



Propuesta de un indicador de calidad biológica del agua en la evaluación del manejo sostenible de tierras (MST) en Cuba

Proposal of an indicator of biological quality of water in the evaluation of sustainable land management (SLM) in Cuba

¹Yariannis González Villalobos^{1,*}, ²Rodet Rodríguez-Silva², ³Lucia Hechavarria Schwesinger³, ⁴Juan Rodolfo Sánchez Correa⁴

RESUMEN

¹ Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), La Habana, Cuba.

² Departamento de Biología, Universidad de Oklahoma, USA.

*Correspondencia: yariannisgv@ecologia.cu

Recibido: 28 de febrero de 2022

Aceptado: 11 de julio de 2022

Conflicto de intereses: Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES: YGV: conceptualización, metodología, validación, investigación, redacción del borrador original, revisión y edición final. RRS y LHS: conceptualización, metodología, validación, revisión y edición final. JRSC: investigación, redacción del borrador original



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia Creative Commons



<https://cu-id.com/2402/v221e04>

El uso de indicadores biológicos para la evaluación de la calidad del agua, es cada vez más aplicado en el mundo, gracias a la cantidad de información que puede ser obtenida a través de los organismos acuáticos. Dos de los grupos de organismos dulciacuícolas más utilizados son el fitoplancton y los peces, y aunque varios trabajos exponen el uso de estos, su combinación no ha sido muy explotada. Con el objetivo de determinar la calidad del agua en sitios bajo manejo sostenible de tierras, se propuso un indicador de calidad biológica del agua, que incluyó estos dos componentes de la biodiversidad. Se trabajó en las cuatro áreas de intervención del Programa de Asociación de País CPP-OP15 sobre Manejo Sostenible de Tierras; se evaluaron 15 acuatorios durante el período de diagnóstico entre los años 2018 y 2019, en las estaciones de lluvia y seca. El bioindicador integrado reveló resultados de calidad entre regular y bien para todos los acuatorios evaluados, lo que respondió al predominio de microorganismos del fitoplancton típicos de una mediana contaminación, así como, a la presencia de peces tolerantes. El análisis de estos organismos para determinar la calidad del agua, en fuentes de agua utilizadas para el regadío de los cultivos, puede ser aprovechado como una herramienta eficaz en zonas agrícolas. El presente trabajo resultó una primera propuesta de este indicador biológico, pero la intención es continuar su validación y consecuente generalización para evaluar sistemas de agua dulce en el país.

Palabras clave: bioindicadores, calidad de agua, fitoplancton, peces dulciacuícolas

ABSTRACT

The use of biological indicators for the evaluation of water quality is increasingly applied in the world due to the amount of information that can be obtained through aquatic organisms. Two of the most widely used freshwater organisms are phytoplankton and fishes, and although several studies show the use of these separately, their combination has not been much exploited. With the objective to determine water quality in sites under sustainable land management, an indicator of biological water quality was proposed, which included these two components of biodiversity. Work was done on the four intervention areas of the CPP-OP15 Country Association Program on Sustainable Land Management, 15 aquatories were evaluated during the diagnostic period between 2018 and 2019, in the rain and dry seasons. The integrated bioindicator revealed quality results between regular and good for all evaluated aquatories, which responded to the predominance of phytoplankton microorganisms typical of medium contamination as well as the presence of tolerant fish species. The analysis of these organisms to determine the quality of the water used for the irrigation of crops can be utilized as an effective tool in agricultural areas. The present work was a first proposal of this biological indicator, but the intention is to continue its validation and consequent generalization to evaluate freshwater systems in the country.

Keywords: bioindicators, freshwaters fishes, phytoplankton, water quality

INTRODUCCIÓN

El recurso agua ha sido explotado a lo largo de la historia por sus valores inigualables, pues la biocenosis presente en la Tierra depende de este para sobrevivir. Sin embargo, su uso indiscriminado en las últimas décadas se ha incrementado, así como el deterioro de su calidad. En los ecosistemas acuáticos puede ocurrir un aumento en la concentración de nutrientes, especialmente de nitratos y fosfatos, proceso que se denomina eutrofización y que puede ser reversible. No obstante, en la actualidad la eutrofización ha ido en aumento, debido a la constante incorporación de desechos a los cuerpos de agua como consecuencia del desarrollo humano; trayendo consigo también daños y pérdida de la biodiversidad. La disponibilidad de este recurso renovable tiene límites, por lo que su ahorro y cuidado adquiere más interés para poder ser aprovechado en la posteridad (UNESCO, 2019).

La determinación de la calidad del agua está en función de los usos a los que esté destinada, se encuentra condicionada por componentes orgánicos e inorgánicos y es esencial para garantizar la salud y vida de las especies en los sistemas acuáticos (Moliner y Masaquer, 1996; Velázquez y Vega, 2004; Itzep *et al.*, 2009). La utilización de agua de buena calidad constituye una de las medidas prioritarias dentro del Programa Nacional de Manejo Sostenible de Tierras (MST) (Urquiza *et al.*, 2011), debido a su alta demanda en los procesos productivos, sobre todo en la actividad de regadío de los cultivos en los sitios MST. Uno de los principios expuestos en el Manual de Procedimientos para el MST en Cuba, es implementar alternativas para asegurar el uso más efectivo y la condición óptima del agua, con el fin de evitar resultados catastróficos para los suelos, para los atributos de los productos y para la vida de los consumidores de estos productos (Urquiza *et al.*, 2011).

Para analizar la calidad del agua se realizan análisis físico-químicos, que se complementan cada vez más con los biológicos. Estos últimos cobran relevancia, pues constituyen una fuente de información útil para conocer la integridad biótica del ecosistema acuático. La aplicación de bioindicadores, como el fitoplancton y los peces con estos fines se ha extendido por el mundo. El primero con sus orígenes en Alemania (Comas *et al.*, 2009) y el segundo en Norteamérica (Karr, 1981).

El fitoplancton es la parte del plancton compuesta por bacterias fotosintetizadoras y microalgas, que se

encuentran a merced de las corrientes y están agrupadas en ocho grupos aceptados para Cuba (Peraza y Comas, 2017). De estos grupos, las cianobacterias, las clorofitas, los euglenófitos y las diatomeas resaltan por su poder de bioindicación; pues a partir de su presencia y composición poblacional advierten sobre la saprobiidad o contaminación de las aguas por materia orgánica u otros contaminantes en el medio. Las cianobacterias tienen un desarrollo vertiginoso en aguas residuales contaminadas, indicando así condiciones de saprobiidad (Gaíney y Lord, 1961). Este grupo, además, incluye especies potencialmente tóxicas, capaces de originar toxinas que provocan afecciones a nivel epidérmico, neurológico y hepático, que pueden desencadenar la muerte de diversos organismos, incluso al hombre (WHO, 2003). Las clorofitas son numerosas y con un amplio rango de distribución. Los euglenófitos constituyen otro grupo que se desarrolla en ambientes ricos en materia orgánica y se adaptan a estas condiciones para su crecimiento (Gaíney y Lord, 1961). Las diatomeas, por otro lado, desencadenan respuestas rápidas ante cambios físicos, químicos y biológicos, y su abundancia y amplia distribución las hacen indicadores muy factibles (López y Siqueiros, 2011).

Por su parte, las comunidades de peces han emergido como un recurso de la bioindicación, ya que son organismos relativamente fáciles de capturar e identificar, existe una amplia información sobre la forma de vida, hábitats y niveles tróficos de muchas especies. Además, pueden ocupar pequeños cuerpos de agua, aún aquellos con cierto grado de contaminación (Velázquez y Vega, 2004). La ictiofauna nativa de Cuba comprende 57 especies, de las cuales 23 son endémicas (40.35%); aunque solo 38 especies del total se reconocen como estrictamente dulciacuícolas (Vergara, 1992; Ponce de León y Rodríguez-Silva, 2010). No obstante, Rodríguez-Machado y Ponce de León (2017) refieren un mayor número de especies de peces de agua dulce (46), incluidas en 15 familias y nueve órdenes. Estos autores también mencionan siete especies de peces dulciacuícolas en peligro de extinción bajo diferentes categorías de amenaza, y por otro lado señalan 21 especies de peces introducidos en los ecosistemas cubanos de agua dulce.

La introducción de especies exóticas de peces en las aguas cubanas ha ido en aumento desde inicios del siglo XX, lo que, junto a procesos como la destrucción y fragmentación del hábitat, el represado de los ríos y la contaminación de las aguas, afectan seriamente la ictiofauna nativa. Para evaluar los efectos de las activida-

des humanas sobre las condiciones de los ecosistemas acuáticos, en particular sobre las comunidades de peces, surgió el Índice de Integridad Biótica o Biológica (IBI, por sus siglas en inglés), como herramienta también para determinar la capacidad del ecosistema de soportar y mantener una comunidad adaptada, integrada y balanceada de organismos. Dicho índice conjuga atributos estructurales y funcionales, entre ellos la riqueza y composición de especies, estructura trófica y abundancia de los peces (Karr, 1981; Karr *et al.*, 1986); pero según Rodríguez-Silva y Hechavarria (2019) ha sufrido distintas transformaciones hasta la actualidad.

De acuerdo con lo anteriormente comentado, sobre la significación del fitoplancton y de los peces en la respuesta a la salud de los sistemas dulciacuícolas, este trabajo tiene como objetivo principal sugerir un bioindicador de calidad biológica de agua dulce integrando estos componentes de la biodiversidad. Se propone también obtener una metodología de medición y efectuar su comprobación durante la evaluación del manejo sostenible de tierras en sitios demostrativos de estas prácticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

DESCRIPCIÓN DE ÁREAS Y SITIOS DE INTERVENCIÓN

El estudio de la calidad del agua se desarrolló en las cuatro áreas de intervención del Programa de Asociación de País CPP-OP15 sobre Manejo Sostenible de Tierras (MST): 1) Llanura Sur de Pinar del Río; 2) Llanura Habana-Matanzas; 3) Cuenca del Cauto y 4) Llanura Sur de Guantánamo. Fueron muestreados un total de 15 acuatorios, algunos de estos no se encontraban dentro de los límites de las fincas MST, pero se evaluaron, debido a que sus aguas son usadas en las fincas o sitios pertenecientes al proyecto.

En tres de las 12 fincas MST estudiadas, no se realizó el análisis de agua por no contar con aguas superficiales muestreables; estas fueron: la finca “Manolo” en la Llanura Sur de Pinar del Río, la finca “San Jacobo” en la Llanura Habana-Matanzas y la CCS “René Muñoz”, en el área de intervención Cuenca del Cauto. En esta última área se incorporó un nuevo sitio para la evaluación del agua (finca “La Esperanza”, CCS “Hermes Rondón”) por la importancia de este recurso en el cultivo del arroz, el cual constituye el principal renglón productivo en esta finca. Los 15 acuatorios evaluados se describen a continuación, por áreas y sitios de intervención.

ÁREA LLANURA SUR DE PINAR DEL RÍO

1. CPA “Roberto Amarán”: Sitio demostrativo MST en el Municipio Pinar del Río, de uso agroforestal y cultivos varios.

En esta finca se estudió solo un acuatorio que constituye una presa con cierto nivel de transparencia y coloración pardo claro a razón del sustrato. Posee un amplio caudal alimentado por las escorrentías provenientes de las montañas, presenta plantas acuáticas asociadas a los márgenes, así como herbáceas sumergidas. La fauna avícola y piscícola destaca en la zona, así como moluscos acuáticos. Estas aguas se utilizan en el riego de los cultivos y el abastecimiento animal.

2. Finca “Cascajales”: Sitio MST de réplica, perteneciente a la CCS Lenin del Municipio Consolación del Sur, de uso forestal.

El agua se encuentra almacenada en dos represas con alto contenido de flora acuática, en una de estas, cubriendo casi la totalidad del espejo de agua. El estudio se realizó en una pequeña represa que se utiliza en el riego de cultivos y abastecimiento animal. El sitio no presentó vegetación acuática, pero sí alguna vegetación sumergida alrededor de sus límites. El agua se presenta con cierto nivel de turbidez y coloración marrón claro, debido al suelo arcilloso.

3. Finca “Tierra Brava”: Sitio MST de réplica, perteneciente a la CCS Niceto Pérez del Municipio Los Palacios, de uso agroforestal, fundamentalmente frutales.

En esta finca el agua se encuentra represada en dos aljibes de 60 m de largo por 4 m de ancho aproximadamente, que no se comunican entre sí y sus utilidades difieren. El primero de Tierra Brava (TB1) posee ciertas plantas herbáceas alrededor, aguas claras con alta transparencia y tilapias, con el propósito de realizar acuicultura para consumo interno. El segundo aljibe (TB2) tiene aguas de coloración amarillenta debido a los sedimentos provenientes del suelo, cuenta con mediano nivel de transparencia y se utiliza para el riego de los cultivos. Para la determinación del indicador de calidad del agua en esta finca se tuvo en cuenta el análisis en conjunto de ambos aljibes.

4. Finca “Pilón”: Sitio demostrativo MST, perteneciente a la CPA Jesús Suárez Soca del Municipio Consolación del Sur, de uso agrícola y cuyo cultivo principal es el tabaco.

La laguna estudiada en esta finca, nombrada “Eucalipto”, se caracteriza por aguas turbias de coloración

parda, suelos arenosos, vegetación aledaña que incluye invasoras, y presencia de fauna ictiológica. Sus aguas se utilizan en el regadío de una parte de los cultivos contiguos, así como en el abastecimiento del ganado vacuno y equino.

ÁREA LLANURA HABANA-MATANZAS

En Artemisa se escogieron tres embalses por su función fundamental en el regadío de las tierras agrícolas, incluyendo las correspondientes al sitio de intervención en la provincia (Finca San Jacobo: sitio demostrativo, perteneciente a la CSS Viet Nam Heroico, de uso cultivos varios).

5. y 6. Embalses “Güira I” y “Güira II”.

Ambos son embalses reguladores que mantienen los niveles apropiados de agua en el territorio, sin embargo, tienen características diferentes. Güira I se caracteriza por poseer aguas turbias de coloración parda, con alta concentración de desechos orgánicos e inorgánicos acumulados. Güira II, ubicada más hacia el sur de la provincia, cuenta con mejores propiedades, como aguas más cristalinas y sin altas concentraciones de desechos inorgánicos. Las aguas de ambos acuatorios se utilizan para la agricultura.

7. Embalse “Cuba-Jamaica”.

En este acuatorio se presentan condiciones favorables a la eutrofización, en menor nivel que Güira I, pero cuenta con una carga considerable de desechos orgánicos e inorgánicos hacia el extremo opuesto al punto de abastecimiento. Esto provoca cierto nivel de turbidez en la zona, de coloración verdosa. Es un embalse regador, por lo que sus aguas son enviadas a través de un equipo de bombeo para su utilización en las tareas agrícolas.

La provincia Mayabeque posee una infraestructura hidráulica bien estructurada a partir de las aguas del río Mayabeque y sus afluentes, que mantienen el sistema Pedroso-Güira y abastecen la Comunidad Regante, donde se encuentran los diferentes sitios de interés en la provincia. En Mayabeque se estudiaron tres acuatorios, y la selección de estos se basó en la importancia que presentan en el suministro de agua para riego en el sitio demostrativo y en parte del área de intervención.

8. Acuatorio “Ojo de Agua Catalina”.

Es un sistema de manantiales aguas arriba del río Mayabeque, resulta la zona de nacimiento donde se aprecia

bajo contenido de materia suspendida, con cierto grado de turbidez. Sus características deben ser favorables por la constante renovación de sus aguas a través de los manantiales subterráneos. No obstante, en el área se han encontrado restos de animales, así como de construcciones humanas, que influyen negativamente en la calidad de estas aguas.

9. Acuatorio “Compartidor de Güines”.

El punto muestreado a la entrada del poblado de Güines, el “Compartidor de Güines”, pertenece a uno de los canales en la Derivadora Pedroso. Posee aguas de coloración verdosa, con medio nivel de turbidez y carga de materia orgánica e inorgánica asociada a los márgenes, así como plantas terrestres sumergidas y acuáticas.

10. Finca “Arocha”: Sitio demostrativo MST, de la Comunidad Regante de Güines, de uso cultivos varios y frutales.

Las aguas de la Finca “Arocha”, sitio demostrativo de manejo sostenible de tierras, provienen de la Derivadora y atraviesan el poblado de Güines antes de llegar a la finca. A razón de que estas aguas corren a través de canales estrechos y poco profundos, con herbáceas sumergidas que ayudan a su depuración, se aprecia un bajo nivel de materia asociada y de turbidez.

ÁREA CUENCA DEL CAUTO

11. Finca “Los Velázquez”: Sitio demostrativo MST, perteneciente a la CCS Cuba Va del Municipio Majibacoa (Provincia Las Tunas), de uso agroforestal y cultivos varios.

Dentro de esta finca se evaluó la presa Palmilla, que posee aguas de coloración parda clara, con fondo arcilloso-rocoso, bajo nivel de transparencia, presencia de plantas acuáticas (e.g., *Eichhornia*) y ocurrencia de aves (e.g., pelícano, garza, totí, gallereta).

12. Finca “La Esperanza”: Sitio demostrativo MST, perteneciente a la CCS Hermes Rondón del Municipio Río Cauto (Provincia Granma), de uso cultivos varios, fundamentalmente bajo cultivo de arroz.

La provincia Granma cuenta con un sistema de canales para surtir los cultivos de agua (principalmente al cultivo del arroz). El agua proviene de la presa Cauto del Paso, canalizada en un canal magistral que se subdivide en canales más pequeños, los cuales transitan cercanos a los cultivos. Este canal se evaluó debido a que sus aguas se utilizan para riego. Esta actividad de riego se realiza

por aniego, lo que incurre en el arrastre de suelo y biota. El agua cuenta con una coloración verdosa clara y bajo nivel de transparencia, vegetación adosada a los bordes, sumergida, y plantas acuáticas visibles en los canales pequeños. Esta finca es arrocerá, por ende, la calidad de sus aguas está influenciada por los ciclos de nitrógeno y fósforo, nutrientes que se aplican para lograr un rendimiento adecuado del cultivo.

13. Finca “Si dan doy”: Sitio demostrativo MST, perteneciente a la CCS Hermes Rondón, de uso cultivos varios.

La finca posee una pequeña charca con agua de coloración verdosa, y baja turbidez, donde se acumula el agua extraída por tracción motora. Además, presenta un canal pequeño, rodeado por algunas plantas y derivado de un canal magistral.

ÁREA SUR DE GUANTÁNAMO

14. UBPC “Eliomar Noa”: Sitio demostrativo MST, de la localidad Los Cerezos en el Municipio Imías, de uso agroforestal (frutales), cultivos varios y pastizales.

En este sitio se estudió el río Tacre, que se encuentra en los límites de esta UBPC y es la fuente de abasto de la unidad productiva. Cuenta con zonas de escorrentías y de remansos que exceden el metro de longitud. Posee aguas claras, poco profundas y porciones donde corre subterráneo. Existe vegetación circundante a la ribera del río, que posibilita la depuración de las aguas; además, cuenta con fauna ictiológica. Los suelos son pedregosos y arenosos, lo que favorece la filtración del agua. Se utiliza para el riego de los cultivos y el abastecimiento, tanto animal como humano.

15. CCS “Enrique Campos”: Sitio demostrativo MST, de la localidad La Jabilla en el Municipio Guantánamo, de uso cultivos varios.

Dentro de esta CCS se evaluaron dos canales, uno magistral y otro interior más pequeño. El canal magistral está cementado y cuenta con florecimientos de plantas acuáticas. No cuenta con protección de plantas arbustivas o arbóreas a los laterales, sin embargo, posee un fino manto de hierbas que ofrecen cierto grado de retención de materia, tanto orgánica como inorgánica. El otro canal más pequeño proveniente del canal magistral, está dentro de los límites cercados de la finca “Los Moros”, sitio demostrativo del Programa OP15, y tiene aguas negras poco profundas, cubiertas de plantas

terrestres como herbáceas, arbustos y árboles. Se reconocen considerables diferencias entre las propiedades de un canal y de otro, aunque no se identificó el o los focos contaminantes del más pequeño. Las aguas de ambos canales se usan en el regadío de los cultivos, y de estas se tomaron las muestras para el análisis de la calidad del agua de la finca.

PROPUESTA DEL INDICADOR DE CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA (CBA)

El indicador para evaluar la calidad del agua dulce se realizó a partir de la sumatoria de dos componentes de la biodiversidad o verificadores: el fitoplancton (VCBA₁) y los peces dulciacuícolas (VCBA₂). Es decir, por la siguiente fórmula: $CBA = VCBA_1 + VCBA_2$.

VCBA₁: FITOPLANCTON

La evaluación a partir del fitoplancton, tuvo en cuenta la composición de los microorganismos en los biotopos acuáticos en función del grado de contaminación orgánica o saporidad de las aguas. Esto permitió separarlos según criterios de Comas *et al.* (1999), en: aguas xenosapróbicas, oligosapróbicas, mesosapróbicas (con dos variantes identificadas como alfa-α y beta-β) y polisapróbicas.

ESCALA DE EVALUACIÓN DEL FITOPLANCTON

La escala de evaluación para este verificador, al igual que para el verificador de peces y para el bioindicador integrado (CBA), se conformó en base a cuatro categorías: muy bien (clase 4), bien (clase 3), regular (clase 2) y mal (clase 1), de acuerdo con la metodología adoptada a partir del trabajo de Sarandon y Flores (2009) sobre la sustentabilidad en agroecosistemas.

La escala para el fitoplancton es cualitativa, pues responde solo a la presencia de organismos que indican el estado de saporidad de las aguas (Comas *et al.*, 1999):

- Muy bien (Clase 4): Organismos desarrollados entre xenosaporidad (aguas puras, muy limpias, por lo general de regiones montañosas de bajas temperaturas) y oligosaporidad (aguas limpias con saturación de oxígeno, donde se culminan los procesos de oxidación de la materia orgánica, no contaminadas o de contaminación leve).
- Bien (Clase 3): Organismos desarrollados entre oligosaporidad y β-mesosaporidad (mejor parte de una mediana contaminación orgánica, aguas transparentes o poco turbias, generalmente inodoras e incoloras).

- Regular (Clase 2): Organismos desarrollados entre β -mesosaprobidad y α -mesosaprobidad (aguas con la parte más deplorable de una mediana contaminación orgánica, fuerte contaminación, coloración pardusca a gris oscuro).
- Mal (Clase 1). Organismos desarrollados entre α -mesosaprobidad y polisaprobidad (aguas con alta concentración de materia orgánica de origen alóctono, contaminación muy fuerte, coloración gris sucio, malolientes, alta turbidez y presencia de reacciones anaerobias).

De encontrarse ejemplares de los géneros reconocidos por la producción de toxinas, fundamentalmente cianobacterias, que pueden ser causantes de daños en mamíferos (incluyendo al hombre), la clasificación de calidad del agua será la mínima (Clase 1), debido a la peligrosidad que pueda representar por su consumo o utilización en la agricultura.

VCBA₂: PECES DULCIACUÍCOLAS

Para el verificador de peces dulciacuícolas, se consideró la aplicación del Índice de Integridad Biológica (IBI), descrito en función de estas comunidades y sugerido originalmente por Karr (1981), durante el estudio de ecosistemas fluviales de Norteamérica. El índice original integró diversos atributos, entre ellos: el número de especies tanto totales como de exóticas, locales, béticas e intolerantes o sensibles a contaminación, indicadores tróficos (peces detritívoros, omnívoros, carnívoros e insectívoros o consumidores de invertebrados) y la abundancia y condición de los peces. A través del tiempo el índice tuvo diversas transformaciones, y como una propuesta más, se presenta la modificación de este para el caso de ríos y arroyos de Cuba (Rodríguez-Silva y Hechavarría, 2019).

El Índice de Integridad Biótica o Biológica para Cuba (IBI-PCUB) es más sencillo y simplificado, pues no

considera la composición trófica, pero sí mantiene la tasa de especies nativas con relación a las exóticas. Esta modificación (IBI-PCUB) se establece a partir de la poca variación en la estacionalidad de los recursos tróficos en los ecosistemas dulciacuícolas cubanos, lo que determina la presencia mayoritaria de especies omnívoras. Por otra parte, la estimación de las especies exóticas resulta importante en las islas, pues el impacto de las especies introducidas sobre las nativas es más acentuado con la disminución del área geográfica (Velázquez y Vega, 2004; Rodríguez-Silva y Hechavarría, 2019). El índice para Cuba tiene en cuenta, específicamente, estimadores basados en las proporciones de las riquezas y abundancias relativas de especies nativas y/o intolerantes a aguas contaminadas (Tabla 1).

Mediante el uso de los valores porcentuales de proporción y abundancias relativas de especies, reflejados en la tabla 1, se asigna una determinada puntuación de 5 puntos (máxima), 3 puntos (media) o 1 punto (baja) a cada sitio de trabajo. Al concluir, se suman los puntos adquiridos por cada uno de los estimadores en cada sitio y el puntaje resultante, es el valor del IBI-PCUB. Este valor se enmarca dentro de uno de los rangos definidos, que categorizan el nivel de calidad de las aguas (Tabla 2).

ESCALA DE EVALUACIÓN DE PECES DULCIACUÍCOLAS

Se establece a partir de los valores o el puntaje total del IBI-PCUB:

- Muy bien (Clase 4): IBI-PCUB = 16-20
- Bien (Clase 3): IBI-PCUB = 11-15
- Regular (Clase 2): IBI-PCUB = 6-10
- Mal (Clase 1): IBI-PCUB = <5

ESCALA DE EVALUACIÓN DEL INDICADOR CBA

La escala final del indicador integrado se basa en la sumatoria de las clases adquiridas por cada verificador:

Tabla 1. Estimadores para la evaluación del IBI-PCUB y puntaje otorgado a cada estimador.

Table 1. Appraisers for the evaluation of the IBI-PCUB and score awarded to each appraiser.

Estimadores	Puntaje otorgado		
	5	3	1
Proporción de especies nativas	>60%	30-60%	<30%
Abundancia relativa de especies nativas	>60%	30-60%	<30%
Proporción de especies intolerantes	>60%	30-60%	<30%
Abundancia relativa de especies intolerantes	>60%	30-60%	<30%

González *et al.*: Indicador de calidad biológica del agua en áreas del MST**Tabla 2.** Nivel de calidad sugerida para los ecosistemas fluviales cubanos y sus atributos en relación con el valor del IBI-PCUB.**Table 2.** Suggested quality level for Cuban fluvial ecosystems and their attributes in relation to the IBI-PCUB value.

IBI-PCUB Total	Calidad	Atributos
16-20	Excelente	Aguas muy limpias con condiciones ideales para que las especies nativas y las más exigentes, en cuanto a parámetros fisicoquímicos del agua (especies intolerantes), proliferen y sean abundantes
11-15	Buena	La riqueza y abundancia relativa de especies nativas es menor a la esperada, sobre todo debido a la presencia de algunas especies exóticas y a la ausencia o menor abundancia de especies nativas intolerantes
6-10	Aceptable	Se aprecian signos de deterioro de la calidad del agua debido al predominio de las especies nativas más tolerantes
2-5	Mala	Solo se observan especies exóticas en gran abundancia y un escaso número de especies nativas tolerantes
<2	Crítica	No se detectan especies de peces después de tratar de coleccionar especímenes a través de diversos métodos de muestreo

- Muy bien (Clase 4): CBA = 8
- Bien (Clase 3): CBA = 5-7
- Regular (Clase 2): CBA = 2-4
- Mal (Clase 1): CBA = 0-1

MUESTREO Y PROCESAMIENTO DE LOS VERIFICADORES DEL INDICADOR CBA**FITOPLANKTON**

Durante la etapa de diagnóstico a las diferentes áreas de intervención, el análisis del recurso agua a través del fitoplancton no siempre contempló las dos épocas del año. En Pinar del Río, este análisis se efectuó solo para la lluvia, a principios de noviembre de 2018. En las provincias Artemisa y Mayabeque, enmarcadas en el área de la Llanura Habana-Matanzas, el procesamiento se condujo en ambos períodos, en abril (seca) y octubre (lluvia), de 2018. En Las Tunas y Granma, pertenecientes al área de Cuenca del Cauto, se ejecutó en enero de 2019, que correspondió al período poco lluvioso. Hubo diagnósticos que no se realizaron debido a que no se efectuó el muestreo o a la no viabilidad de las muestras obtenidas, lo que quedó reflejado en el acápite “Resultados” como “No Evaluado” (NE). En esta situación estuvieron, por ejemplo, Pinar del Río en el momento de la seca, Cuenca del Cauto durante la lluvia y Guantánamo en ambos períodos estacionales.

En cada uno de los acuatorios se establecieron diferentes estaciones de muestreo teniendo en cuenta los puntos de interés, la viabilidad de la toma de muestra en función de la velocidad de la corriente, profundidad y características favorables para la presencia de los individuos a recolectar. Para la obtención de las muestras se ubicaron tres puntos equidistantes dentro de las estaciones de muestreo. Se tomaron muestras integradas

totales (según el grado de interés y el tamaño del acuatorio, de una a dos), cada una conformada por tres submuestras simples. Las submuestras fueron mezcladas y homogeneizadas para la adquisición de las muestras únicas. Posteriormente, estas se depositaron en frascos estériles rotulados y se fijaron con formol 3%, tomando como base la metodología de [González y Novelo \(1986\)](#). El muestreo se realizó a una distancia de 1.5 m desde la orilla y a una profundidad de 10 cm en la columna de agua ([Laíz, 1993](#)).

La identificación de los microorganismos se realizó a través de un microscopio óptico binocular, y la observación de la muestra preservada bajo un aumento de 40x y 100x. Se emplearon claves taxonómicas y bibliografía relacionada para la clasificación hasta el nivel de especie, siempre que fue posible ([Comas, 1996](#); [UNESCO, 2009](#); [Confederación Hidrográfica del Duero, 2010](#); [González e Inostroza, 2017](#)). En aras de actualizar los taxa se consultó además la base de datos AlgaeBase ([Guiry y Guiry, 2019](#)).

PECES DULCIACUÍCOLAS

Los muestreos de la ictiofauna también se efectuaron durante la etapa de diagnóstico en ambos períodos estacionales. Para Pinar del Río, el estudio se efectuó en abril (seca) y primera quincena de noviembre (lluvia) de 2018; en la Llanura Habana-Matanzas en los meses de abril (seca) y octubre (lluvia) de 2018; y en las Tunas y Granma (Cuenca del Cauto) en mayo de 2018, correspondiente al período lluvioso, y enero de 2019 perteneciente a la estación de seca. En Guantánamo, se muestreó solo en el momento de lluvia, en mayo de 2018. No obstante, en algunos acuatorios el muestreo ictiológico no se efectuó por determinadas razones; por ejemplo: el acuatorio analizado en la finca “Tierra

Brava”, en Pinar del Río, que estuvo controlado para la cría solo de tilapia. En la finca “La Esperanza”, en Granma, no se estableció este tipo de fauna por la poca disponibilidad de agua para su desarrollo. Al igual que para el fitoplancton, los acuatorios donde no se estudiaron las comunidades de peces se refirieron como “No Evaluados” (NE).

La fauna de peces dulciacuícolas de Cuba está representada mayormente por especies de pequeña talla corporal, que por lo general no sobrepasan los 7 cm de longitud total, lo que representa un factor esencial a la hora de elegir el método y arte de pesca a utilizar para la recolecta. Por consiguiente, se utilizó como arte de pesca el jamo, el cual fue adecuado también, debido a su utilidad para la captura de peces de nado lento que quedan confinados a pequeños depósitos de agua, característica que cumplieron la mayoría de los acuatorios estudiados (Rodríguez-Machado y Ponce de León, 2017; Rodríguez-Silva y Hechavarría, 2019). Según Rodríguez-Machado y Ponce de León (2017) se pueden utilizar otros métodos e implementos de pesca, en dependencia de los objetivos de investigación y las características de los sistemas acuáticos a evaluar.

En las mismas estaciones de muestreo predeterminadas para el fitoplancton, se efectuó un número de recolectas ictiológicas siguiendo un mismo diseño de muestreo. Este diseño consistió en cinco lances aleatorios para sectores lineales de 100 m de longitud, así como observaciones *in situ*, conteo de ribera y capturas por unidad de área, utilizando un jamo manual de 40 x 20 cm (Rodríguez-Silva y Hechavarría, 2019).

Se evaluó el conjunto de peces capturados después de una identificación *a priori*, donde se estimó el número de especies o la riqueza específica en cada recolecta. Además, se realizaron consultas a pescadores aficionados y campesinos residentes en los sitios de intervención. Posteriormente, se utilizó la Guía de Campo para peces cubanos de la familia Poeciliidae como línea base para la identificación de la mayoría de la ictiofauna muestreada (Ponce de León y Rodríguez-Silva, 2010).

RESULTADOS

INDICADOR DE CALIDAD BIOLÓGICA DEL AGUA

El valor del indicador de calidad biológica del agua (CBA) se obtuvo en ocasiones, tomando solo en consideración el valor del verificador que pudo ser evaluado. Al incluir ambos verificadores, se observó que los re-

sultados independientes de estos no fueron totalmente coincidentes en algunos acuatorios. Sobre todo, en el área de intervención de la Llanura Habana-Matanzas, donde se percibió que los peces dulciacuícolas indicaron una mejor calidad del agua; sin embargo, los resultados del fitoplancton no siempre fueron positivos. De modo general, el resultado del indicador CBA osciló entre Bien y Regular (Tabla 3), aunque en la mayoría de los acuatorios prevaleció la calificación de Regular; evidenciándose una calidad de agua media en los acuatorios evaluados. Por otro lado, hubo una tendencia hacia la mejoría de la calidad del agua en el periodo de lluvias.

DISCUSIÓN

Los resultados independientes de los verificadores en el análisis de la calidad del agua, que mostraron no ser siempre coincidentes en algunos acuatorios, podría atribuirse al hecho de que los peces, como vertebrados, tienen mayor plasticidad ecológica que los microorganismos del fitoplancton. Esto permite a los peces mantener una estabilidad en sus comunidades ante pequeñas alteraciones, en cambio el fitoplancton reacciona de forma inmediata ante perturbaciones físicas, químicas e hidrológicas, dando una respuesta más rápida ante las variaciones del medio (Vázquez *et al.*, 2006). Por su parte, la tendencia de la mejoría de la calidad del agua en el período de lluvias, es probablemente debido a que el agua precipitada disuelve las concentraciones de materia, tanto orgánica como inorgánica, que se incorporan en los diferentes acuatorios.

Según los resultados obtenidos por área de intervención, en la Llanura Sur de Pinar del Río, la mayoría de los acuatorios tuvieron una evaluación integrada de Regular. En la finca “Cascajales” el bioindicador mostró este resultado para ambos períodos estacionales, y la colocó como la finca de peor condición en esta área de intervención. Aquí, el agua utilizada para regadío y suministro animal se encuentra represada en pocetas abastecidas por el crecimiento en el caudal de la presa principal, que está ubicada a algunos metros de los cultivos. Esta agua no cuenta con recambios constantes, pues depende de los niveles de precipitación y de la crecida de la presa; lo cual, posibilita una concentración de nutrientes que permite el desarrollo de especies del fitoplancton, como los euglenófitos, que son propios de zonas con cargas orgánicas elevadas (Urszula y Wydrzycka, 1996). Dentro de este grupo destaca *Lepocinclis acus* Müller, Marin y Melkonian que posee su rango óptimo de desarrollo en la zona b de

González *et al.*: Indicador de calidad biológica del agua en áreas del MST**Tabla 3.** Indicador de calidad biológica del agua por acuatorio evaluado y época del año.**Table 3.** Indicator of biological quality of the water for each assessed aquatory and time of the year.

Acuatorio/Época	Uso del agua	Verificadores		Indicador CBA
		Fitoplancton	Peces	
Llanura Sur de Pinar del Río				
CPA “Roberto Amarán”	Acuicultura-Regadío	NE	6 (2)	2 (Regular)
Seca (abril/2018)		O-B (3)	10 (2)	5 (Bien)
Lluvia (noviembre/2018)				
Finca “Cascajales”	Regadío	NE	12 (3)	3 (Regular)
Seca		A-P (1)	12 (3)	4 (Regular)
Lluvia				
Finca “Tierra Brava”	Acuicultura- Regadío	NE	NE	NE 2 (Regular)
Seca		B-A (2)	NE	
Lluvia				
Finca “Pilón”	Regadío	NE	8 (2)	2 (Regular)
Seca		O-B (3)	12 (3)	6 (Bien)
Lluvia				
Llanura Habana-Matanzas				
Embalse “Güira I”	Regadío	B-A (2)	6 (2)	4 (Regular)
Seca (abril/2018)		A-P (1)	6 (2)	3 (Regular)
Lluvia (octubre/2018)				
Embalse “Güira II”	Regadío	NE	10 (2)	2 (Regular)
Seca		B-A (2)	12 (3)	5 (Bien)
Lluvia				
Embalse “Cuba-Jamaica”	Regadío	O-B (3)	10 (2)	5 (Bien)
Seca		O-B (3)	6 (2)	5 (Bien)
Lluvia				
Manantial “Ojo de Agua Catalina”	Regadío	B-A (2)	12 (3)	5 (Bien)
Seca		B-A (2)	12 (3)	5 (Bien)
Lluvia				
Compartidor de Güines	Regadío	B-A (2)	10 (2)	4 (Regular)
Seca		B-A (2)	12 (3)	5 (Bien)
Lluvia				
Finca “Arocha”	Regadío	B-A (2)	12 (3)	5 (Bien)
Seca		O-B (3)	12 (3)	6 (Bien)
Lluvia				
Cuenca del Cauto				
Finca “Los Velázquez”	Regadío	NE	10 (2)	2 (Regular)
Lluvia (mayo/2018)		O-B (3)	8 (2)	5 (Bien)
Seca (enero/2019)				
Finca “La Esperanza”	Regadío	NE	NE	NE
Lluvia		B-A (2)	NE	2 (Regular)
Seca				
Finca “Si dan doy”	Regadío	NE	12 (3)	3 (Regular)
Lluvia		NE	12 (3)	3 (Regular)
Seca				
Llanura Sur de Guantánamo				
UBPC “Eliomar Noa”	Regadío	NE	16 (4)	4 (Regular)
Lluvia (mayo/2018)		NE	NE	NE
Seca (enero/2019)				
CCS “Enrique Campos”	Regadío	NE	10 (2)	2 (Regular)
Lluvia		NE	NE	NE
Seca				

Estados de saprobiidad de las aguas mediante el fitoplancton: O (oligosaprobiidad), B (β -mesosaprobiidad), A (α -mesosaprobiidad), P (polisaprobiidad). Escalas o clases: 4 = Muy bien, 3 = Bien, 2 = Regular, 1 = Mal. Indicador CBA: 8 (Muy bien), 5-7 (Bien), 2-4 (Regular), 0-1 (Mal). NE: No evaluado.

saprobidad (Comas *et al.*, 1999; Comas, 2009), y por tanto especie indicadora de mediana contaminación, tolerante a amplios rangos de salinidad y altos grados de acidez (Red informativa andaluz, 2007). Otros de los organismos marcadamente representados resultaron las clorofitas, características de aguas con niveles de moderados a altos de saprobiidad. Se encontraron especies como *Selenastrum gracile* Reinsch, presente en el plancton de acuatorios eutróficos (Comas, 2009); *Monoraphidium contortum* (Thuret) Komárková-Legnerová, característica de aguas eutróficas y con bajo grado de mineralización (Red de información ambiental de Andalucía, 2007), que se desarrolla en condiciones desde beta hasta alfa saprobiidad con preferencia hacia la primera (Comas *et al.*, 1999). El género *Scenedesmus*, también presente, es característico en el fitoplancton de aguas ricas en nutrientes y con altas concentraciones de nitrógeno inorgánico (Guamán y González, 2016).

En cuanto a los peces, en la Llanura Sur de Pinar del Río hubo un predominio de especies nativas tolerantes, que representaron casi el 100% de las especies por recolecta, la mayoría de la familia Poeciliidae (74%). De esta familia, *Gambusia* y *Girardinus* fueron los géneros más representativos en las capturas, resultado que se mantuvo para la totalidad de los acuatorios evaluados. La tolerancia de la mayoría de las especies recolectadas a las variaciones ambientales, es debido entre otros factores a la plasticidad genética que las caracterizan, teniendo en cuenta la amplia distribución que posee la ictiofauna dulciacuícola cubana (Ponce de León y Rodríguez-Silva, 2010; Rodríguez-Machado y Ponce de León, 2017). Excepto en la finca “Tierra Brava”, donde se obtuvo una calificación de Regular en el período de lluvia, producto del arrastre de desechos orgánicos hacia los aljibes y del incremento en la incorporación de materia orgánica, los dos restantes acuatorios de las fincas “Pilón” y “Roberto Amarán” contaron con una mejoría en la calidad de sus aguas durante el período lluvioso.

Con respecto a la Llanura Habana-Matanzas, se estudiaron en Artemisa tres de los embalses más importantes en esta provincia, pues se utilizan en el regadío de parte de los cultivos de Güira de Melena, polo productivo de gran relevancia en el país. La calidad de estos embalses se encontró comprometida por la constante incorporación de desechos sólidos, el arrastre de sedimentos y el insuficiente recambio de sus aguas. “Güira I” mantuvo, para ambas épocas del año, reportes de Regular, mientras que “Güira II”, de Regular pasó a Bien en la lluvia, y “Cuba-Jamaica” mantuvo calificación de Bien

en ambas estaciones. Esta última se mantuvo recibiendo y vertiendo sus aguas, por lo que el flujo no permitió que, aunque llegaran concentraciones de materia orgánica e inorgánica proveniente de los otros dos embalses, se establecieran comunidades planctónicas indicadoras de condiciones sapróbicas elevadas. Principalmente en “Güira I”, se encontraron poblaciones de cianobacterias, clorofitas y euglenófitos, características de acuatorios con mediano grado de materia orgánica en suspensión (Urszula y Wydrzycka, 1996; WHO, 2003). Con relación a los peces, tanto su riqueza como abundancia se afectaron a razón de los niveles visibles de contaminación e inestabilidad en los volúmenes del caudal, características que se acentuaron y no variaron mucho en los dos períodos estacionales en “Güira I”. En este caso la diversidad ictiológica y características de tolerancia a la contaminación resultaron similares en ambas etapas y como resultado, las aguas mostraron una baja calidad.

Para Mayabeque, en “Ojo de Agua Catalina” y en la finca “Arocha” se obtuvieron, para el bioindicador integrado, resultados de Bien en los períodos de lluvia y seca. A diferencia de la finca “Arocha”, el primero cuenta con manantiales subterráneos que permiten un reemplazo constante de sus aguas. A pesar de esto, no se logra obtener una óptima calidad debido a la incorporación de material orgánico, lo que sucede en ambos acuatorios y sin dudas compromete la mejoría de sus aguas. En “Ojo de Agua Catalina” se ha comprobado la existencia de desechos de ganado sacrificado, así como cimientos de antiguas construcciones en el área; esto permitió el establecimiento de organismos del fitoplancton indicadores de contaminación, como cianobacterias y euglenófitos. A diferencia de los dos acuatorios antes mencionados, el Compartidor de Güines obtuvo Regular en la seca y mejoró en la lluvia debido al arrastre provocado. Los resultados sobre los peces reafirmaron la mejor calidad en “Ojo de Agua Catalina” y finca “Arocha”, lo que respondió a un predominio de especies nativas, aunque tolerantes, con una proporción del 66.6%. En comparación con el restante sistema evaluado en Mayabeque en la época de seca, la proporción de especies nativas respecto a las exóticas fue menor.

En la Cuenca del Cauto se alcanzaron resultados de Regular en casi todos los acuatorios, a excepción de “Los Velázquez”, en Las Tunas. En este sitio, en el período lluvioso, se obtuvo una evaluación de Regular a partir del análisis de peces solamente, mientras que en seca fue de Bien una vez completados ambos verificadores. La presa evaluada en esta finca es bien explotada por

los agricultores y sus aguas se utilizan, tanto para el riego como para abastecer a los animales. Sin embargo, cuenta con un gran predominio en el espejo de agua de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, planta acuática que se desarrolla desmedidamente en zonas con abundante carga de materia orgánica. Esta condición se corroboró por la presencia de cianobacterias, clorofitas y euglenófitos indicadores, así como de especies de peces tolerantes como *Claria gariepinus* (Burchell), que es además una exótica invasora. En las fincas “Si dan doy” y “La Esperanza”, de la provincia Granma, se alcanzó una calificación de Regular, a partir de la abundancia ictiológica de especies tolerantes en la primera, mientras que, en la segunda, la presencia de cianobacterias como *Oscillatoria* y microalgas indicadoras revelaron una alta saprobididad.

En la Llanura Sur de Guantánamo, tanto para los sitios “Eliomar Noa” como “Enrique Campos” estudiados en la lluvia, se obtuvo una evaluación de Regular, a partir solo de las comunidades de peces. No obstante, los valores alcanzados del bioindicador se corresponden con los límites superior e inferior de la clase Regular. En el caso del acuatorio de “Eliomar Noa”, representado por un río de aguas cristalinas, se obtuvo el valor superior. En este se evidenció una ocurrencia de un 60% de especies de peces intolerantes a la contaminación, lo que reflejó una mejor calidad del agua para este acuatorio. En el acuatorio de la CCS “Enrique Campos”, que obtuvo el valor inferior de esta escala de Regular, se encontró una menor calidad del agua. Esto estuvo en correspondencia con una menor representación de especies intolerantes (17%), en lo que influyó probablemente la existencia de aguas artificiales y no de un cuerpo de agua natural como el de “Eliomar Noa”, que favoreció altas cargas de materia y contaminación.

Los resultados obtenidos en este trabajo son prácticamente inéditos, pues los acuatorios evaluados no contaban con estudios anteriores de calidad basados en bioindicadores. Además, no se cuenta con antecedentes en Cuba y tampoco a nivel internacional sobre el uso en conjunto del fitoplancton y de los peces para determinar la calidad del agua, en sistemas dulciacuícolas utilizados como fuentes de abasto en áreas con manejo sostenible de tierras. Sin embargo, existen referencias sobre el uso de estos dos grupos de forma independiente (Velázquez y Vega, 2004; Albrecht y Vogt, 2020) y también de los macroinvertebrados (Itzep *et al.*, 2009; García *et al.*, 2017).

Para el fitoplancton, los resultados se basan principalmente en embalses y sistemas lénticos tanto en Cuba como en el mundo (López-Rodríguez *et al.*, 2016; Peraza y Comas, 2017; Albrecht y Vogt, 2020), aunque también su uso se ha extendido a ríos y arroyos (Seeligmann *et al.*, 2001; Comas *et al.*, 2009; Vélez-Azañero *et al.*, 2016). Los estudios del fitoplancton en ecosistemas tanto naturales como antropizados permiten tener un precedente para su utilización como bioindicador, aprovechando el conocimiento de la ecología de las especies que son características en zonas con diferentes grados de eutrofia. En Cuba están principalmente los trabajos de Comas (1996, 2009), aunque no constituyen referentes del sector agrícola. Otros, aunque no analizan el fitoplancton como bioindicador en áreas asociadas a la agricultura, utilizan este para precisar la calidad del agua en reservorios utilizados para consumo humano (Valle *et al.*, 2021). Estudios foráneos corroboran el uso del fitoplancton en el análisis de la salud ecológica de cuerpos de aguas en un sector agrícola en Ecuador según Escobar y Terneus (2012), de ahí que su uso asociado a la agricultura no es del todo desconocido.

En el caso de los peces, tanto en Cuba como en el mundo las observaciones han estado enfocadas, principalmente, a sistemas abiertos con un constante recambio de sus aguas; contrario a los acuatorios analizados con características de sistemas cerrados, artificiales, repesados y poco profundos, que fueron los cuerpos de agua típicos en los sitios estudiados bajo manejo sostenible de tierras. Según Rodríguez-Machado y Ponce de León (2017) en Cuba los estudios de peces dulciacuícolas son escasos, fundamentalmente los relacionados con la ecología del grupo, y nada mencionan estos autores sobre investigaciones dirigidas a su uso como bioindicador. Sin embargo, internacionalmente este último enfoque ha sido ampliamente explotado (Aguilar, 2005; Mercado-Silva *et al.*, 2006; Ibarra, 2009; Mendiola, 2014; Anzueto, 2015; López y Chávez, 2020). En especial la utilización del índice de integridad biológica (IBI) en función de los peces ha tenido una extensa aplicación para evaluar la salud de arroyos, ríos, lagos y estuarios en Norteamérica (Karr *et al.*, 1986; Deegan *et al.*, 1997; Lyons *et al.*, 2001), Venezuela (Rodríguez-Olarte y Taphorn, 1995), Brasil (Araújo, 1998); Europa (Gerson *et al.*, 2000), Chile (Ibarra, 2009), Costa Rica (Mendiola, 2014), México (Mercado-Silva *et al.*, 2002, 2006; Pérez *et al.*, 2007; Anzueto, 2015), Ecuador (Sánchez y Mera, 2018; López y Chávez, 2020), entre otros países.

Los aspectos expuestos demuestran que tanto los peces como el fitoplancton, pueden ser aprovechados como bioindicadores para determinar la calidad de las aguas utilizadas en la agricultura. El análisis de la bioindicación siempre ofrecerá un nivel de información enriquecida para complementar las determinaciones físico-químicas de la calidad del agua.

CONSIDERACIONES FINALES

El indicador de calidad biológica del agua, que integra la utilización cualitativa de cianobacterias y microalgas y la estimación cuantitativa de peces como estimadores o verificadores de este bioindicador, resulta viable y confiable para evaluar la calidad de las aguas, según los resultados obtenidos en los acuatorios asociados a los sitios evaluados bajo manejo sostenible de tierras. Sin embargo, aún se requiere un tiempo más amplio de estudio para continuar la verificación de este bioindicador. Actualmente se continúa su validación o modificación en el marco del proyecto PNCT 2020-2023 “Indicadores ambientales de Biodiversidad para evaluar áreas de uso agrícola y agroforestal bajo Manejo Sostenible de Tierras”, lo cual permitirá su futura extensión a diferentes tipos de sistemas de agua dulce en el país.

AGRADECIMIENTOS

La conformación y comprobación del bioindicador fue posible gracias al proyecto nacional PNCT 2017-2019 “Conservación y uso sostenible de la Diversidad Biológica en ecosistemas forestales y ganaderos bajo MST en Guamuhaya y Cuenca del Cauto” y al apoyo logístico del proyecto internacional 2 del Programa CPP-OP15 “Fortalecimiento de Capacidades para la Coordinación de la Información y Sistemas de Monitoreo/MST en Áreas con Problemas de Manejo de Recursos Hídricos”. Especial agradecimiento a la Dr.C. Grisel Cabrera Dávila por sus contribuciones en la redacción y estructura del documento, así como, su asesoría en la conformación del trabajo. También agradecemos a los revisores anónimos por sus sugerencias.

LITERATURA CITADA

- Aguilar A. 2005. Los peces como indicadores de la calidad ecológica del agua. Coordinación de Publicaciones Digitales. DGSCA-UNAM, México. *Revista Digital Universitaria*. 6: 2-14.
- Albrecht ML, Vogt C. 2020. Diversidad fitoplanctónica como indicador de calidad de agua en subembalses de la represa de Yacyretá, Departamento Itapúa, Paraguay. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional de Itapúa, Paraguay.
- Anzueto MJ. 2015. Peces como indicadores de integridad biótica en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas, México. Tesis de Maestría. Instituto de Ciencias Biológicas. Universidad de Ciencias y Arte de Chiapas.
- Araújo FG. 1998. Adaptation of the index of biotic integrity based on fish assemblages in the Paraíba do Sul River, RJ, Brazil. *Revista Brasileira de Biologia* (online). 58.
- Confederación Hidrográfica del Duero. 2010. Guía de las diatomeas de la cuenca del Duero. Disponible en: <https://www.google.com/url?q=https://www.chdue.ro.es/documents/20126/427605/guadiatomeas.pdf> (consultado 15 de enero de 2019).
- Comas A. 1996. *Las Chlorococcales dulciacuicolas de Cuba*. Bibliotheca Phycologica 99, J. Cramer.
- Comas A. 2009. *Catálogo de las algas y cianoprocaritotas dulciacuicolas de Cuba*. Editorial Universo Sur, Universidad de Cienfuegos.
- Comas A, Martínez V, Toledo L, Pombo MC. 1999. Las algas de agua dulce de Cuba. Informe Final, PNCT del Programa Nacional: Cambios Globales y Medio Ambiente. Agencia Nacional Ciencia y Técnica.
- Comas A, Moreira A, León A, Uriza S, García O. 2009. *Algas y sus relaciones con características ecológicas del Río Damují*. Editorial Universo Sur, Universidad de Cienfuegos.
- Deegan LA, Finn J, Ayvazian SG, Ryder-Kieffer CA, Buonaccosi J. 1997. Development and validation of an estuarine biotic integrity index. *Estuaries*. 20: 601-617.
- Escobar MJ, Terneus E. 2012. Caracterización del estado de salud ecológica de los cuerpos de agua en el sector agrícola de la parroquia de Puéllaro utilizando comunidades de plancton como bioindicadores. Tesis de Diploma. Universidad Internacional del Ecuador, Quito.
- García JM, Sarmiento LF, Salvador M, Porras LS. 2017. Uso de bioindicadores para la evaluación de la calidad del agua en ríos: aplicación en ríos tropicales de alta montaña. Revisión corta. *UGCiencia*. 23: 47-62.
- Gainey PL, Lord TH. 1961. *Microbiology of water and sewage*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- Gerson AF, Williams WP, Bailey RG. 2000. Fish assemblages as indicators of water quality in the middle Thames estuary, England (1980-1989). *Estuaries*. 23: 305-317.

- González GJ, Novelo ME. 1986. Técnicas especiales de recolección y preparación de ejemplares de grupos selectos de plantas: algas. En: *Separata de manual de herbario*, Consejo Nacional de la Flora de México, 47-54, A.C., México.
- González MA, Inostroza IL. 2017. *Manual taxonómico y fotográfico de géneros fitoplanctónicos (exct. Diatomeas) de 7 lagunas del Gran Concepción*. Departamento de botánica, facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas, Universidad de Concepción, Concepción.
- Guamán MC, González NP. 2016. *Catálogo de microalgas y cianobacterias de agua dulce del Ecuador*. Laboratorio de biotecnología energética, Corporación para la investigación energética, Quito.
- Guiry MD, Guiry GM. 2019. AlgaeBase. World-wide electronic publication. National University of Ireland, Galway. Disponible en: <http://www.algaebase.org/> (consultado: 20 de enero de 2019).
- Ibarra JL. 2009. Propuesta de Bioindicadores para la Norma Secundaria de Calidad del Agua del río Itata: Uso de Peces en la Normativa Ambiental Chilena. Tesis de Diploma. Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas. Universidad de Concepción.
- Itzep J, Solís R, Kohlmann B, Russo RO. 2009. Manejo de bioindicadores de calidad de aguas en comunidades rurales. *Tierra Tropical*. 5: 55-66.
- Karr RJ. 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities. *Fisheries*. 6: 21-27.
- Karr RJ, Kurt DF, Angermeir PL, Yant PR y Schlosser IJ. 1986. Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale. *Illinois Natural History Survey Special Publication*. 5: 28.
- Laíz O. 1993. *Análisis de las aguas "metodología de análisis del plancton"*. Centro de Hidrología y Calidad del Agua, INRH.
- López FO, Siqueiros DA. 2011. Diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur, México. *CONABIO. Biodiversitas*. 99: 8-11.
- López-Rodríguez MC, Leira M, Valle R, Moyá-Niell G. 2016. El fitoplancton como indicador de calidad de masas de agua muy modificadas en la DMA. El lago artificial de As Pontes (A Coruña. España). *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*. 23: 85-97.
- López LM, Chávez ZM. 2020. Evaluación de la calidad de agua mediante la ictiofauna como bioindicador en el Humedal El Tabacal-Rocafuerte. Tesis de Diploma. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria, Manabí, Ecuador.
- Lyons J, Piette RR, Niermeyer KW. 2001. Development, Validation and application of a fish-based Index of Biotic Integrity for Wisconsin's large Warmwater Rivers. *Transactions of the American Fisheries Society*. 130: 1077-1094.
- Mendiola V. 2014. Evaluación del impacto sobre ecosistemas dulceacuícolas, mediante el uso de peces como bio-indicadores en el proyecto hidroeléctrico Torito (Costa Rica). En: Congreso Nacional del Medio Ambiente CONAMA (www.conama2014.org).
- Mercado-Silva N, Lyons J, Contreras-Balderas S. 2006. Mexican Fish-Based Indices of Biotic Integrity, their use in the conservation of freshwater resources. En: Lozano-Vilano, Contreras-Balderas A. (eds). *Studies of North American desert fishes in honor of E.P. (Phil) Pister, conservationist*. 208. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey.
- Mercado-Silva N, Lyons J, Salgado G, Medina M. 2002. Validation of fish based index biotic integrity for streams and rivers of central Mexico. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 123: 179-191.
- Moliner AM, Masaquer A. 1996. Calidad del agua para uso agrario. En: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Prácticas agrarias compatibles con el medio natural. El agua*. 4: 61-74.
- Peraza R, Comas A. 2017. Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba). Tesis de Maestría. Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de La Habana y Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.
- Pérez MR, Pineda R, Medina M. 2007. Integridad biótica de ambientes acuáticos En: Sanchez OM Herzig, Peters E, Márquez R, Zambrano L. (eds). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. 71-103. S y G editores, S.A de C.V. México D.F.
- Pérez E, Comas A, San Pedro A, Veitía E. 2016. Las microalgas como indicadores de contaminación orgánica en el río San Juan. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/237596463> (consultado: 10 de enero de 2019).
- Ponce de León JL, Rodríguez-Silva R. 2010. *Peces cubanos de la familia Poeciliidae. Guía de campo*. Editorial Academia, La Habana.
- Red de Información Ambiental de Andalucía. 2007. *Atlas de organismos planctónicos en los humedales andaluces*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, España.
- Rodríguez-Olarte D, Taphorn D. 1995. Los peces como indicadores biológicos: Aplicación del índice de integridad biótica en ambientes acuáticos de los

- Llanos Occidentales de Venezuela. *Biollania*. 11: 27-56.
- Rodríguez-Machado S, Ponce de León JL. 2017. Peces de agua dulce. En: Mancina CA, Cruz DD, *Diversidad biológica de Cuba: Métodos de inventario, Monitoreo y Colecciones Biológicas*, 326-347, Editorial AMA, La Habana.
- Rodríguez-Silva R, Hechavarría L. 2019. Propuesta inicial para el uso de peces dulceacuícolas como indicadores de integridad biológica en ecosistemas cubanos. Informe final del Proyecto PNCT Conservación y uso sostenible de la Diversidad Biológica en ecosistemas forestales y ganaderos bajo Manejo Sostenible de Tierras (MST) en Guamuhaya y Cuenca del Cauto. Instituto de Ecología y Sistemática, La Habana.
- Sánchez CJ, Mera KT. 2018. Ictiofauna como indicador biológico de la calidad del agua en el Humedal Laguna de Cube-Quinindé. Tesis de Diploma. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria, Manabí, Ecuador.
- Sarandon S, Flores CC. 2009. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas: una propuesta metodológica. *Agroecología*. 4: 19-28.
- Seeligmann C, Tracanna BC, Martínez S, Isasmendi S. 2001. Algas fitoplanctónicas en la evaluación de la calidad del agua de sistemas lóticos en el noroeste argentino. *Limnetica*. 20: 123-133.
- UNESCO. 2009. Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Documento Técnico PHI-LAC, N° 16.
- UNESCO. 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. "No dejar a nadie atrás". París.
- Urszula M, Wydrzycka B. 1996. Las especies de *Trachelomonas* (Algas: *Euglenophyta*) en tres lagunas volcánicas de Costa Rica. *Revista Biología Tropical*. 44: 477-484.
- Urquiza MN, Alemán C, Flores L, Ricardo MP, Aguilar Y. 2011. Manual de Procedimientos para Manejo Sostenible de Tierras. Programa de Asociación de País, CITMA, La Habana.
- Valle A, Comas A, Castro D, García A, Wilson A. 2021. Planktonic cyanobacteria from the Abreus Reservoir, Cienfuegos, Cuba. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 16: 20-29.
- Vázquez G, Castro G, González I, Pérez R, Castro T. 2006. Bioindicadores como herramienta para determinar la calidad del agua. *Contactos*. 60: 41-48.
- Velázquez E, Vega ME. 2004. Los peces como indicadores del estado de salud de los ecosistemas acuáticos. CONABIO. *Biodiversitas*. 57: 12-15.
- Vélez-Azañero A, Lozano S, Cáceres-Torres K. 2016. Diversidad de fitoplancton como indicador de calidad de agua en la cuenca baja del río Lurín, Lima, Perú. *Ecología Aplicada*. 15: 69-79.
- Vergara RR. 1992. *Principales características de la ictiofauna dulceacuícola cubana. Información adicional*. Editorial Academia, La Habana.
- WHO (World Health Organization). 2003. *Guidelines for safe recreational water environments. Coastal and Fresh Waters*. 1, Geneva.