Resumen

Se presenta un análisis integrado de dos estudios en los que se propusieron índices de integridad biótica (IIB) para dos ríos con condiciones contrastantes en la región de los Tuxtlas, Veracruz. Se eligieron el río Máquinas, que nace en la laguna Escondida dentro de la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas y que desemboca en el golfo de México en la playa de Montepío, y el río Las Margaritas que nace en las estribaciones de la Sierra de Santa Marta y desemboca al lago de Catemaco en su porción sureste. Se identificó un total de 60 especies de crustáceos, moluscos y peces, que se clasificaron por su tipo de alimentación, hábitos y origen. Se construyó un IIB para cada río y los cálculos resultantes indicaron que ambos ríos tienen una condición “buena”. Se discute la importancia de encontrar a las especies endémicas de la región coexistiendo con especies introducidas y se concluye que ambos ríos pueden todavía conservar una alta riqueza de especies e integridad de sus interacciones.

Introducción

A principios de la década de los ochenta, ante la falta de una aproximación metodológica que complementara las evaluaciones físico-químicas de los cuerpos de agua continentales, en especial de ríos, se desarrolló la idea de utilizar la integridad de las comunidades bióticas para evaluar su estado de conservación (Karr, 1981; Fausch *et al.*, 1984). La idea se basó en la premisa de que sólo la cuantificación de contaminantes y la estimación de parámetros de calidad del agua no eran suficientes para conocer el estado real de salud de los cuerpos de agua. Los contaminantes pueden diluirse a lo largo del curso del río o pueden interactuar con otros compuestos y volverse difíciles de detectar. Por otra parte, el análisis físico-químico del agua no toma en cuenta los efectos de los contaminantes sobre los seres vivos, sobre el mantenimiento de las tramas tróficas o el funcionamiento ecosistémico.

Karr (1981) presentó por primera vez un método por medio del cual se podría evaluar y monitorear el estado de salud de un río basado en el análisis de la comunidad de peces, a lo que le llamó “Índice de Integridad Biótica” (IIB).

La elección de los peces se basó en que son un grupo muy diverso que presenta una gran variedad de hábitos, de tipos tróficos, y son relativamente fáciles de identificar. En ellos se pueden seguir cambios poblacionales, generalmente se encuentran en todos los cuerpos de agua y algunas especies pueden tener interés comercial o deportivo. Aquí vale la pena mencionar que en los Estados Unidos se tiene una diversidad muy alta de peces dulceacuícolas (> 800 especies; Leveque *et al.*, 2008) que además presentan también una diversidad muy alta de hábitos y espectros tróficos. En comparación para México se han registrado 505 especies de peces (Espinosa-Pérez, 2014).

La integridad biótica ha sido definida como “la capacidad de un ecosistema para soportar y mantener una comunidad adaptada, integrada y balanceada de organismos que tienen una composición de especies, diversidad y organización funcional comparable a los hábitats naturales de la región”. La integridad biótica de un sitio es una medida de su estado de salud, la cual está asociada con las poblaciones de las especies nativas que interactúan y siguen los procesos naturales y funcionales de la comunidad. En esencia, el cálculo del IIB toma en cuenta la presencia de todos los tipos posibles de especies (riqueza) y su abundancia en una localidad del río. El valor obtenido clasifica entonces al río desde un estado “excelente” hasta “muy pobre” o “sin peces”. Como cada río o cuerpo de agua tiene una fauna específica, el método es aplicable en cada nueva localidad tomando en cuenta las especies particulares y el papel ecológico que ahí tienen. Ya que el método es un avance operativo y conceptual importante para el monitoreo de cuerpos de agua, se ha adaptado su uso para incluir otros tipos de organismos además de peces, como: fitoplancton (Lacouture *et al.*, 2006), perifiton (Hill *et al.*, 2000), macroinvertebrados/insectos (Klemm *et al.*, 2003) y vertebrados acuáticos (peces y anfibios) (Pont *et al.*, 2011) y aves (O’Connell *et al.*, 1998). Algunas variantes que se han desarrollado con la misma metodología, pero para ambientes diferentes que incluyen: lagos (Drake y Pereira, 2011) y estuarios (Deegan *et al.*, 1997).

En la región de Los Tuxtlas, en el sur de Veracruz, se han llevado a cabo grandes esfuerzos de conservación del remanente más norteño de la selva alta perennifolia en el continente (Dirzo *et al.*, 1997). En 1967 se estableció la “Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas”, del Instituto de Biología, UNAM, para resguardar un fragmento de 650 ha de selva (Coates, 2017). En 1998 se decretó la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas para continuar con la política de conservación de la zona (Reynoso *et al.*, 2017). Siendo la selva el principal elemento a conservar, se dejaron de lado los cuerpos de agua que también contienen una alta diversidad con un alto número de endemismos

y, en particular, las zonas núcleo de la reserva no contemplan cuerpos de agua de gran importancia como el lago de Catemaco y varios de sus tributarios en donde se hallan especies microendémicas (Álvarez *et al.*, 2017). Como una iniciativa para examinar el estado de conservación de los cuerpos de agua dulce en la región ante el avance de la deforestación e impacto por desechos agrícolas se seleccionaron dos ríos para elaborar índices de integridad biótica. Los dos ríos se consideraron con un grado moderado de perturbación, el río Máquinas, que vierte hacia el golfo de México en Montepío y el río Las Margaritas, que desemboca en el lago de Catemaco (figura 1).

Se planteó utilizar en el desarrollo y los cálculos de un IIB grupos adicionales a los peces, en particular a los crustáceos y moluscos. Las razones son: a) que son organismos grandes y que pueden ser identificados con relativa facilidad; b) hay especies endémicas de la región; c) se ha detectado la presencia de especies introducidas; d) tienen una amplia variedad de hábitos para caracterizar apropiadamente las comunidades y su integridad funcional; y e) hay especies sensibles a los cambios ambientales. De esta manera, se realizaron muestreos y búsquedas de registros históricos de la fauna de peces, crustáceos y moluscos de los dos ríos para poder establecer las líneas de base de los IIB.

Material y método

Los Tuxtlas

La topografía del territorio origina que los ríos de la región desciendan para aportar sus aguas a diferentes cuencas, la red de drenaje es básicamente radial, debido a las cimas montañosas; así por el este y oeste alimentan al lago de Catemaco; por el suroeste al río San Juan, afluente del Papaloapan; por el sur al río Coatzacoalcos; por el sureste a la laguna del Ostión; por el lado noreste y noroeste a la laguna de Sontecomapan, y por el norte, noreste y este, existen varias pequeñas cuencas que desaguan directamente al golfo de México (Martín-del Pozzo, 1997).

Río Máquinas

El río Máquinas nace en la laguna Escondida y desemboca en la playa de Montepío y en todo el trayecto su cauce es principalmente rocoso (figura 1). El cauce es de agua

dulce hasta 30 m de su desembocadura al mar; en este punto presenta salinidades moderadas de 10 a 22‰ debido a la pendiente del terreno y a la fuerza de las corrientes que producen un área de mezcla durante casi todo el año (Millán-Narváez, Espinosa-Pérez y Ojeda, 2007). La profundidad es variable, en las partes someras varía entre 0.30 y 0.50 m, las zonas medias que dominan la mayor parte del río alcanzan entre 0.60 y 1.10 m y en los sitios profundos llega a rebasar los 2 m. La vegetación de sus orillas está formada de remanentes de selva, vegetación de cercas vivas y cambia rápidamente en las proximidades del mar, donde pueden encontrarse manglares y vegetación de dunas. Se ubica entre los 18°35'53.32" N, 95°06'01.52" W y 18°38'32.8" N, 95°05'49.7" W, la altitud a la que se origina es de 166 m, con una longitud aproximada de 5 km y una velocidad de corriente que puede llegar a 27 km/h.

En el río Máquinas se establecieron cuatro sitios de muestreo que se denominaron: laguna Escondida, Puente, Lechería y Montepío. Los muestreos utilizados para este estudio se realizaron entre febrero del 2003 y septiembre del 2004 (Millán-Narváez, Espinosa-Pérez y Ojeda, 2007).

Río Las Margaritas

El río Las Margaritas se ubica en el municipio de San Andrés Tuxtla, Veracruz, entre las coordenadas 18° 22' 06.09" N y 95° 01' 00.89" W, con una longitud aproximada de 3 km y nace a una elevación de 345 msnm (figura 1). El río desemboca en el lago de Catemaco, por lo que no tiene ninguna influencia de agua salada. Las orillas del río están cubiertas por vegetación riparia, remanentes de selva y potreros. Casi todo el recorrido tiene una corriente suave y grandes secciones en donde el fondo está cubierto de cantos rodados. La profundidad media es de 50 cm y llega a 1.5 m cerca de su desembocadura.

En el río Las Margaritas se establecieron dos sitios de colecta que se denominaron: el Puente y la Curva. Los muestreos utilizados para este estudio se realizaron entre mayo de 2015 y junio de 2016 (Jiménez, 2017).

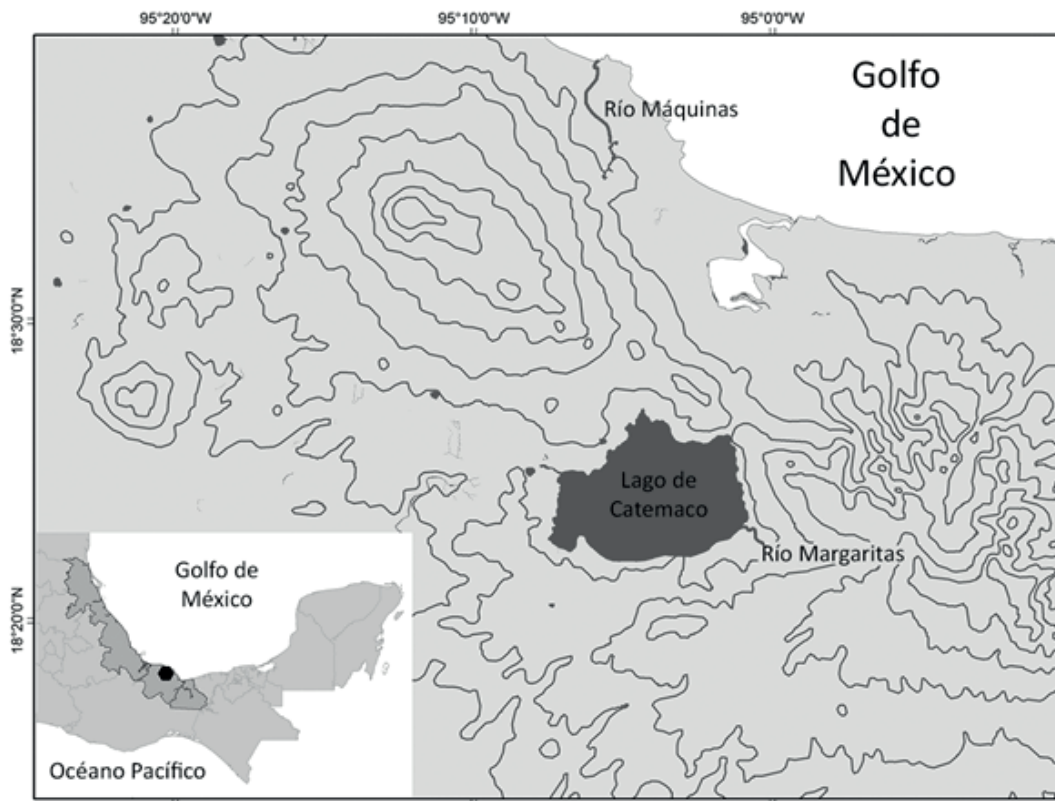


Figura 1. Mapa del área de estudio, la región de Los Tuxtlas con la ubicación de los ríos Máquinas y Las Margaritas, los círculos negros marcan la posición de las estaciones de muestreo.

Obtención de datos

Tomando en cuenta que para la construcción de los IIB es necesario conocer la diversidad total, o lo más aproximado posible, del cuerpo de agua, y por la otra contar con los muestreos para realizar la comparación, los datos utilizados se obtuvieron de colectas directas en ambos ríos, de la consulta de publicaciones y de los acervos de colecciones biológicas. De los muestreos que se realizaron para diferentes estudios se

derivaron publicaciones específicas, sobre todo sobre crustáceos (Álvarez *et al.*, 1999, 2002, 2017; Villalobos y Álvarez, 1999; Rojas *et al.*, 2000), pero también de otros grupos como peces y moluscos (Huidobro *et al.*, 2006; Millán, 2012). Con respecto a las colecciones consultadas para conocer los registros históricos, éstas fueron: Colección Nacional de Crustáceos (CNCR), Colección Nacional de Moluscos (CNMO) y Colección Nacional de Peces (CNPE), todas del Instituto de Biología de la UNAM.

Desarrollo de los índices de integridad biótica

Frecuentemente se utilizan 13 criterios para el desarrollo del IIB, basados en tres parámetros, los cuales son: 1) composición y riqueza de especies; 2) composición trófica; y 3) abundancia y condición de los organismos (tabla 1). Con respecto al primer punto las especies se consideran: a) intolerantes, no se encuentran en sitios alterados o degradados; b) sensibles, muestran una disminución en número ante cambios ambientales; c) bénticas, que viven sobre el fondo; d) nativas, que se encuentran dentro de su área de distribución original; y e) exóticas, introducidas y trasladadas, que se encuentran fuera de su área de distribución original. Para este primer bloque es necesario también obtener el índice de diversidad de Shannon-Wiener (Karr, 1981; Fausch *et al.*, 1984).

Para el segundo punto sobre composición trófica se requieren los siguientes datos: proporción de omnívoros, detritívoros, filtradores, invertívoros (aquellos organismos cuya dieta se basa en el consumo de invertebrados) y finalmente, carnívoros (tabla 1). En el tercer punto se contabiliza la abundancia de individuos de cada especie y la proporción de individuos con anomalías, si los hay. Con anomalías nos referimos a lesiones o posibles deformidades morfológicas presentes en los organismos, esto es una alteración en el número normal o forma de aletas/ojos/patas, por mencionar algunos ejemplos.

Tabla 1. Variables que se consideraron en la construcción de índices de integridad biótica para los ríos Máquinas y Las Margaritas en Los Tuxtlas, Veracruz.

Composición y riqueza de especies
Número de especies
Presencia de especies intolerantes
Número de especies sensitivas
Número de especies bénticas
Número de especies nativas
Número de especies exóticas
Índice de diversidad (Shannon-Wiener)
Composición trófica
Proporción de filtradores
Proporción de detritívoros
Proporción de invertívoros
Proporción de omnívoros
Proporción de carnívoros tope
Abundancia y condición de los organismos
Número de individuos
Proporción de individuos con anomalías

Originalmente (Karr, 1981) se propuso que cada criterio de clasificación se podría evaluar con: un signo menos (-), un cero (0), o un signo más (+), para registrar varios criterios ecológicos. Sin embargo, para poder evaluar cada criterio de una manera más precisa sobre un gradiente de condiciones (*e.g.* número de especies por tipo trófico), se han asignado valores numéricos a cada uno de los grados a partir de la propuesta original. Por lo tanto se propone: (-) = 1, (0) = 3, (+) = 5 (tabla 2). Estos valores se suman para todos los criterios, así como para cada una de las localidades

muestreadas y la suma total nos dará como resultado el valor del índice de calidad de la comunidad (tabla 3).

Tabla 2. Valores y puntuación de tipos de especies para calcular el IIB del río Máquinas, Los Tuxtlas, Veracruz.

Clases de integridad	Atributos
Excelente (50-57)	Comparables a las mejores condiciones naturales, sin influencias del hombre; todas las especies nativas esperadas para el hábitat o tamaños del cuerpo de agua presentes, incluyendo las formas intolerantes, estructura trófica balanceada.
Buena (42-49)	Riqueza de especies un tanto por debajo de lo esperado, debido especialmente a la pérdida de las formas intolerantes; algunas especies con distribución de la abundancia o de tamaño inferior al óptimo; la estructura trófica muestra algunos signos de estrés.
Regular (32-41)	Signos de deterioro adicional, incluye pocas especies intolerantes; estructura trófica más alterada (p. ej., aumento en la frecuencia de omnívoros); las mayores clases de edad de carnívoros tope pueden ser raras.
Pobre (20-31)	Dominada por omnívoros, especies tolerantes a la contaminación y de hábitat generalistas, pocos carnívoros tope; tasas de crecimiento y factores de condición comúnmente disminuidos; presencia de formas híbridas y peces con enfermedades.
Muy pobre (<19)	Pocas especies presentes, la mayoría introducidas o en formas muy tolerantes; los híbridos son comunes; parásitos y enfermedades frecuentes, los daños en las aletas y otras anomalías (tumores) son comunes.
Ausencia de especies (0)	Ausencia de especies en muestreos repetidos.

Es importante mencionar que el IIB, debe calcularse individualmente para cada cuerpo de agua analizado. Debido a la variación espacial en las condiciones físico-químicas, fuerza de la corriente, tipo de sustrato y vegetación, es recomendable también establecer varios puntos de muestreo dentro del cuerpo de agua, los cuales estarán determinados por cada investigador. La variación estacional también puede influir de manera determinante en el tipo de especies que se registran en un muestreo. Este sesgo se puede corregir realizando muestreos en diferentes temporadas o estableciendo qué especies pueden estar presentes en cada temporada. Otro punto importante es que el muestreo debe considerar el uso de diferentes artes de pesca y colectores, para tener una mejor representación de la diversidad del cuerpo de agua. Mientras más de estos aspectos sean considerados en el análisis, mejores serán los resultados, pues lo que se pretende es determinar el total o el mayor número de especies existentes en el cuerpo de agua.

Tabla 3. Clases de integridad biótica, atributos y puntuaciones, según la propuesta de Karr (1981), modificada para los ríos Máquinas y Las Margaritas, Los Tuxtlas, Veracruz.

Atributo	Total	Rangos		
		1	3	5
Número de especies	40	1-9	10-22	23-40
Especies intolerantes	3	0-1	2	3
Especies bénticas	37	1-8	9-21	22-37
Especies nativas	36	1-7	8-19	20-36
Especies introducidas	4	4	2-3	0-1
Índice Shannon-Wiener	1.05	0-0.45	0.46-0.9	>0.91
Filtradores	8	1-2	3-5	6-8
Detritívoros	1	0	-	1
Omnívoros	25	0-7	8-16	17-25
Carnívoros	6	0-1	2-3	4-6

Número de individuos	-	1-500	501-2000	>2001
Individuos con anomalías	-	>31	11-30	0-10

Resultados

Para ambos ríos se definieron los valores de cada categoría de especie basados en todos los datos disponibles (tablas 3 y 4). También se determinaron los intervalos de los valores para llevar a cabo los cálculos de los IIB. Por ejemplo, para el río Máquinas, de 36 especies nativas posibles, ¿cuántas se encontraron? Si se encontraron de 1 a 7 se otorga un punto, de 8 a 19 tres puntos y de 20 a 36 cinco puntos. Los valores para cada atributo se obtuvieron a través de varios ensayos, con muestreos de prueba de 1 hora en cada punto de muestreo, para calibrar la unidad de esfuerzo requerida. Después se realizaron muestreos específicos para determinar el IIB de cada río (Millán y Ojeda, 2007; Jiménez, 2017).

Tabla 4. Valores y puntuación de tipos de especies para calcular el IIB del río Las Margaritas, Los Tuxtlas, Veracruz.

Atributo	Total	Puntuación		
		1	3	5
Número de especies	16	1-5	6-11	12-16
Especies intolerantes	3	0-1	2	3
Especies bénticas	11	0-3	4-7	8-11
Especies nativas	13	1-4	5-9	10-13
Especies endémicas	5	0-1	2-3	3-5
Especies introducidas	3	3	2-1	0
Índice de Shannon-Wiener	2.74	0-1.2	1.3-2.5	>2.6
Filtradores	5	0-1	2-3	4-5
Detritívoros	0			

Omnívoros	10	0-3	4-6	7-10
Carnívoros	3	0-1	2	3
Número de individuos	-	0-99	100-199	>200
Individuos con anomalías	-	>31	11-30	0-10

Río Máquinas

En este río se colectaron 20,237 organismos, de los cuales 12,825 (63%) son crustáceos, 7,194 (36%) moluscos y 308 (1.5%) peces. La diversidad y abundancia fue diferente en cada zona del río muestreada debido a las diferentes condiciones de profundidad, velocidad de corriente y tipo de sustrato. Los crustáceos estuvieron representados por seis familias, siete géneros y 11 especies; los moluscos por cinco familias, seis géneros y siete especies; y los peces por siete familias, 10 géneros y 10 especies (tabla 5). El grupo más numeroso capturado en este río fue el de las larvas de langostino (*Macrobrachium* sp.) con 11,681 individuos. Este número es un buen indicador de la intensidad de la reproducción, sin embargo, el estado larval no permite la identificación de las especies. La especie identificada más abundante fue el caracol introducido *Tarebia granifera* (n = 7,034), seguida del cangrejo *Armases americanum* (n = 775) y del pez *Gobiomorus dormitor* (n = 114). Las especies con menor número de individuos fueron el cangrejo *Tehuana poglayenorum*, el pez *Microphis b. lineatus* y el caracol *Pachychilus turatti*, todas con dos individuos cada una (Millán y Ojeda, 2007).

La localidad con menor riqueza de especies fue la laguna Escondida, donde nace el río Máquinas, con sólo cinco especies; mientras que la estación media Lechería y la última en la desembocadura tuvieron 21 especies cada una. Dentro de los crustáceos predominaron las especies omnívoras (82%) sobre las filtradoras (18%); en los moluscos 14% fueron omnívoras y 86% filtradoras; en los peces 50% fueron omnívoras, 40% carnívoras y 10% detritívoras. Un rasgo relevante de este río es que presentó cinco especies de moluscos introducidas: *Tarebia granifera*, *Corbicula fluminea*, *Pachychilus turatti*, *P. indiorum* y *Melanoides tuberculata*. El índice de diversidad global para este río fue de $H' = 1.98$. El cálculo del iib con los datos globales arrojó un total de 48 puntos, lo cual corresponde a un estado bueno (véase tabla 2).

Río Las Margaritas

En el río Las Margaritas se colectaron 816 organismos, 352 (43%) crustáceos, 107 (13%) moluscos y 357 (44%) peces. En este río fue notorio que se registraron más especies de peces en la estación El Puente en donde se forman pozas profundas (~2 m), en contraste con La Curva en donde la profundidad promedio es de 20 cm y predominaron numéricamente los moluscos y crustáceos. Los crustáceos estuvieron representados por tres familias, tres géneros y tres especies; los moluscos por seis géneros y seis especies y los peces por seis géneros con siete especies (tabla 5). La especie más abundante durante todo el muestreo fue el langostino *M. tuxtlaense* (n = 268), el cual es endémico del río Las Margaritas, seguido de los peces *P. tuxtlaensis* (n = 201) y *X. hellerii* (n = 123); las especies de peces con menor abundancia fueron *R. guatemalensis* con un individuo, *V. fenestrata* y *O. aenigmaticum* con tres individuos cada una, al igual que el molusco *P. indiorum*.

Temporalmente, abril de 2016, reporta el mayor número de organismos (270, 33%), y diciembre de 2015 el menor número (65, 8%). Se capturaron tres especies intolerantes, 11 bénticas, tres introducidas, cinco endémicas y 13 especies nativas, es decir predominan las especies nativas (tabla 5). Asimismo, de acuerdo con la estructura trófica cinco especies son filtradoras, 10 son omnívoras y tres carnívoras. Por último, el índice de diversidad global para este río fue de $H' = 2.74$. El cálculo del IIB con los datos globales arrojó un total de 45 puntos, lo cual corresponde a un estado bueno (véase tabla 2). Sin embargo, cabe destacar que esta condición varió a lo largo del estudio con una condición regular (34 puntos) en mayo de 2015 y excelente (56 puntos) en abril de 2016 (Jiménez, 2017).

Tabla 5. Lista de especies colectadas en los ríos Máquinas y Las Margaritas, Los Tuxtlas, Veracruz. Clave de las abreviaturas: B, béntica; E, endémica; I, introducida; it, intolerantes; N, nativa; D, detritívora; C, carnívora; F, filtradora; O, omnívora.

Río Máquinas		Río Las Margaritas	
Crustáceos			
<i>Atya scabra</i>	B, F, N		
<i>Avotrichodactylus constrictus</i>	B, O, N	<i>Avotrichodactylus constrictus</i>	B, O, N
<i>Macrobrachium acanthurus</i>	B, O, N		
<i>Macrobrachium carcinus</i>	B, O, N		
<i>Macrobrachium heterochirus</i>	B, O, N		
<i>Macrobrachium hobbsi</i>	B, O, N		
<i>Macrobrachium olfersii</i>	B, O, N		
		<i>Macrobrachium tuxtlaense</i>	B, O, IT, N, E
<i>Macrobrachium spp.</i>	B, O, N		
<i>Platychirograpsus spectabilis</i>	B, O, N, E		
<i>Potimirim mexicana</i>	B, O, N		
<i>Armases americanum</i>	B, O, N		
		<i>Tehuana diabolis</i>	B, O, N, E
<i>Tehuana poglayenorum</i>	B, O, N, E		

Moluscos

		<i>Barynaias (Plagiola) opacata</i>	B, F, N
<i>Corbicula fluminea</i>	B, F, I	<i>Corbicula fluminea</i>	B, F, I
		<i>Melania indorium</i>	B, F, IT, N
<i>Melanoides tuberculata</i>	B, F, O, I	<i>Melanoides tuberculata</i>	B, F, O, I
<i>Neritina reclivata</i>	B, F, N		
<i>Pachychilus indiorum</i>	B, F, I		
<i>Pachychilus turatti</i>	B, F, I		
<i>Pomacea flagellata</i>	B, O, N		
		<i>Pomacea patula catemacensis</i>	B, O, IT, N, E
<i>Tarebia granifera</i>	B, F, O, I	<i>Tarebia granifera</i>	B, F, O, I

Peces

<i>Aganostomus monticola</i>	O, N		
		<i>Astyanax aeneus</i>	O, N
<i>Cichlasoma fenestratum</i>	O, N		
<i>Conodon nobilis</i>	C, N		
<i>Eleotris pisonis</i>	C, N		
<i>Gobiomorus dormitor</i>	C, N		
<i>Heterandria bimaculata</i>	O, N		

<i>Microphis brachyurus lineatus</i>	O, N	<i>Ophisternon aenigmaticum</i>	B, C, N
<i>Poecilia mexicana</i>	D, N	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	B, C, N
<i>Synbranchus marmoratus</i>	B, C	<i>Pseudoxiphophorus tuxtlaensis</i>	C, N, E
		<i>Vieja fenestrata</i>	O, N
<i>Xiphophorus hellerii</i>	O, N, E	<i>Xiphophorus hellerii</i>	O, N, E
		<i>Xiphophorus milleri</i>	O, N, E

Discusión

Los elementos que destacan del análisis presentado, es que en Los Tuxtlas se tiene la coexistencia de especies nativas y endémicas de la región con especies introducidas con un gran potencial para la reproducción. Destaca también en la comparación, que en el río Las Margaritas se presentaron especies estrictamente dulceacuícolas que no tienen dependencia alguna con condiciones de agua salobre para completar su ciclo de vida, puesto que este río desemboca en el lago de Catemaco (Álvarez *et al.*, 2002). En contraste, en el río Máquinas se registraron especies que requieren de condiciones salobres para el crecimiento de etapas larvales y juveniles, como los langostinos y algunos cangrejos (Mejía-Ortiz *et al.*, 2001), además de que se tienen especies de peces primarias, secundarias y vicarias (Castro-Aguirre *et al.*, 1999). Esta diferencia entre ríos también explica la mayor riqueza de especies del río Máquinas, en donde hay un mayor recambio de especies por su conectividad con el mar en contraste con el río Las Margaritas.

Es interesante notar que del total de especies registradas, 40 para el río Máquinas (incluyendo registros históricos) y 16 para el río Las Margaritas, 56 en total, solamente cinco, el cangrejo tricodactílico *Avotrichodactylus constrictus*, tres especies de moluscos introducidas (*C. fluminea*, *M. tuberculata*, *T. granifera*) y una especie de pez, *Xiphophorus hellerii*, son especies compartidas entre ambos ríos. De hecho, si no se incluyeran las especies introducidas, la similitud sería menor. Este punto ejemplifica la relevancia que representa un iib específico para cada cuerpo de agua, aun cuando estén muy cercanos entre sí.

En cuanto al estado de conservación de ambos ríos, el IIB mostró que se encuentran en una condición promedio que se considera “buena”. Esto es, que la riqueza de especies está por debajo de lo esperado, y no se hallan especies raras, intolerantes o todas las especies carnívoras. También sugiere que las abundancias poblacionales no son las óptimas y empiezan a faltar algunas de las especies con hábitos tróficos más especializados. Sin embargo, al existir una importante y notoria variación espacio-temporal se debe ponderar en qué época del año se hace el muestreo y si las especies esperadas para esa temporada están presentes o no. Debido a esto se pueden obtener valores con cierta variación estacional sobre la integridad del sistema.

En ambos ríos predominaron las especies nativas y en el caso del río Las Margaritas inclusive se registraron las especies microendémicas del sitio, el langostino *Macrobrachium tuxtlaense*, el cangrejo *Tehuana diabolis*, el caracol *Pomacea patula catemacensis* y los peces *Pseudoxiphophorus tuxtlaensis* y *Xiphophorus milleri*. En contraste, en el río Máquinas solamente se encontró como especie endémica al cangrejo *Tehuana poglayenorum*. En ambos ríos se hallaron especies carnívoras, que son un buen signo de la integridad del sistema, pues ellas reflejan que los niveles tróficos inferiores están presentes.

Con respecto a las especies introducidas, todas las registradas fueron especies de moluscos. Su impacto en el río Las Margaritas es todavía imperceptible o nulo ya que aparecieron con abundancias totales muy bajas, lo que no sucede en el río Máquinas, en donde tienen un impacto importante. Las abundancias totales fueron en el río Las Margaritas y en el río Máquinas, respectivamente: *C. fluminea* (8, 61), *M. tuberculata* (29, 4) y *T. granifera* (36, 7,034). Como se apuntó en la sección de resultados el caracol *T. granifera* resultó ser la especie más abundante de todas las especies introducidas registradas. *T. granifera* ya es la especie más abundante en el río Máquinas; sin embargo, sus poblaciones podrían todavía aumentar más, si la vegetación riparia y

los manchones de selva existentes en la zona se siguen degradando (Moslemi *et al.*, 2012). La almeja *C. fluminea* es otra especie introducida que ya tiene una amplia distribución en México y que puede aumentar su impacto en la región de Los Tuxtlas conforme se deterioren las condiciones de los cuerpos de agua (Barba-Macías y Trinidad-Ocaña, 2017).

Agradecimientos

Al taller “Invertebrados de la zona costera y arrecifal del Golfo de México” de la Facultad de Ciencias, UNAM, y a muchos de sus alumnos que participaron en el trabajo de campo en las tesis sobre índices de integridad biótica. A la Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas por su apoyo durante el trabajo de campo.

Literatura citada

- Álvarez, F., Villalobos, J. L. y Robles, R. (2002). Abbreviated larval development of *Macrobrachium tuxtlaense* Villalobos and Álvarez, 1999, reared in the laboratory. *Crustaceana*, 717-730.
- Álvarez, F., Villalobos, J. L., Rojas, Y. y Robles, R. (1999). Lista y comentarios sobre los crustáceos decápodos de Veracruz, México. *Anales del Instituto de Biología UNAM*, 70(1), 1-27.
- Álvarez, F., Villalobos, J. L. y Hernández, C. (2017). Capítulo 21, Perspectivas de estudios sobre los crustáceos de la región de Los Tuxtlas. En Reynoso, V. H., Coates, R. I. y Vázquez-Cruz, M. L. (Eds.), *Avances y perspectivas en la investigación de los bosques tropicales y sus alrededores: la región de Los Tuxtlas*. México: Instituto de Biología, UNAM.
- Barba-Macías, E. y Trinidad-Ocaña, C. (2017). Nuevos registros de la almeja asiática invasora *Corbicula fluminea* (Bivalvia: Veneroidea: Cyrenidae) en humedales de las cuencas Papaloapan, Grijalva y Usumacinta. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, 450-453.
- Castro-Aguirre, J. L., Espinosa-Pérez, H. S. y Schmitter-Soto, J. J. (1999). *Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México*. México: Limusa, 711 pp.
- Coates, R. I. (2017). La Estación de Biología Tropical Los Tuxtlas desde su fundación. En Reynoso, V. H., Coates, R. I. y Vázquez-Cruz, M. L. (Eds.), *Avances y perspectivas en la investigación de los bosques tropicales y sus alrededores: la región de Los Tuxtlas*. México: Instituto de Biología, UNAM.
- Deegan, L. A., Finn, J. T. y Buonaccorsi, J. (1997). Development and validation of an Estuarine Biotic Integrity Index. *Estuaries*, 20, 601-617.
- Dirzo, R., González-Soriano, E. y Vogt, R. C. (1997). Introducción general. En González-Soriano, E., Dirzo, R. y Vogt, R. C. (Eds.), *Historia Natural de Los Tuxtlas*. UNAM, México.
- Drake, M. T. y Pereira, D. L. (2011). Development of a fish-based index of biotic integrity for small inland lakes in central Minnesota. *North American Journal of Fisheries Management*, 22, 1105-1123.

- Espinosa-Pérez, H. (2014). Biodiversidad de peces en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(Supl.), S450-S459.
- Fausch, K. D., Karr, J. R. y P. R. Yant (1984). Regional application of an index of biotic integrity based on stream fish communities. *Transactions of the American Fisheries Society*, 113, 39-55.
- Hill, B. H., Herlihy, A. T., Kaufmann, P. R., Stevenson, R. J., McCormick, F. H. y Johnson, C. (2000). Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity. *Journal of the North American Benthological Society*, 19, 50-67.
- Huidobro, L., Morrone, J. J., Villalobos, J. L. y Álvarez, F. (2006). Distributional patterns of freshwater taxa (fishes, crustaceans and plants) from the Mexican Transition Zone. *Journal of Biogeography*, 33, 731-741.
- Jiménez, B. E. (2017). *Evaluación del Índice de Integridad Biótica (IIB), en el río Las Margaritas, Veracruz, México*. México: Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Karr, J. M. (1981). Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*, 6, 21-27.
- Klemm, D. J, Blocksom, K. A., Fulk, F. A., Herlihy, A. T., Hughes, R. M., Kaufmann, P. R., Peck, D. V., Stoddard, J. L., Thoeny, W. T., Griffith, M. B. y Davis, W. S. (2003). Development and evaluation of a macroinvertebrate Biotic Integrity Index (MBII) for regionally assessing Mid-Atlantic highlands streams. *Environmental Management*, 31, 656-669.
- Lacouture, R. V., Johnson, J. M., Buchanan, C. y Marshall, H. G. (2006). Phytoplankton index of biotic integrity for Chesapeake Bay and its tidal tributaries. *Estuaries and Coasts*, 29, 598-616.
- Leveque, C., Oberdorff, T., Paugy, D., Stiasny, M. L. J. y Tedesco, P. A. (2008). Global diversity of fish (Pisces) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595, 545-567.
- Martín-del Pozzo, A. L. (1997). Geología. En González-Soriano, E., Dirzo, R. y Vogt, R. (Eds.), *Historia Natural de Los Tuxtlas* (pp. 25-32). México: Instituto de Biología, UNAM.
- Mejía-Ortiz, L. M., Álvarez, F., Román, R. y Viccon-Pale, J. A. (2001). Fecundity and distribution of freshwater prawns of the genus *Macrobrachium* in the Huitzilapan River, Veracruz, Mexico. *Crustaceana*, 74, 69-71.

- Millán-Narváez, L. A. y Ojeda-Escoto, J. C. (2007). *Distribución de macroinvertebrados y peces en el río Máquinas, Los Tuxtlas, Veracruz: como información base para la creación de un índice de integridad biótica*. México: Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Millán, L. A. (2012). *Patrón de distribución de los moluscos dulceacuícolas de la región de Los Tuxtlas, Veracruz*. México: Tesis de Maestría, Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.
- Moslemi, J.M., Snider, S. B., Macneill, K., Gilliam, J. F. y Flecker, A. S. (2012). Impacts of an invasive snail (*Tarebia granifera*) on nutrient cycling in tropical streams: the role of riparian deforestation in Trinidad, West Indies. *PLoS ONE*, 7(6), e38806.
- O'Connell, T. J., Jackson, L. E. y Brooks, R. P. (1998). A bird community index of biotic integrity for the Mid-Atlantic highlands. *Environmental Monitoring and Assessment*, 51, 145-156.
- Pont, D., Hughes, R. M., Whittier, T. R. y Schmutz, S. (2011). A predictive index of biotic integrity model for aquatic-vertebrate assemblages of western U.S. streams. *Transactions of the American Fisheries Society*, 138, 292-305.
- Reynoso, V. H., Coates, R. I. y Vázquez, M. L. (2017). Introducción. En Reynoso, V., Coates, R. I. y Vázquez-Cruz, M. L. (Eds.), *Avances y perspectivas en la investigación de los bosques tropicales y sus alrededores: la región de Los Tuxtlas*. México: Instituto de Biología, UNAM.
- Rojas, Y., Álvarez, F. y Villalobos, J. L. (2000). A new species of crayfish (Decapoda: Cambaridae) from lake Catemaco, Veracruz, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 113(3), 792-798.
- Villalobos, J. L. y Álvarez, F. (1999). A new species of *Macrobrachium* (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae) with abbreviated development, from Veracruz, Mexico. *Proceedings of the Biological Society of Washington*, 112(4), 746-753.

