

## Evaluación de la calidad de agua en el río Chato a partir de la ictiofauna como elemento central del índice de integridad biótica. Río San Juan, Chocó, Colombia

### Water quality assessment in the Chato river based on the ictiofauna as a central element of the biotic integrity index. San Juan River, Chocó, Colombia

Yiskar Damián Murillo Asprilla<sup>1</sup>, Oscar Perea Lozano<sup>2</sup>, Camilo Ernesto<sup>2</sup>

#### Resumen

*La notable intervención y presión sobre diferentes afluentes del río San Juan, hace necesaria la generación de información de base para el biomonitoreo de sus recursos hidrobiológicos y por supuesto, la calidad del agua. Esta investigación tuvo como finalidad evaluar la calidad de agua de río Chato, en la región del San Juan, utilizando la ictiofauna como elemento central del índice de integridad biótico (IIB). Se realizaron muestreos icticos en tres estaciones (Campo Alegre, Manungará y Tadó), empleando red de arrastre, atarraya y anzuelos de diferentes tamaños. La aplicación del IIB consistió en tres parámetros principales, que agrupan en general doce medidas. El primero hace referencia a la composición y riqueza de especies; el segundo a las funciones tróficas; y el tercero a la abundancia y condición; la suma de los atributos es el valor total del IIB, con lo que se puede clasificar un sistema de muy buenas condiciones o, por el contrario, un ambiente totalmente contaminado. Se registraron 788 individuos, agrupados en cinco órdenes, 13 familias, 24 géneros y 28 especies. La evaluación del modelo mostró a Manungará como la estación de mejor condición con la categoría de evaluación más alta (46), indicando que presenta elementos importantes para el establecimiento de la vida acuática. La estación Tadó mostró datos preocupantes con un valor de 30, revelando aguas pobres para el mantenimiento de la diversidad acuática. Los resultados obtenidos, descubren la existencia de cambios en la calidad de agua a lo largo de toda la fuente hídrica, pasando de bueno en la estación Manungará, a medio en Campo Alegre y pobre en Tadó. Esta situación refleja la sensibilidad del índice para dar respuestas a pequeños cambios en la calidad del agua, provocados por actividades antropogénicas.*

1. Grupo de investigación Conocimiento, Manejo y Conservación de los Ecosistemas del Chocó Biogeográfico, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico “John Von Neumann”, Quibdó, Colombia.
2. Grupo de investigación de Zoología, línea de ictiología.  
e-mail: [oscar.perea@aunap.org.co](mailto:oscar.perea@aunap.org.co)  
Autor correspondencia:  
e-mail: [yida\\_0810@hotmail.es](mailto:yida_0810@hotmail.es)

Recepción: Septiembre 5, 2017  
Aprobación: Noviembre 24, 2017  
Editora Asociada: Vargas-Porras L.



**Palabras clave:** Calidad de agua, Íctiofauna, Índice de integridad biótica, Río San Juan.

## Abstract

*The notable intervention and pressure on different streams of the San Juan River makes necessary the generation of basic information for the biomonitoring of its hydrobiological resources and of course the quality of the water. In this sense, this research aimed to evaluate the water quality of the Chato River using the fish fauna as a central element of the biotic integrity index (BII), in the San Juan region. Fish samplings were carried out in three stations (Campo Alegre, Manungará, and Tadó), using a trawl, cast net, and hooks of different sizes. The application of the BII consisted of three main parameters that generally group twelve measures. The first refers to the composition and richness of species, the second to the trophic functions, and the third to the abundance and condition, the sum of the attributes is the total value of the BII, with which a system of very good condition or, on the contrary, a totally polluted environment. 788 individuals were registered, grouped in five orders, 13 families, 24 genera, and 28 species. The evaluation of the model showed Manungará as the station with the best condition with the highest evaluation category (46), indicating that it presents important elements for the establishment of aquatic life. The Tadó station presented worrying data with a value of 30, indicating poor waters for the maintenance of aquatic diversity. The results obtained clearly show the existence of changes in water quality throughout the entire water source, going from good in the Manungará station, to medium in Campo Alegre and poor in Tadó. Situation that reflects the sensitivity of the index to respond to small changes in water quality, caused by anthropogenic activities.*

**Keywords:** Biotic integrity index, Íctiofauna, San Juan River, Water quality.

## Introducción

La calidad de las fuentes hídricas depende del clima, del tipo de suelo, la vegetación circundante y la influencia e intensidad de algunas actividades antrópicas; por esto, los sistemas acuáticos sufren variaciones temporales y espaciales (Peláez 2001). En la actualidad, el uso poco planificado sobre estos sistemas ha disminuido exponencialmente la calidad del agua. Es por esto, que el interés por conocer y proteger los ecosistemas acuáticos, sobre todo por lo que representa como elemento para la vida, es de preocupación constante por parte de autoridades ambientales, científicas y demás gremios afines.

Aún es un reto medir de forma precisa el impacto de las perturbaciones de los ríos y quebradas; en un principio se aplicaron normas de calidad de agua, basados en los diagnósticos de las características físico-químicas (Hart *et al.* 1999). No obstante, desde la década de 1980 se reconoce la importancia del uso de indicadores biológicos en programas de seguimiento de los sistemas acuáticos, porque estos pueden dar una visión muy aproximada en tiempo y espacio del estado de los mismos (Flotemersch *et al.* 2006).

En particular, los peces responden de manera predecible a los cambios en algunos factores abióticos, tales como la calidad del hábitat, oxígeno disuelto, turbiedad, sólidos totales entre otros. Además, los cambios en sus poblaciones (la presencia/ausencia) y de comportamiento, indican que algunas de las variables físico-químicas se encuentran fuera de sus límites de tolerancia y afectan sus ciclos de vida, por lo que se les puede llamar especies indicadoras (Aguilar 2005). Este comportamiento, mantiene a las comunidades ícticas como las más utilizadas para determinar la calidad del agua en diferentes países del mundo (Gutiérrez-Hernández 2002). Además, son reconocidos como los mejores grupos de hábitats acuáticos. tanto así, que están presentes en pequeños cuerpos de agua, incluso

en aquellos ecosistemas con ciertos niveles de contaminación: estas características convierten a la fauna íctica en comunidades idóneas para investigaciones de este tipo (de la Lanza *et al.* 2000), por ello su caracterización resulta muy importante, además son reconocidas como una buena herramienta de ayuda para la toma de decisiones en materia ambiental (Boulton 1999) y como índices de la calidad del medio acuático en el mundo (McDowall y Taylor 2000, Oberdorff *et al.* 2002), capaces de indicar diversos niveles de degradación y definir el éxito de restauración de los ecosistemas acuáticos (Wichert y Rapport 1998, Paller *et al.* 2000).

Entre los diferentes índices que existen para determinar la calidad de agua, el índice de integridad biótica (IIB), es uno de los más utilizados, por no decir el principal; agrupa todos los atributos y medidas de evaluación de la calidad del agua de muchos índices, es por esto, que se ha implementado en casi todo el mundo a excepción de la Antártida (Hughes y Oberdorff 1998); muestra de ello son los trabajos realizados en la cuenca del río Sena (Oberdorff y Hughes 1992), ríos de Lituania (Kesminas y Virbickas 2000), ríos de alta montañas en Bélgica (Breine *et al.* 2004), comunidades fluviales de África (Hugueny *et al.* 1996, Toham y Teugels 1999). Ha sido adaptado para ambientes muy distintos como lagos (Drake y Pereira 2003), estuarios (Puente *et al.* 2008), arrecifes (Jameson *et al.* 2001), e incluso en diferentes grupos como perifiton (Hill *et al.* 2003), macrófitas (Miller *et al.* 2006), fitoplancton (Lacouture *et al.* 2006), zooplancton (Carpenter *et al.* 2006), hasta en aves ribereñas (Glennon y Porter 2005) y anfibios (Crewe y Timmermans 2005).

Para Latinoamérica ya son varias las aplicaciones realizadas del IIB, en donde se destacan algunos trabajos en México (Lyons *et al.* 1995, 2000, Contrera *et al.* 2000, 2001, 2003, 2004), Brasil (Araújo 1998, Marciano 2001, Marciano *et al.* 2004, Araújo *et al.*, 2003, Terra 2004, Ferreira y Casatti 2006, Galuch 2007, Pinto y Araújo 2007),

Venezuela (Rivera 1994, Rivera y Narrero 1995, Rodríguez y Taphorn 1995, Rodríguez *et al.* 2006, 2007) y Argentina (Hued y Bistoni 2005). Sin embargo, el modelo del IIB no ha sido aplicado en Colombia.

Las ideas expuestas antes, son evidencias de la aceptación, aprobación y adaptación del IIB en ecosistemas del mundo; tanto es que fue exigido por ley en gran parte de los Estado Unidos de América (USEPA 2007); no queda duda entonces, que este índice es una excelente herramienta para monitorear, vigilar y preservar fuentes hídricas, la cual, se puede ajustar para diferentes ambientes. En este contexto, es de vital importancia aplicarlo en cuerpos de agua como los del Chocó, donde históricamente los ecosistemas acuáticos han sido sometidos a fuertes y continuas presiones, en especial aquellos pertenecientes a la cuenca hidrográfica de la región del San Juan, en donde actividades como la minería tecnificada de oro y platino, tala de bosques y vertimiento de residuos, han desencadenado en la contaminación y alteración de sus cuerpos de agua, generando grandes riesgos, no solo a la pérdida de especies hidrobiológicas y pesqueras, sino también, a la calidad del agua y vida de los pobladores de esta región; además, el desconocimiento de la taxonomía y ecología de especies ícticas de la cuenca del San Juan, la convierten en una zona de interés investigativo. En consecuencia, la presente investigación, tuvo como finalidad, determinar la calidad del agua en el río Chato, afluente del río San Juan, utilizando el IIB, basado en la fauna íctica.

## Metodología

**Área de estudio.** El trabajo se realizó en el municipio de Tadó, en tres estaciones de la cuenca del río San Juan (Figura 1) que nace en el cerro Caramanta, cordillera Occidental sobre una cota de 3.900 msnm. Se encuentra entre 05° 25' N y 75° 57' W, desemboca en el océano Pacífico por medio de un gran delta conformado por cinco bocas

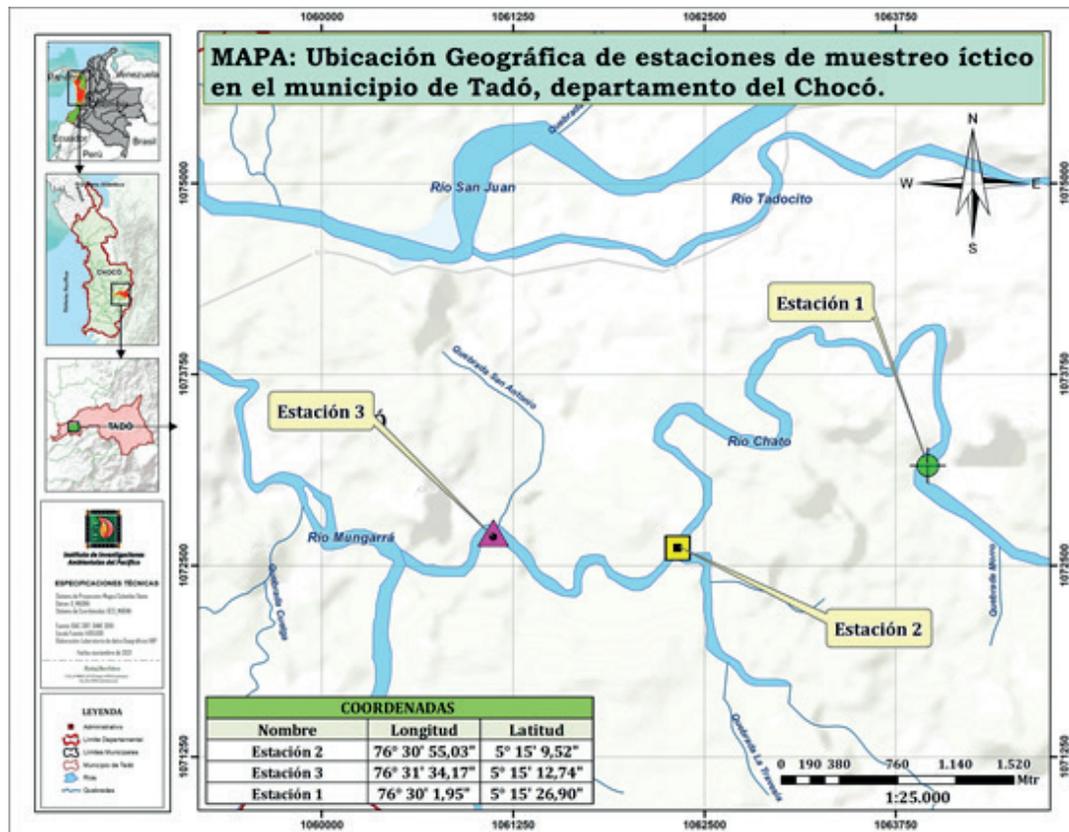


Figura 1. Estaciones de muestreos en la microcuenca del río San Juan.

denominadas: Togoramá, Charambirá, Cacaotal, Chavica y San Juan. Presenta una longitud de 410 km; a lo largo de su curso recibe más de 130 afluentes, entre los más importante está: Tadocito, Mungarrá, Iró, Condoto, Cajón, Sipí, Cucurrupí, Copomá, Tamaná, Munguúdo y Calima.

El municipio de Tadó limita con los de Lloró (N), Istmina y Condoto (S), Pueblo Rico (E) y Atrato y Unión Panamericana (O) (CODECHO-CÓ 1997). Posee una temperatura promedio de 28°C y una precipitación promedio anual entre 6.800 y 7.600 mm, con un comportamiento bimodal donde las épocas de mayores precipitaciones se presentan durante los meses de abril-junio y septiembre-noviembre. La humedad relativa oscila entre el 70% y -85%; el brillo solar oscila en un promedio de 3,4 horas/día (EOT 1998).

**Descripción de los sitios de muestreos**

*Estación 1 (Campo Alegre).* Se caracteriza por ser la zona de menor perturbación, cuerpos

de agua transparentes, sustrato areno-pedregoso, profundidad moderada, alta presencia de troncos y hojarasca, lo cual ofrece mayores lugares de refugio a la íctiofauna, remansos, la mayoría de sus márgenes con vegetación ribereña, bosque con suelo arcilloso, moderadamente intervenido, con una estructura disetánea dominado por Melastomataceae, Fabaceae, Myrtaceae, Areaceae, Heliconiaceae, Marantaceae, Miristicaceae y Cecropiaceae.

*Estación 2 (Manungará).* Se caracteriza por presentar aguas ligeramente rápidas, semiturbias y con presencia leve de sedimentación, profundidad moderada, alta diversidad de microambientes como hojarasca, ramas y tronco de árboles sumergidos, zonas de barrancos y poca modificación de sus riberas, abundante vegetación circundante discontinua dominada generalmente por Melastomataceae, Fabaceae, Moraceae, Musaceae y Araceae.

*Estación 3 (Tadó).* A lo largo de toda la fase de campo presenta aguas muy turbias, gravas gruesas y piedras, notables modificaciones del cuerpo de agua, ausencia de troncos y hojarasca, poca vegetación ribereña dominada por especies características de sitios intervenidos. En esta estación se evidenció la presencia de grandes huellas dejada por la minería con motobomba y maquinaria pesada.

*Muestreos.* Se realizaron muestreos mensuales tanto diurnos como nocturnos en las tres estaciones. Para las capturas se utilizó una red de arrastre de 3 m<sup>2</sup>, con ojo de malla de un cm, una atarraya de dos m<sup>2</sup> y anzuelos de diferentes tamaños.

En cada uno de los sitios de muestreo se utilizaron los mismos elementos de pesca, como la misma intensidad horaria y lances, de esta forma se logró un muestreo estándar para efectos de comparación. Inmediatamente después de aplicar los métodos, se procedió a colocar los peces en recipientes con agua limpia y aireadores de pilas para evitar el deterioro rápido y obtener buenos registros fotográficos.

Para la identificación de los ejemplares de cada especie se tomaron tres individuos, los cuales se depositaron en bolsas plásticas transparentes con una solución de formol al 10%, con sus respectivos datos de campo (nombre científico, nombre común, fecha, lugar de captura, arte utilizado) y fueron trasladados al laboratorio de Ictiología de la Universidad Tecnológica del Chocó, Chocó, Colombia, en donde se determinaron taxonómicamente con base en la literatura disponible en la región (Regan 1913, Eigenmann 1914, 1918, 1922, Fowler 1944, Dahl 1971, Miles 1971, Fink y Weitzman 1974, Maldonado-Ocampo *et al.* 2005, 2006, 2008, 2012). El listado se elaboró siguiendo a Maldonado-Ocampo *et al.* (2005) quienes realizaron la revisión de las clasificaciones más actuales. Hoy los especímenes hacen parte de la colección ictiológica de la Universidad Tecnológica del Chocó.

*Análisis de datos.* Para las estimaciones de

diversidad y variabilidad íctica, se calculó la abundancia relativa, mediante la fórmula:

$n/N * 100$  (n = número de individuos de una especie, N = número total de individuos de la comunidad), riqueza de Margalef:  $D = S - 1 / \ln N$ , dominancia de Simpson:  $\lambda = \sum p_i^2$ , diversidad de Shannon-Weaver:  $H = -\sum p_i * \ln p_i$  y equidad de Pielou  $\alpha = H/H'$  (Moreno 2001). Se evaluaron las diferencias estadísticas entre los resultados de los índices por estación, mediante análisis de varianzas de una vía (ANOVA) ( $p \geq 0,05$ ). Además, se aplicó la prueba de Fisher (*less significant differences*) para comparar los grupos de medias que mostraron diferencias significativas.

Los patrones de asociación entre especies, estaciones de muestreo y medidas ambientales se evaluaron mediante el uso de análisis multivariados en el siguiente orden: 1. Un análisis de componentes principales (ACP) examinó la variabilidad espacio temporal de las especies encontradas; los valores de abundancia relativa de estas fueron estandarizados logarítmicamente mediante la fórmula ( $Y' = \log(Y+1)$ ). 2. Un análisis de correspondencia canónica exploró las relaciones entre los valores de los índices ecológicos, IIB, promedios de los parámetros ambientales y estaciones de muestreo. 3. Por último, se realizó un análisis de varianza de una vía para comprobar las posibles diferencias entre los valores espacial y temporal del IIB. Estos procedimientos se hicieron con los programas estadísticos, Staptgraphics centurión XVIII y SPSS 4.2. y CANOCO vers. 5.1.

***Descripción y aplicación del índice de integridad biótica (IIB).*** Se ajustó a la íctiofauna el IIB propuesto por Karr (1981): la evaluación del modelo del IIB consiste en tres parámetros principales, que agrupan en general doce medidas. El primero hace referencia a la composición y riqueza de las especies, el segundo a las funciones tróficas y el tercero a la abundancia y condición. Las medidas fueron calificadas con los siguientes valores: (5, 3, 1): 5 si tenía una condición similar al esperado para una comunidad de peces característica de un



sistema prístino; 1 si tenía una condición similar a la esperada para una comunidad significativamente diferente de la condición de referencia; y 3 si se encontraba en una condición intermedia. La suma de los 12 atributos es el valor total del IIB, con lo que se puede clasificar un sistema en una de seis categorías, siendo 60 un sistema en perfectas condiciones.

Para los valores de referencia de las medidas 1, 2, 3 y 4, se consideraron varios aspectos: a) Inventarios ícticos en ríos de la misma cuenca (Ortega 2006); b) Inventarios ícticos en ríos de la cuenca del Atrato con similares condiciones a las corrientes muestreadas (Casas y Carrascal 2000, Córdoba y Mena 2003, Lozano 2001, Lozano e Hinestroza 2006, Scarpeta y Moreno 2003); c) Información acerca de la riqueza íctica de la microcuenca, obtenida por medio de encuestas a habitantes y pescadores de la zona de estudio. Las medidas del 5 al 9 se asignaron según la información histórica de las especies o taxas afines (Rodríguez y Taphorn 2005). También en información de trabajos sobre el IIB que se han realizado para Suramérica (Araújo 1998, Ferreira y Casatti 2006, Rodríguez *et al.* 2006, 2007).

## Resultados y discusiones

**Variables fisicoquímicas.** La temperatura del agua presentó poca variación entre las estaciones de muestreos, obteniéndose el mayor promedio en la estación uno (28°C); estos cuerpos de agua fueron moderadamente oxigenados, presentando el mayor valor en la misma estación (:6,2 mg/l), la conductividad fue baja, su registro más alto fue en la estación tres (26,1 *us/cm*). En general no hubo diferencias significativas entre estos parámetros por estación: temperatura ( $P_v=0,1$ ), oxígeno disuelto ( $P_v=0,35$ ), conductividad ( $P_v=0,46$ ).

**Íctiofauna.** Los muestreos ícticos dejaron el registro de 788 individuos, agrupados en 28 especies, 13 familias y cinco órdenes. Siluriformes (5 familia y 11 spp.), Characiformes (5 familia

y 8 spp.) y Perciforme (una familia y 5 spp.), fueron los órdenes con mayor representatividad. Si compararnos este resultado con los de Cala (1990), Maldonado *et al.* (2006), nos damos cuenta que estos grupos (Siluriformes, Characiformes y Perciforme) se mantienen como los de mayor diversidad en los sistemas hídricos del Chocó Biogeográfico. En este sentido, se puede decir que el éxito de estos grupos, puede estar marcado por la complejidad de sus conductas ecológicas, la cual le permite acoplarse a una variedad de ambientes acuáticos e incluso en ambientes con condiciones adversas, situación que favorece los organismos ícticos de estas taxas, ya que pueden aprovechar la disponibilidad de los recursos tróficos que estén en sus ambientes, incluyendo ítems alimenticio que van desde: vegetación acuática y terrestre, semillas, frutas, insectos, peces, hasta comedores de escamas, lo que demuestra que estos elementos modelan en gran parte la distribución de estos organismos en cuencas hidrográficas del neotrópico.

Referentes a las estaciones de muestreos, la zona dos (Manungará) presentó el mayor número de especies con 28, seguida de la estación uno (Campo Alegre) con 21 y por último la tres (Tadó) con 17 especies. Las especies mejores representadas entre los sitios de muestreo fueron: *Astyanax stilbe* (162 individuos), *Caquetaia umbrifera* (92 individuos) y *Caquetaia Kraussii* (75 individuos). Estos resultados pueden estar enmarcados en las características bióticas y abióticas de las estaciones (Manungará y Campo Alegre), en donde se evidenció una amplia oferta alimenticia y disponibilidad de microambientes que seguramente son utilizados por los peces para alimentarse, protegerse y reproducirse.

**Índice de diversidad.** La diversidad fue moderada, siendo la estación dos la más diversa ( $H=2,51$ ,  $D=3,95$ ). Los valores resultantes de  $H$  y  $D$  fueron diferentes significativamente,  $H$  ( $F=4,34$ ,  $P_v=0,04$ ) y  $M$  ( $F=5,69$ ,  $P_v=0,02$ ). El test de Fisher comprobó la mayor discrepancia en

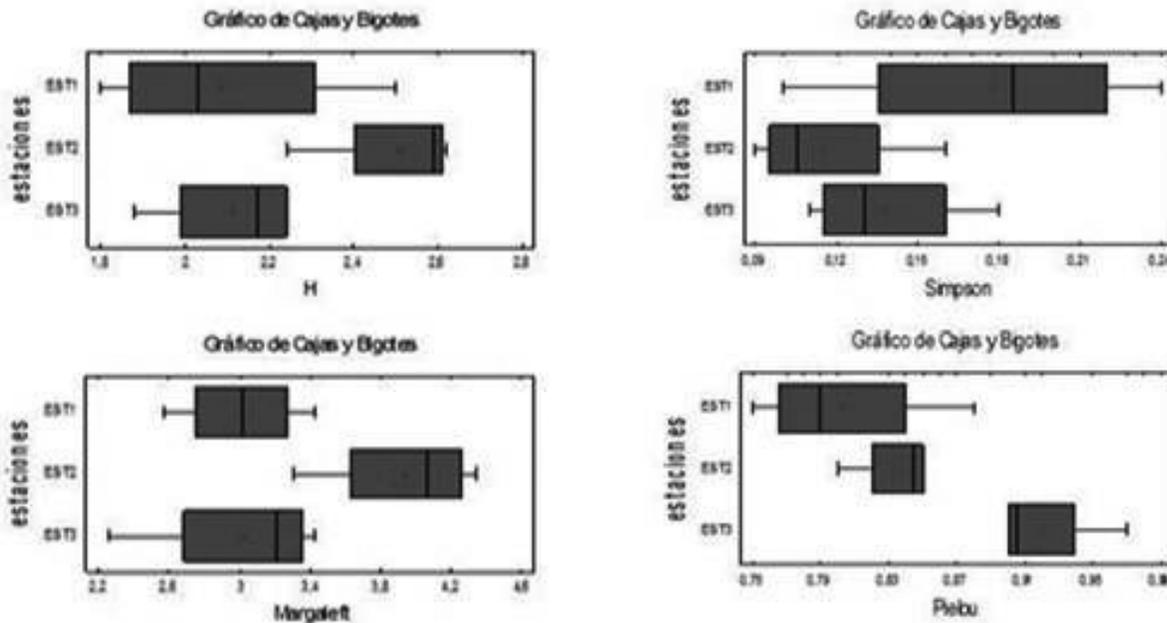


Figura 2. Medias de los índices de diversidad para la microcuenca del río San Juan.

la estación dos respecto a las otras (uno y tres). Por su parte, los valores de Simpson y equidad de Pielou, indicaron que no hubo dominancia, que las especies estuvieron repartidas equitativamente y no mostraron diferencias significativas en las tres estaciones de muestreo (Figura 2).

**Índice de integridad biótica.** Según el valor arrojado por el IIB, la estación dos presentó la categoría de evaluación más alta (46), lo que significa que esta corriente presenta buen estado. A pesar de este resultado, el autor del IIB (Karr y Dudley 1981), manifiesta que, con este dato, la riqueza específica está por debajo de lo esperado y posiblemente se ha perdido parte de las especies intolerantes, algunas presentan abundancias menores a las esperadas y la estructura trófica muestra algunos síntomas de estrés. Sin embargo, es importante expresar, que seguramente la puntuación del IIB en esta estación esté relacionada con el disturbio que se observó a la hora de los muestreos en diferentes tramos de esta estación, lo que induce en gran medida al desplazamiento rápido de especies sensible.

El análisis realizado a partir del dato del IIB

obtenido para esta estación, concuerda con los postulados de Davis (1995), Karr *et al.* (1986) y Aguilar (2005), quienes manifiestan que fuentes hídricas con sinuosidad, diversidad de sustratos, refugios naturales y vegetación ribereña en sus orillas, se considerara como un canal óptimo para la movilidad de especies, y por lo tanto, se espera que obtengan un grado alto de calidad. Sin embargo, estos autores aclaran que en fuentes con disturbios intermedios la diversidad puede disminuir por la migración de especies intolerantes a las alteraciones.

La estación uno reportó 42 puntos, lo que traduce a una calificación media del IIB, esto significa que esta estación no presenta alteraciones alarmantes, por lo que se podría considerar como un cuerpo de agua óptima para la vida acuática. Es por esto entonces, que se registraron los más altos porcentajes de individuos omnívoros, especialistas, y piscívoros. Aun así, hay que aclarar que el resultado de esta estación posiblemente estuvo determinado en gran parte por la alta precipitación, lo que aumentó el caudal de la microcuenca, dificultando los muestreos, factor



que pudo contribuir a una tendencia en la disminución del índice.

Por último, la estación tres, mostró una calificación pobre con 30 puntos del IIB, esto indicó que la zona presenta pocas características bióticas y abióticas para el mantenimiento de la diversidad íctica. En esta estación se encontraron valores preocupantes en riqueza específica, pocas especies con conductas trófica especialista, diversidad baja y porcentaje de individuos con tumores o deformaciones. Estos resultados están ligados posiblemente con el disturbio, producto de la actividad minera que desde décadas alberga este sitio, en donde, el uso de máquinas pesadas, como retroexcavadora y motobombas, pudieron causar modificaciones en el cauce, destrucción de ecosistemas frágiles y la formación de barreras que imposibilitan la movilidad de la fauna íctica.

Por su parte los residuos mineros como aceites, grasas y precursores químicos, al ingreso a la fuente alteran de manera inmediata las variables físico-químicas de las que dependen algunos peces con ciertos requerimientos específicos, situación poco benéfica a estos organismos, porque esta situación no les permite desarrollar normalmente sus actividades ecológicas. Las consideraciones expuestas antes, pueden explicar el motivo por el cual esta estación reportó bajo valor en el IIB, mostrando la efectividad del índice sobre los organismos ícticos y brindar dar respuesta a las condiciones de un cuerpo de agua.

Por otro lado, no se encontró diferencias significativas temporal ni espacial, para los valores del IIB ( $P_v > 0,05$ ). Generalmente los valores del IIB fueron moderados coincidiendo con varios estudios realizados para algunas fuentes hídricas en Suramérica (Marciano *et al.* 2004, Ferreira y Casatti 2006, Rodríguez-Olarte *et al.* 2007).

#### **Análisis de componentes principales (ACP).**

El ACP aplicado a los valores de abundancias específicas por muestreos explicó el 44,5% de la variabilidad total en su segundo eje, donde se evidenciaron tres grandes grupos: el primero

conformado por: *Astyanax fasciatus*, *Rineloricaria jubata*, *Lebiasina* sp., *Andinoacara pulcher*, *Caquetaia kraussii*, *Pseudopimelodus* sp., *Hyposotomus* sp., *Hoplias malabaricus* y *Creagrutus* sp. El segundo por: *Sternopygus aequilabiatu*, *Eigenmannia humboldtii*, *Rhamdian quelen*, *Ancistrus centrolepis*, *Cetopsis amphiloza*, *Astyanax stilbe*, *Pimelodella chagresis*; y el tercero: *Caquetaia umbrifera*, *Brycon henni*, *Crossoloricaria variegata*, *Geophagus pellegrini*, *Poecilia* sp. y *Chaetostoma* sp. La estación dos presentó la menor variación, seguida de la tres: la uno mostró la mayor dispersión espaciotemporal. *A. fasciatus*, *C. variegata* y *Poecilia* sp. fueron exclusivas de la estación dos. *G. steindachner* se encontró en la uno y dos (Figura 3).

El análisis de correlación canónica aplicado a las variables fisicoquímicas, índices ecológicos, variables del hábitat y las especies entre las estaciones de muestreos, explicó el 64,6% de la variabilidad. En cuanto a la relación entre los índices ecológicos y las variables ambientales hay que decir que H y M presentaron correlación positiva con la velocidad de la corriente ( $r = 0,76$  y  $0,73$ ), el caudal ( $r = 0,70$  y  $0,67$ ) y negativa con el oxígeno disuelto ( $r = -0,49$ ;  $-0,46$ ), conductividad eléctrica ( $r = -0,95$ ;  $-0,97$ ) y la temperatura ( $r = -0,99$ ;  $-0,99$ ). El IIB presentó correlación positiva con la profundidad ( $r = 0,81$ ) y la transparencia ( $r = 0,54$ ) y negativa con el ancho del canal ( $r = -0,82$ ), la granimetría ( $r = -0,87$ ), la conductividad eléctrica ( $r = -0,84$ ) y la temperatura ( $r = -0,65$ ) (Figura 4).

La estación uno presentó relación con la profundidad, transparencia, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad, dominancia y las especies intolerantes de *C. hujeta* y *Pseudopimelodus* sp., lo que muestra una gran correspondencia, porque esta estación fue tomada como prístina (área de referencia). Además, se evidenció una preferencia de las especies de la familia Cichlidae y las especies piscívoras por esta estación. La estación dos estuvo relacionada con la abundancia, número de especies, diversidad (H y D), velocidad

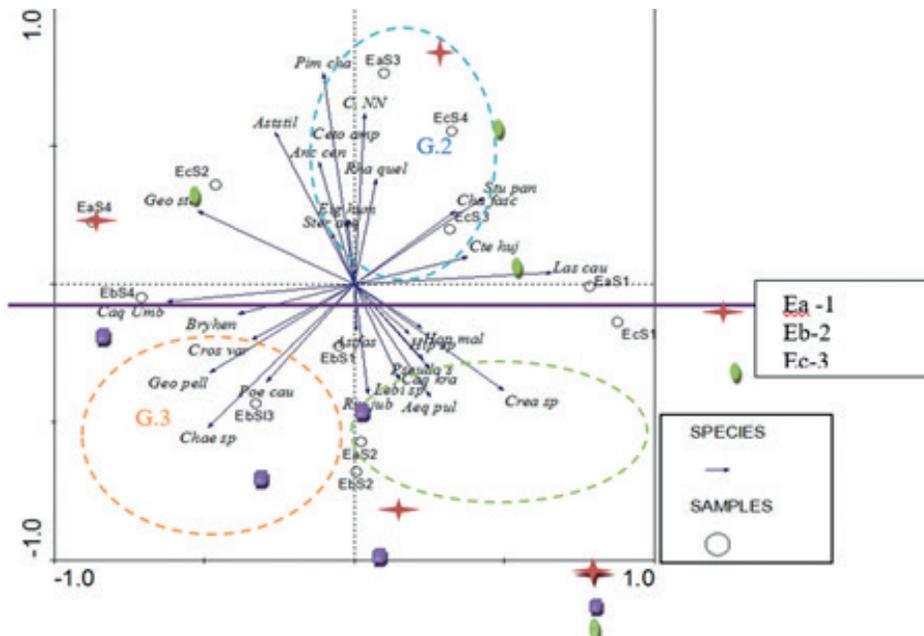


Figura 3. Análisis de componentes principales entre las abundancias de las especies y los muestreos en la microcuenca del río San Juan.

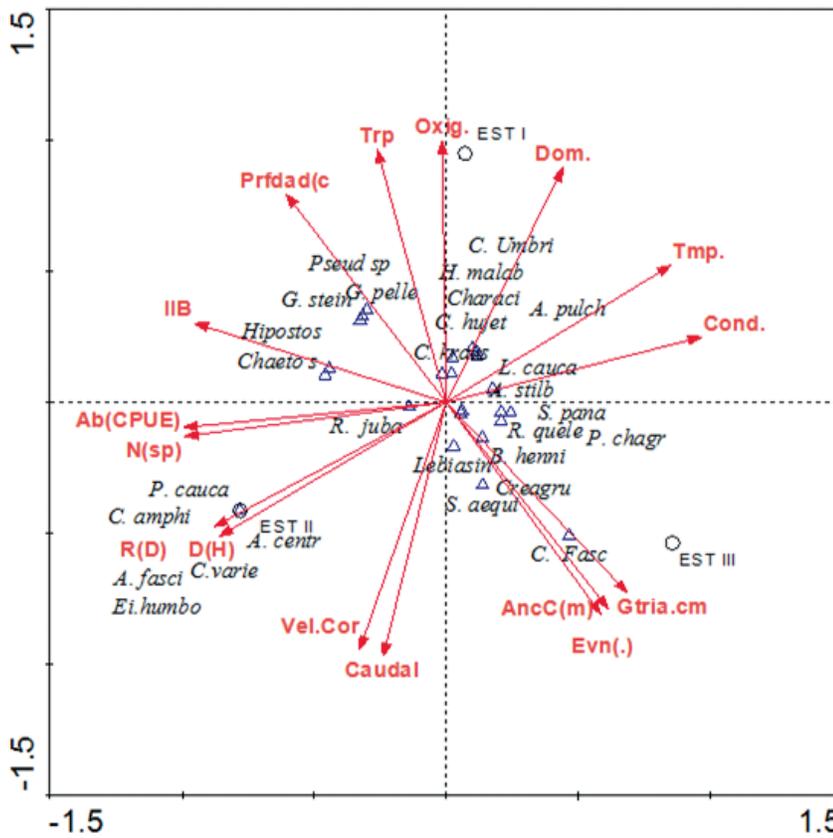


Figura 4. Análisis de correlación canónica para las variables fisicoquímicas, índices ecológicos, variables del hábitat y las especies entre estaciones de muestreos.



de la corriente y el caudal, lo que confirma que esta estación fue la más diversa. *A. fasciatus*, *P. caucana*, *C. amphiloza*, *A. centrolepis*, *C. variegata* y *E. humboldtii*, solo se encontraron en esta estación. La estación tres mostró relación con el ancho del canal, con los Characidos, el IIB presentó relación con las estaciones uno y dos, siendo mayor en esta última.

## Conclusiones

El IIB muestra claramente la existencia de cambios en la calidad de agua a lo largo de toda la fuente hídrica estudiada, pasando de bueno en la estación Manungará a medio en la estación Campo Alegre y pobre en la estación Tadó. Esta situación refleja la sensibilidad del índice para dar respuestas a pequeños cambios en la calidad del agua, provocados por actividades antropogénicas como la minería que afectan profundamente los ecosistemas acuáticos de la región del San Juan.

Después de aplicar el IIB, se puede decir sin duda, que es una herramienta confiable que permite monitorear en tiempo los cuerpos de agua del Chocó Biogeográfico y que a partir de sus resultados se pueden tomar decisiones por parte de las autoridades ambientales.

Es importante tener claro que los peces por sí solos, no se pueden considerar indicadores de calidad de agua, porque estos deben obedecer a unos criterios ecológicos, ambientales y biológico, que permitan su calificación a través de herramientas, como por ejemplo el IIB.

Elementos como abundancia, diversidad, variables fisicoquímicas, análisis de componentes principales y las observaciones directas en campo, permitieron dar una visión muy detallada del estado de cada estación, lo que hizo más efectiva la aplicación del IIB.

## Agradecimientos

Los autores expresan sus más sinceros agra-

decimientos al Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP) por la financiación, apoyo y acompañamiento en esta investigación y al Consejo Comunitario del Alto San Juan (ASOCASAN), por el apoyo brindado y permitir la realización de esta investigación en su territorio. Finalmente, dedicamos este trabajo a nuestro mentor Camilo Ernesto Rincón quien en vida nos brindó toda su disposición para cumplir en calidad y tiempo con los objetivos propuestos en esta investigación. Un ser humano con grandes cualidades, que lo hacían único como persona y profesional. Este artículo va dedicado a usted profesor, amigo y hoy colega. Abrazos al Cielo.

## Literatura citada

- Aguilar A. 2005. Los peces como indicadores de la calidad de ecológica del agua. Rev Digital Universitaria. 6 (8): 1-14. Disponible en: <https://bit.ly/3nvmLNN>
- Alcaldía del municipio de Tadó. 1998. Esquema de ordenamiento territorial.
- Araújo FG. 1998. Adaptação do índice de integridade biótica usando a comunidade de peixes para o rio Paraíba do Sul. Rev Brasil Biol. 58 (4): 547-58. Disponible en: <https://bit.ly/3I7KhIB>
- Araújo FG, Fichberg I, Pinto BCT, Peixoto MG. 2003. A preliminary index of biotic integrity for monitoring the condition of the Rio Paraíba do Sul, Southeast Brazil. Environ Manag. 32 (4): 516-26. Disponible en: <https://bit.ly/327tQgg>
- Boulton AJ. 1999. An overview of river health assessment: philosophies, practice, problems and prognosis. Freshwater Biol. 41 (2): 469-79. Disponible en: <https://bit.ly/3nwAPXz>
- Breine J, Simoens I, Goethals P, Quataert P, Ercken D, Van Liefferinghe C, et al. 2004. A fish-based index of biotic integrity for upstream brooks in Flanders (Belgium). Hydrobiologia. 522: 133-48. Disponible en: <https://bit.ly/3GCmIY7>
- Cala P. 1990. Diversidad, adaptación ecología y distribución geográfica de las familias de peces de aguadulce de Colombia. Rev Acad Colomb Fac Cien Ex Fís Nat. 17 (67): 720-40.
- Carpenter KE, Johnson JM, Buchanan C. 2006. An index of biotic integrity based on the summer polyhaline zooplankton community of the Chesapeake Bay. Mar Environ Res. 62 (3): 165-80. Disponible en: <https://>

- bit.ly/3osE0jc
- Casas J, Carrascal O. 2000. Composición y estructura de las comunidades de la quebrada Chaparraidó, Sistema Hídrico del medio Atrato, Quibdó, Chocó (Colombia). Trabajo de grado. Quibdó: Programa de Biología con énfasis en Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad Tecnológica del Chocó. 68 pp.
- Contreras-Balderas S, Ramírez-Flores M. 2000. Biodiversidad en las aguas continentales de México. Estado de salud de la acuicultura. Instituto Nacional de la Pesca, Dirección General de Investigación en Acuicultura (México). 1(4): 1-13.
- Contreras-Balderas S, Lozano-Vilano ML, García-Ramírez M.E. 2001. Índice biológico de integridad del río Sabinas, Coahuila, México. Mexico: Gobierno de Coahuila. Reporte Técnico.
- Contreras-Balderas S, Lozano-Vilano ML, García-Ramírez ME. 2003. Índice biológico de integridad del río Conchos, Chihuahua, México. México: World Wildlife Fund. Reporte Técnico.
- Córdoba ID, Mena N. 2003. Inventario preliminar de la ictiofauna de la quebrada Doña Josefa, sistema hídrico del río Atrato, Chocó, Colombia. Trabajo de grado. Quibdó: Universidad Tecnológica del Chocó.
- Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible del Chocó (CODECHOCÓ). 1997. Plan de gestión ambiental urbano: municipio de Tadó.
- Contrera-Balderas S, Lozano-Vilano N, García-Ramírez M. 2001. Índice biológico de integridad histórico del reservorio Presa Venustiano Carranza, río Sabinas/río Brabo, Coahuila, México. Informe Técnico. Coahuila: Instituto Ecológico de Coahuila.
- Contrera-Balderas S, Lozano-Vilano N, García-Ramírez M. 2004. Índice biológico de integridad versión histórica (IBIH) en el río Concho, Chihuahua, México. Bioconservación Universidad A. de Nuevo León, San Nicolás, México.
- Crewe TL, Timmermans STA. 2005. Assessing biological integrity of great lakes coastal wetlands using marsh bird and amphibian communities. Project WETLAND3-EPA 01 Technical Report. 88 pp.
- Dahl G. 1971. Los peces del norte de Colombia. Ministerio de Agricultura, Instituto de Desarrollo de los Recursos Naturales Renovables (INDERENA). Bogotá: INDERENA. 391 pp.
- Davis WS, Simon TP. 1995. Biological assessment and criteria: tools for water resource planning and decision making. pp. 15-29. Boca Raton: Lewis Publishers. 432 pp.
- Drake MT, Pereira DL. 2003. Development of a fish-based index of biotic integrity for small inland lakes in central Minnesota. *North Am J Fish Manag.* 22 (4): 1105-23. Disponible en: <https://bit.ly/3tw8hkH>
- de la Lanza G, Hernández S, Carbajal JL. 2000. Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores). México: Semarnap, Comisión Nacional del Agua, PYV, UNAM 633 pp. Disponible en: <https://bit.ly/3KroZI6>
- Eigenmann CH, Henn W, Wilson C. 1914. New fishes from western Colombia, Ecuador, and Peru. *Indiana University Studies.* 19: 1-15.
- Eigenmann CH. 1918. The Pygidiidae, a family of South American catfishes. *Memoirs of the Carnegie Museum.* 7: 259-398.
- Eigenmann CH. 1922. Fishes of Northwestern South America. Part I. The fresh-water fishes of northwestern South America, including Colombia, Panamá, and the Pacific slopes of Ecuador and Perú, together with an appendix upon the fishes of the Río Meta in Colombia. *Memoirs of the Carnegie Museum.* 9 (1): 1-346.
- Fink WL, Weitzman SH. 1974. The so-called Cheirodontin fishes of Central America with descriptions of two new species (Pisces: Characidae). *Smithson Contrib Zool.* 172: i-iii + 1-46.
- Ferreira CdeP, Casatti L. 2006. Integridade biótica de um córrego na bacia do Alto Rio Paraná avaliada por meio da comunidade de peixes. *Biota Neotrop.* 6 (3): 1-25. Disponible en: <https://bit.ly/3Gzp1uW>
- Flotemersch JE, Stribling JB, Paul MJ. 2006. Concepts and approaches for the bioassessment of non-wadeable streams and rivers. Washington, DC: US Environmental Protection Agency (EPA)/ 600/R-06/127. Disponible en: <https://bit.ly/33kIYIN>
- Fowler HW. 1944. Fresh-water fishes from northwestern Colombia. *Proceed Acad Nat Sci Philadelphia.* 96: 227-48.
- Glennon MJ, Porter WF. 2005. Effects of land use management on biotic integrity: An investigation of bird communities. *Biol Conserv.* 126: 499-511. Disponible en: <https://bit.ly/3fw3k2Z>
- Hart BT, Maher B, Lawrence I. 1999. New generation water quality guidelines for ecosystem protection. *Freshwater Biol.* 41 (2): 347-59. Disponible en: <https://bit.ly/3rqTSU2>
- Hill BH, Herlihy AT, Kaufmann PR, DeCelles SJ, Vander Borgh MA. 2003. Assessment of streams of the eastern United States using a periphyton index of biotic integrity. *Ecol Indicators.* 2 (4): 325-38. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00062-6](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00062-6)
- Hued AC, Bistoni MDA. 2005. Development and validation of a biotic index for evaluation of environmental quality in the central region of Argentina. *Hydrobiologia.* 543: 279-98. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10750-004-7893-1>



- Hughes RM, Oberdorff T. 1998. Applications of IBI concepts and metrics to waters outside the United States and Canada. pp. 79-93. In: Simon TP (ed.) *Assessing the sustainability and biological integrity of water resources using fish communities*. Boca Raton: CRC. 672 pp. Disponible en: <https://bit.ly/3nxCk7H>
- Hugueny B, Carnara S, Samoura B, Magassouba M. 1996. Applying an index of biotic integrity based on fish assemblages in a West African river. *Hydrobiologia*. 331: 71-8. Disponible en: <https://bit.ly/3FF3Qqk>
- Jameson SC, Erdmann MV, Karr JR, Potts KW. 2001. Charting a course toward diagnostic monitoring: A continuing review of coral reef attributes and a research strategy for creating coral reef indexes of biotic integrity. *Bull Mar Sci.*, 69 (2): 701-44. Disponible en: <https://bit.ly/3qzHU50>
- Karr JR. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*. 6 (6): 21-6. Disponible en: <https://bit.ly/3Guzg3l>
- Karr JR, Dudley DR. 1981. Ecological perspective on water quality goals. *Environ Manag.* 5 (1): 55-68. Disponible en: <https://bit.ly/3qv4u5i>
- Karr JR, Fausch KD, Angermeier PL, Yant PR, Schlosser IJ. 1986. Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. Champaign: Illinois Natural History Survey. Special Publication 5. Disponible en: <https://bit.ly/3GuzKH4>
- Kesminas V, Virbickas T. 2000. Application of an adapted index of biotic integrity to rivers of Lithuania. *Hydrobiologia*. 422/423: 257-70. Disponible en: <https://bit.ly/3tyiGfS>
- Lacouture RV, Johnson JM, Buchanan C, Marshall HG. 2006. Phytoplankton index of biotic integrity for Chesapeake Bay and its Tidal Tributaries. *Estuaries Coasts*. 29(4): 598-616. Disponible en: <https://bit.ly/33EBrmX>
- Lozano A, Hinestroza E. 2006. Estructura y composición de la comunidad de peces presentes en el río Tanandó, municipio del Atrato, Chocó, Colombia. Tesis de grado. Quibdó: Universidad Tecnológica del Chocó.
- Lozano Y. 2001. Composición de las comunidades de peces presentes en el río Tutunendo, sistema hídrico del Medio Atrato, Quibdó, Chocó, Colombia. Tesis de Grado. Quibdó: Universidad Tecnológica del Chocó.
- Lyons JF, Navarro-Pérez S, Cochran PA, Santana E, Guzmán-Arroyo M. 1995. Index of Biotic Integrity based on fish assemblages for the conservation of streams and rivers in west-central Mexico. *Conserv Biol*. 9 (3): 569-84. Disponible en: <https://bit.ly/3nuKfme>
- Lyons J, Gutiérrez-Hernández A, Díaz-Pardo E, Soto-Galera E, Medina-Nava M, Pinedalopez R. 2000. Development of a preliminary index of biotic integrity (IBI) based on fish assemblages to assess ecosystem condition in the lakes of central Mexico. *Hydrobiologia*. 418 (1): 57-72. Disponible en: <https://doi.org/10.1023/A:1003888032756>
- Maldonado J, Ortega A, Usma J, Galvis G, Villa F, Vásquez L, *et al.* 2005. *Peces de los Andes de Colombia. Guía de campo*. Bogotá: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos "Alexander von Humboldt". 346 pp. Disponible en: <https://bit.ly/3tuJwp5>
- Maldonado-Ocampo JA, Villa-Navarro FA, Ortega-Lara A, Prada-Pedrerros S, Jaramillo U, Claro A, *et al.* 2006. Peces del río Atrato, zona hidrogeográfica del Caribe, Colombia. *Biota Colomb*. 7 (1): 143-54.
- Maldonado-Ocampo JA, Vari RP, Usma JS. 2008. Checklist of the freshwater fishes of Colombia. *Biota Colomb*. 9: 143-237.
- Maldonado-Ocampo JA, Usma Oviedo JS, Villa-Navarro FA, Ortega-Lara A, Prada-Pedrerros S, Jiménez LF, *et al.* 2012. *Peces dulceacuícolas del Chocó Biogeográfico de Colombia*. Bogotá: WWF Colombia, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Universidad del Tolima, Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca, Pontificia Universidad Javeriana. 400 pp.
- Marciano FT. 2001. Estudo limnológico da bacia do rio Sorocaba (SP) e utilização do índice de integridade biótica da comunidade de peixes para avaliação ambiental. Dissertação de Mestrado. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 89 pp. Disponible en: <https://bit.ly/33gHHI3>
- Marciano FT, Chaudhry FH, Ribeiro FH, De B MCL. 2004. Evaluation of the index of biotic integrity in the Sorocaba River Basin (Brazil, SP) based on fish communities. *Acta Limnol Bras*. 16 (3): 225-37. Disponible en: <https://bit.ly/3qxtLeZ>
- Miller SJ, Wardrop DH, Mahaney WM, Brooks RP. 2006. A plant-based index of biological integrity (IBI) for headwater wetlands in central Pennsylvania. *Ecol Indicators*. 6 (2): 290-312. Disponible en: <https://bit.ly/3241T93>
- Miles C. 1971. *Los peces del río Magdalena*. 2ª ed. Ibagué: Universidad del Tolima, Centro Audiovisual. 242 pp.
- Moreno CE. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad. M&T-Manuales y Tesis SEA*, vol. 1. Zaragoza: Sociedad Entomológica Aragonesa. 84 pp. Disponible en: <https://bit.ly/33lQORa>
- McDowall RM, Taylor MJ. 2000. Environmental indicators of habitat quality in a migratory freshwater fish fauna. *Environ Manage*. 25 (4): 357-74 pp. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s002679910028>
- Oberdorff T, Hughes RM, 1992. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France. *Hydrobiologia*. 228:

- 117-30. Disponible en: <https://bit.ly/3fway7o>
- Oberdorff T, Pont D, Hugueny B, Porcher JP. 2002. Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France. *Freshwater Biol.* 4 (9): 1720-34. Disponible en: <https://bit.ly/3Fz2vRu>
- Ortega A, Usma JS, Bonilla PA, Santos NL. 2006. Peces de la cuenca del río Patía, vertiente del Pacífico colombiano. *Biota Colomb.* 7 (2): 179-90. Disponible en: <https://bit.ly/3GAZrWC>
- Paller MH, Reichert MJM, Dean M, Seigle JC. 2000. Use of fish community data to evaluate restoration success of a riparian stream. *Ecol Eng.* 15: 171-187. Disponible en: <https://bit.ly/33EG0xB>
- Peláez M. 2001. Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu/SP (Ribeirão do Feijão e Rio do Monjolinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas. Tesis de Doctorado. São Carlos: Doutor em Ciências de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo. Disponible en: <https://bit.ly/3fvRHJq>
- Pinto B, Araújo FG. 2007. Assessing of biotic integrity of the fish community in a heavily impacted segment of a tropical river in Brazil. *Braz Arch Biol Technol.* 50 (3): 489-502. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000300015>
- Puente A, Juanes JA, García A, Álvarez C, Revilla JA, Carranza I. 2008. Ecological assessment of soft bottom benthic communities in northern Spanish estuaries. *Ecol Indic.* 8: 373-88. Disponible en: <https://bit.ly/3rlYYRx>
- Regan CT. 1913. The fishes of the San Juan River, Colombia. *Ann Mag Nat Hist.* 12: 462-73.
- Rivera M. 1994. Utilización de la ictiofauna como indicadora de la integridad biótica de los ríos Guache y Guanare estado Portuguesa, Venezuela. Trabajo de grado. Guanare: Unellez, Vicerrectorado de producción agrícola, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora. 33 pp.
- Rivera M, Marrero CJ. 1995. Determinación de la calidad de las aguas en las cuencas hidrográficas, mediante la utilización del índice de integridad biótica (IIB). *Biollania*, 11:127-148.
- Rodríguez-Olarte D, Amaro A, Coronel J, Taphorn DC. 2006. Integrity of fluvial fish communities is subject to environmental gradients in mountain streams, Sierra de Aroa, north Caribbean coast, Venezuela. *Neotrop Ichthyol.* 4 (3): 319-28. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S1679-62252006000300003>
- Rodríguez-Olarte D, Amaro A, Coronel J, Taphorn DC. 2007. Línea base para la estimación de la integridad en comunidades de peces en la cuenca del río Tocu-yo, vertiente del Caribe, Venezuela. *Memorias de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*, 165: 63-81. Disponible en: <https://bit.ly/3rmqz5k>
- Scarpeta G, Moreno J. 2003. Diversidad de la quebrada Pandó, sistema hídrico del Alto Atrato, Quibdó, Chocó, Colombia. Tesis de Grado. Quibdó: Universidad Tecnológica del Chocó.
- Terra LCC. 2004. Avaliação da integridade biótica do rio Formoso e Corrego Bonito, na bacia do rio Formoso, município de Bonito, Mato Grosso do Sul. Dissertação de Mestrado. Campo Grande: UNIDERP.
- Toham AK, Teugels GG. 1999. First data on an Index of Biotic Integrity (IBI) based on fish assemblages for the assessment of the impact of deforestation in a tropical West African river system. *Hydrobiologia.* 397: 29-38. Disponible en: <https://bit.ly/3qxrsJ5>
- USEPA United States Environmental Protection Agency. 2007. An Introduction to the Index of Biotic Integrity.
- Wichert G, Rapport DJ. 1998. Fish community structure as a measure of degradation and rehabilitation of riparian systems in an agricultural drainage basin. *Environ Manag.* 22 (3): 425-43. Disponible en: [https://DOI:10.1007/s002679900117](https://doi.org/10.1007/s002679900117)