
Aplicación del protocolo CERA-S para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos (cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá), Colombia

Application the CERA-S protocol to determinate the ecological quality of microcuenca Mamarramos (cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna & Flora Iguaque (Boyacá), Colombia

Yolanda Gamarra, Ricardo Restrepo, Alexandra Cerón-Vivas, Maryory Villamizar, Reinaldo Arenas, Claudia I. Vega y Andrea A. Avila

Resumen

La protección y conservación de los ríos en zonas de reserva y recarga de acuíferos en Colombia es de vital importancia y uno de los principales compromisos del gobierno, debido a que en estos ecosistemas se forman cuerpos hídricos, que ofrecen bienes y servicios, asociados al suministro de agua para las principales ciudades. El Santuario de Fauna y Flora Iguaque (SFFI) es un área protegida de la región andina colombiana, que presenta ecosistemas de páramo y bosque andino. Es administrado por Parques Nacionales Naturales de Colombia (PNN) y provee de agua a comunidades urbanas y rurales en su zona de influencia. Para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos se realizó un monitoreo, en el que se aplicó el protocolo CERA-S (Calidad Ecológica de Ríos Andinos Simplificado); esta herramienta integra la calidad hidromorfológica y el índice biótico ABI. En este estudio se realizaron tres jornadas de muestreo en estiaje (octubre, noviembre y diciembre de 2015) seleccionando 10 puntos de monitoreo sobre las quebradas Carrizal, Francos y Mamarramos. Los resultados obtenidos califican a la microcuenca en categoría excelente, proporcionando información que permite a los líderes políticos y comunitarios, tomar decisiones para acciones de conservación y prevención del deterioro del ecosistema por actividades antrópicas.

Palabras clave. Área protegida. Bioindicadores. Ecosistemas altoandinos. Hidromorfológico. Macroinvertebrados.

Abstract

The protection and conservation of rivers inside protected areas and aquifer recharges are of great importance in Colombia and one of the major commitments of the government, since surface water bodies usually originate in these ecosystems. Such systems therefore offer goods and services of water supply to large cities. The Santuario de Fauna y Flora Iguaque (SFFI) is a protected area of the Colombian Andean region composed of paramo and Andean forest ecosystems. The area, which provides water to both rural and urban communities, is managed by Parques Nacionales Naturales de Colombia (National Natural Parks of Colombia). In order to determine the ecological quality of the Mamarramos micro-basin, the CERA-S protocol (Simplified Ecological Quality for Andean Rivers) was applied. This tool integrates hydro-morphological quality with biotic index ABI. Three samplings were performed during dry season (October, November, and December 2015) in 10 sampling sites along the brooks of Carrizal, Francos, and Mamarramos. Obtained results qualify the micro-basin as a system in excellent state, thus providing valuable information for political and community leaders to make decisions to conserve and prevent the detriment of the ecosystem due to anthropic activities.

Key words. Bioindicators. High-andean ecosystems. Hydromorphologic. Macroinvertebrates. Protected area.

Introducción

Colombia tiene el 53 % de los páramos del mundo, y casi el 50 % corresponde a áreas protegidas. Estos ecosistemas brindan diversos servicios ecosistémicos asociados a: especies endémicas, paisajes, suelos y capacidad para fijar carbono atmosférico. Adicionalmente, tienen un papel fundamental como reguladores de aproximadamente el 70 % del agua del país, por su asociación con los nacimientos de los principales ríos (Gómez *et al.* 2016).

La legislación colombiana incluye la protección de los ecosistemas de páramo, subpáramo, nacimientos de agua y zonas de recarga de acuíferos a través de la Ley 99 de 1993. En este contexto, el Gobierno Nacional tiene como prioridad el estudio, conocimiento y protección de estos ecosistemas (Morales *et al.* 2007).

Como consecuencia de las actividades antropogénicas, los páramos presentan una degradación acelerada, asociada al incremento en la explotación del suelo y contaminación del agua, los cuales tienen efectos irreversibles sobre la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que prestan (Cabrera y Ramírez 2014, Gómez *et al.* 2016).

En este contexto, se ha incrementado la preocupación por el estado ecológico de las cuencas altoandinas y como consecuencia, el compromiso del gobierno está dirigido a identificar la condición de contaminación de los cuerpos hídricos, para establecer diagnósticos de calidad e implementar programas de restauración, preservación y conservación de cuencas estratégicas, con la participación de la comunidad (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible 2012). Según el Plan Nacional de Restauración, en Colombia el monitoreo permite establecer la línea base para hacer la evaluación de la condición del ecosistema, la toma de decisiones y la evaluación sobre la efectividad, costos y aplicabilidad de las estrategias en diferentes contextos (Ospina *et al.* 2015).

De igual manera, el diagnóstico de la calidad ecológica del río permite definir estrategias de mitigación o correctivas, para la buena gestión del recurso hídrico

(Encalada *et al.* 2011). Debido al escaso desarrollo de herramientas para evaluar la calidad del agua de forma integral, han surgido algunas metodologías como: el Índice Biótico Andino (ABI) (Ríos *et al.* 2014), el protocolo de Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos (CERA) (Acosta *et al.* 2009) y el protocolo de Calidad Ecológica de Ríos Andinos Simplificado (CERA-S) (Encalada *et al.* 2011).

El índice ABI se fundamenta en el índice *Biological Monitoring Working Party* (BMWP) desarrollado en el Reino Unido (Hellawell 1978), y es una adaptación para ríos altoandinos que incluye un menor número de familias de macroinvertebrados, debido a que la altitud restringe la distribución de varias de ellas (Ríos *et al.* 2014). Las características hidromorfológicas hacen referencia a la vegetación de la ribera, el paisaje próximo al río y algunos elementos del canal del río, como su forma y sustrato (Encalada *et al.* 2011).

El protocolo Calidad Ecológica de los ríos Andinos CERA (Acosta *et al.* 2009), se desarrolló a partir del Protocolo Rápido de Evaluación de la Calidad Ecológica (PRECE) para ríos mediterráneos de la Península Ibérica (Jaimes *et al.* 2002). La implementación de CERA, se ha realizado en países como Ecuador y Perú (Acosta *et al.* 2009). En Ecuador, la aplicación de índices de integridad para establecer estrategias de conservación fue evaluada en la subcuenca del río Yanuncay, zona compuesta por bosque altoandino y páramo (provincia de Azuay). En este estudio se analizaron indicadores de calidad y cantidad de agua con análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, valorando la cuenca como “Excelente” y “Buena”, permitiendo programar acciones para conservar el ecosistema y prevenir el deterioro por actividades antrópicas (Loja 2013).

El desarrollo del protocolo CERA-S está basado en el protocolo CERA y algunos índices como el ABI. Las principales investigaciones en este campo han sido los trabajos de Prat *et al.* (2009), a partir de los cuales se ha desarrollado una red de coautoría donde se destacan los trabajos de Acosta *et al.* (2009) y Ríos *et al.* (2014); este grupo se considera pioneros en este tipo de índices y han formado una red de apoyo científico-académico.

Para lograr estos avances, los autores se han apoyado en académicos que forman redes de colaboración donde reconocen otros trabajos para estructurar complejas redes de co-citación, que permite determinar la forma como el campo se encuentra actuando.

La red deja entrever un núcleo de autores seminales en este tema entre los que se destacan Jacobsen *et al.* (1997, 1998), Jacobsen y Encalada (1998), Roldán (1999), Myers *et al.* (2000), Figueroa *et al.* (2003), Jacobsen *et al.* (2003), Acosta *et al.* (2009) y Ríos *et al.* (2014). Los autores seminales se convierten en los investigadores principales en esta área del conocimiento y constituyen la base para el posterior desarrollo de protocolos e índices sobre los cuales se han construido, por ejemplo, los protocolos CERA, CERA-S y el índice ABI.

Teniendo en cuenta la importancia de esta metodología y los servicios ecosistémicos que ofrece el páramo, se propone aplicar el protocolo CERA-S (Encalada *et al.* 2011) para facilitar la participación de entidades ambientales (Parques Nacionales Naturales - PNN) y organizaciones no especializadas en el tema (Juntas de acción veredales y comunales). Adicionalmente, se pretende establecer el estado ecológico integral de los ecosistemas que cumplen las condiciones requeridas para su aplicación, a través de la calidad hidromorfológica y el índice biológico ABI (Encalada *et al.* 2011).

El objetivo del presente estudio fue aplicar el protocolo CERA-S en la microcuenca Mamarramos (cuenca Cane-Iguaque) ubicada en el Santuario de Fauna y Flora Iguaque, SFFI (Boyacá, Colombia), para evaluar la calidad ecológica a partir del gradiente de perturbación y la variabilidad natural.

Materiales y métodos

Área de estudio

El Santuario de Fauna y Flora de Iguaque - SFFI, tiene una extensión de 6923 hectáreas en el corredor

de páramos y bosques Iguaque-Guantiva-La Rusia del centro-occidental de la cordillera Oriental de los Andes colombianos, entre los departamentos de Boyacá y Santander. Cubre parte de los municipios de Villa de Leyva, Arcabuco y Chíquiza, en el departamento de Boyacá. En el sur, predominan las condiciones climáticas secas y en el norte mayor humedad (Sistema de Parques Nacionales Naturales 2006). Presenta altitudes entre 2400 y 3800 m s.n.m. y los siguientes ecosistemas: subxerofítico, bosque andino, bosque alto andino, subpáramo y páramo, además de humedales paramunos. El estudio se realizó en la microcuenca Mamarramos, que se forma por la confluencia de las quebradas Francos y Carrizal (Figura 1).

Fase de campo

Se seleccionaron 10 puntos de monitoreo distribuidos en las quebradas Mamarramos, Carrizal y Francos (Figura 1). Se realizaron tres jornadas de muestreo en período de baja precipitación (estiaje) (octubre, noviembre y diciembre), debido a las alteraciones del ciclo climático por el fenómeno del Niño del año 2015. La descripción de los puntos de muestreo se presenta en la Tabla 1.

Para el cálculo del índice biológico ABI, se realizó la captura de macroinvertebrados en un área de 10 m², mediante la técnica de coriotopos propuesta por Rincón (1996). Cada coriotopo se muestreó en un área aproximada de 1 m² utilizando una red de mano, con ojo de malla de 450 µm y un área de 0.1 m². Los coriotopos seleccionados para cada estación de muestreo fueron: musgos y piedras en corriente rápida y lenta, cascada, hojarasca, salpicadura y ribera (Medellin *et al.* 2004).

El muestreo fue intensivo, es decir, la captura de especímenes se hizo hasta que se empezaron a repetir los organismos, para asegurar la colección de todas las especies representativas en cada punto de $\geq 80\%$, según lo establecido por González *et al.* 2017. El material colectado fue preservado en solución *transeau* (Arcos y Gómez 2006, Corredor y Forero 2011) y llevado al laboratorio para su identificación.



Figura 1. Estaciones de monitoreo.

Tabla 1. Estaciones de muestreo.

Estación de muestreo	Nombre de la estación	Altitud m s. n. m.	Coordenadas geográficas	
			L. norte	L. oeste
QC, antes de bocatoma. (Anexo 3)	QCS01	3037 ± 8	5° 41' 48.2"	73° 27' 95"
QC, después del campo de infiltración del centro de visitantes. (Anexo 11)	QCS02	2897 ± 4	5° 42' 11"	73° 27' 25.5"
QC, después del campo de infiltración del área administrativa. (Anexo 4)	QCS03	2839 ± 3	5° 42' 26.6 "	73° 27' 28.6"
QC, antes de confluencia con la QF. (Anexo 5)	QCS04	2827 ± 3	5° 42' 29.4"	73° 27' 28.7"
QF, antes de zona de camping. (Anexo 6)	QFS01	2860 ± 8	5° 42' 15.9"	73° 27' 12"
QF, antes del campo de infiltración de la zona de camping. (Anexo 7)	QFS02	2856 ± 9	5° 42' 33.1"	73° 27' 32.6"
QF, después del campo de infiltración de la zona de camping. (Anexo 8)	QFS03	2849 ± 4	5° 42' 25.7"	73° 27' 24.4"
QF, antes de confluencia con la QC. (Anexo 9)	QFS04	2827 ± 3	5° 42' 29.4"	73° 27' 28.7"
QM, después de la confluencia de las QF y QC. (Anexo 10)	QMS01	2810 ± 4	5° 42' 32.6"	73° 27' 31.3"
QM, después de bocatoma (Anexo 12)	QMS02	2718 ± 3	5° 42' 42.5"	73° 27' 54.7"

Fase de laboratorio

Los macroinvertebrados colectados fueron identificados hasta el nivel de familia, utilizando un estereoscopio marca Nikon SMZ 745 T y un sistema de iluminación NI-150 *Nikon Instrumets Inc.* Las claves taxonómicas y guías de campo utilizadas fueron: Roldán (1988, 2003), Clifford (1991), Merritt y Cummins (1996), McCafferty y Lugo (1996), Bouchard (2004), Domínguez y Fernández (2009), Springer *et al.* (2010), Salcedo y Trama (2014). Para la toma de las microfotografías se utilizó una cámara Nikon *Digital Sight*.

Tratamiento de resultados

Curva de acumulación de taxones

Para establecer la aparición de taxones en cada unidad de muestreo y validar las técnicas de captura se calculó la curva de taxones (Villarreal *et al.* 2006, Colwell 2009). Con esta estimación y los puntos de muestreo,

se realizó una gráfica de dispersión, mostrando la línea de tendencia más aproximada, con el fin de obtener la ecuación de la curva, que relaciona el número de taxones acumulados y el número de unidades de muestreo.

Calidad hidromorfológica

Para determinar la calidad hidromorfológica se realizó una evaluación cualitativa de ocho características relacionadas con la vegetación de ribera y la naturalidad del canal del río, asignando valores de 0 a 5 (Encalada *et al.* 2011). Los criterios de evaluación para cada componente de la calidad hidromorfológica fueron tomados del Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S), el cual, de manera gráfica y descriptiva, establece los criterios para la calificación de cada uno de los ocho componentes para valorarlos *in situ* siguiendo la guía (Tabla 2).

Tabla 2. Características hidromorfológica a evaluar. Fuente: Encalada *et al.* (2011).

Características a evaluar
Estructura y naturalidad de la vegetación de ribera
Continuidad de la vegetación de ribera a lo largo del río
Conectividad de la vegetación de ribera con otros elementos del paisaje adyacente o próximo.
Presencia de basuras y escombros
Naturalidad del canal fluvial
Composición del sustrato
Regímenes de velocidad y profundidad del río
Elementos de heterogeneidad

Para obtener el valor final del índice de calidad hidromorfológica (ICH), se realizó la suma total de cada componente y se comparó con la escala de

evaluación: de cero a 10, Pésimo; 10 a 20, Mala; 20 a 28, Moderado; 28 a 35, Buena y valores mayores de 35, Excelente (Encalada *et al.* 2011).

Índice de calidad ABI

El índice ABI fue utilizado para determinar la calidad del agua a partir de las familias de macroinvertebrados capturadas en la zona de estudio. Para el cálculo del índice ABI se utilizó CABIRA (Calidad Biológica de los Ríos Altoandinos) (Prat *et al.* 2013), el cual asigna valores numéricos entre uno y diez a cada familia registrada durante un muestreo, dependiendo de su nivel de tolerancia a la contaminación. La suma de los puntajes de todas las familias encontradas en un sitio determinado define el valor del ABI. El ABI califica la calidad del agua a partir de la Tabla 3.

Tabla 3. Calidad de agua ABI. Fuente: Encalada *et al.* (2011).

ABI	Calidad de agua ABI
>96	Excelente
59 - 96	Buena
35 - 58	Moderada
<35	Mala
Sin Vida	Pésima

Protocolo CERA-S

Para aplicar el protocolo CERA-S se observan y valoran dos grupos de variables: (1) las características hidromorfológicas, que incluye la vegetación de la ribera, el paisaje próximo al río, y algunos elementos del canal del río, como su forma y sustrato y (2) los organismos que habitan en el agua.

Para obtener la evaluación de la calidad ecológica, se combinan las valoraciones de estos dos grupos: calidad hidromorfológica (ICH) y calidad biológica (ABI) (Figura 2) (Encalada *et al.* 2011).

Si el resultado de combinar las dos evaluaciones es de color azul, la calidad ecológica del río es excelente; si es verde, es bueno; el color amarillo corresponde a moderada; si es naranja, es mala y finalmente si es roja corresponde a pésima (Encalada *et al.* 2011).

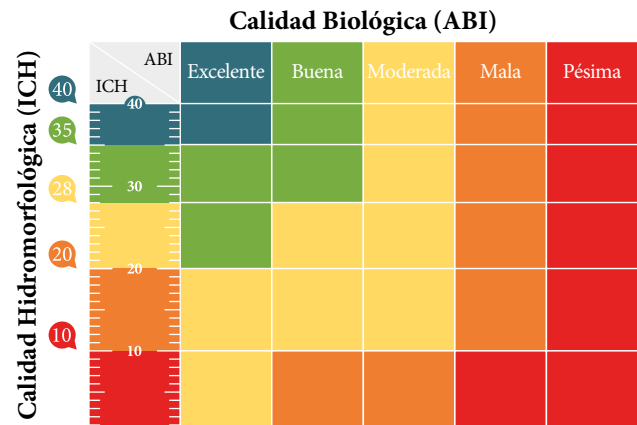


Figura 2. Criterios para el establecimiento de la calidad ecológica de un cuerpo de agua. Fuente: Modificada Encalada *et al.* (2011).

Resultados

Se colectaron 7521 individuos, distribuidos en 8 clases, 16 órdenes, 57 familias y 21 géneros, para un total de 75 taxones (Anexo 2). De las familias identificadas, las que presentaron mayor frecuencia fueron: Leptoceridae (19%), Calamoceratidae (11,8 %), Psephenidae (10,8 %), Helicopsychidae (9,7 %) y Planariidae (7,7 %).

Curva de acumulación de taxones

Con los datos obtenidos de las actividades de muestreo se elaboró la curva de acumulación de taxones, para determinar la eficacia del muestreo realizado (Figura 3).

La eficiencia del muestreo está representada en la captura de 73 taxones que corresponden al 87 % de los taxones esperados. Teóricamente, cuando el valor de taxones capturados supera el 80 % de los taxones estimados por la curva, se considera que el muestreo tiene alta representatividad (Figura 3) (Jiménez y Hortal 2003, Villarreal *et al.* 2006, Moreno y Quintero 2015).

Calidad hidromorfológica

Según los resultados obtenidos en el presente estudio (Figura 4) la calidad hidromorfológica para los 10 puntos de monitoreo califican excelente. Los valores calculados en cada punto fueron mayores a 35, registrando los más altos en los puntos QCS03 y QMS01 y los más bajos en los puntos QCS02 y QMS02.

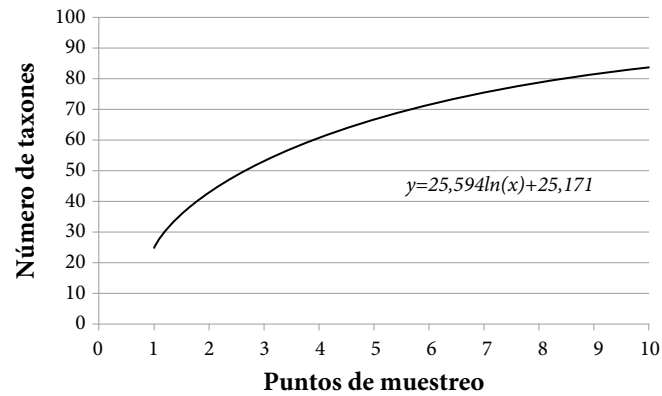


Figura 3. Curva de acumulación de taxones.

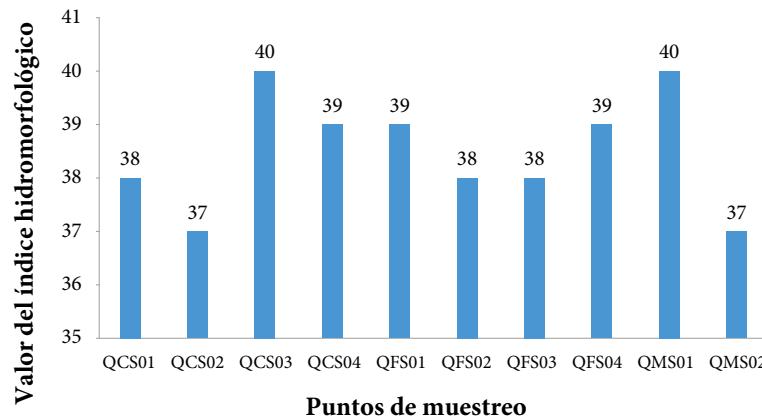


Figura 4. Calidad hidromorfológica.

Los puntos QCS03 y QMS01 son áreas naturales que no presentan intervención antrópica (Anexos del 3 al 10) y conservan la vegetación de ribera y la naturalidad del canal del río. Los puntos QCS02 y QMS02 fueron los de menor valoración, posiblemente asociado a la presencia de infraestructura y actividades antrópicas. El punto QCS02 se localiza aguas abajo del campo de infiltración del centro de visitantes (Anexo 11) y el punto QMS02, aguas abajo de la bocatoma del acueducto de la vereda Capilla y antes del drenaje del desarenador (Anexo 12).

Índice de calidad ABI

Los resultados de ABI obtenidos en el presente estudio (Figura 5), demuestran que la calidad del agua en la microcuenca Mamarramos es calificada como muy buena, según los rangos de valores establecidos por el índice.

El punto con menor ponderación de ABI fue QFS04 (Anexo 9) con un valor de 156. En este punto se capturaron 26 familias, y además presentó el menor número de taxones. Las familias identificadas eran sensibles a la contaminación, y sus puntajes ABI fueron cercanos a 10. En el punto QMS02 (Anexo 12) se capturaron 41 familias y fue el de mayor ponderación con un valor de 236.

Protocolo CERA-S

Finalmente, para evaluar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos, se combinan los resultados de la calidad hidromorfológica excelente y el índice ABI muy bueno, utilizando la Figura 2. El resultado de combinar las dos evaluaciones fue de color azul, valorando como excelente la calidad ecológica de la microcuenca (Figura 6).

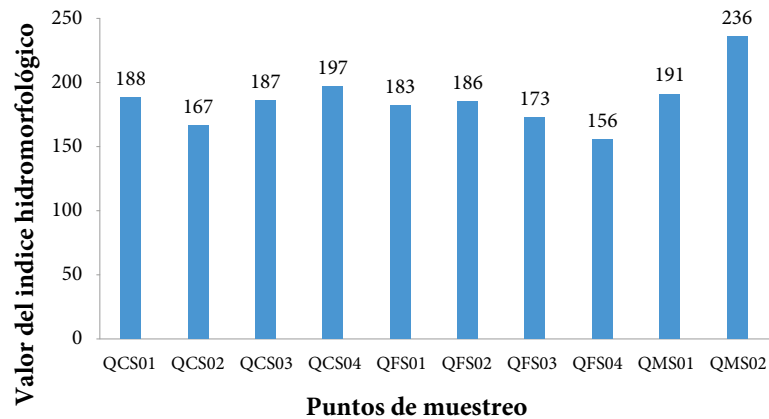


Figura 5. Índices de calidad ABI.

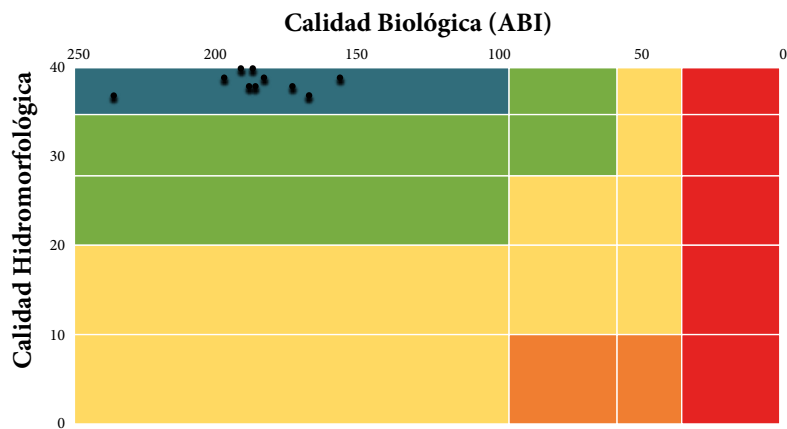


Figura 6. Calidad ecológica - Protocolo CERA-S. Fuente: Autores, basado en Encalada *et al.* (2011).

Como lo establece el protocolo CERA-S, al correlacionar la calidad biológica (ABI) con la calidad hidromorfológica, los 10 puntos de muestreo se ubicaron en el primer recuadro o cuadrante (color azul), indicando que la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos es muy buena (Figura 6, Tabla 3).

Discusión

La aplicación del protocolo CERA-s, con sus índices (ABI e hidromorfológico), permite integrar la información en la ribera del cuerpo de agua. En Colombia no se ha implementado como una medida de análisis de calidad, existiendo pocos estudios al respecto, como el realizado por Ocampo (2013) en la quebrada La Jaramilla (La Tebaida, Quindío), en el que aplica el índice hidromorfológico y el índice de

ribera (QBR), como una alternativa de evaluación de calidad de cuencas.

En el SFFI, Luna (2009) utilizó el índice de Calidad de Bosque de Ribera (QBR), con el objeto de valorar el estado de conservación de la ribera de los cuerpos de agua, que incluyó en su evaluación (Munné *et al.* 1998). La quebrada Carrizal, obtuvo estado natural, ratificando que las condiciones de la ribera del río permanecen en el tiempo, demostrando el estado de conservación de la zona. Esta característica se confirma en el presente estudio, en los componentes hidromorfológicos evaluados para el bosque de ribera (Anexo 1).

ABI es un índice relativamente nuevo y su aplicación en el país ha sido escasa. Ecuador y Perú han realizado estudios basados en este índice con el objeto de

promocionar esta alternativa diseñada especialmente para ecosistemas altoandinos (Acosta *et al.* 2009, Ríos *et al.* 2014).

Debido a la carencia de estudios publicados utilizando el protocolo CERA-s o el índice ABI en Colombia en ecosistemas de páramo, se analizaron los estudios que aplicaron el índice BMWP/Col para establecer una comparación del estado de la microcuenca Mamarramos. Medellín *et al.* (2004) desarrollaron el índice BMWP/Col para la quebrada Carrizal y la quebrada Mamarramos obteniendo un valor de 176 y 151, respectivamente, calificándola como aguas limpias, no contaminadas. De igual manera Luna (2009), desarrolló este mismo índice para la quebrada Carrizal y obtuvo calidad buena. Ávila y Vega (2016), implementaron BMWP/Col para las quebradas Carrizal, Francos y Mamarramos calificando a la microcuenca con calidad buena, aguas limpias, no contaminadas.

A partir de este resultado, se confirma la condición ecológica que debe tener un cuerpo de agua de alta montaña en un área protegida en Colombia, estableciendo que en el SFFI permanecen condiciones ideales a nivel biológico e hidromorfológico, para la preservación, conservación y aprovechamiento de los bienes y servicios ecosistémicos.

El análisis de cada componente del protocolo CERA-s permite identificar los aspectos que se deben mejorar para restaurar la calidad ecológica de la cuenca. Con la valoración hidromorfológica se puede establecer la relación con las modificaciones en la ribera o en el canal del río, y con la calidad biológica, se establece relación con la calidad del agua (Encalada *et al.* 2011). Por la trascendencia del ecosistema de páramo, es necesario mantener información actualizada sobre las especies y sus atributos ecosistémicos. La aplicación del protocolo CERA-s, contribuye a complementar otras metodologías que se están desarrollando actualmente en el país para conocer, proteger, utilizar o restaurar su biodiversidad y servicios ecosistémicos, con la participación de la comunidad (Gómez *et al.* 2016).

Conclusiones

La curva de acumulación de taxones confirma la captura del 87 % de los taxones presentes en la zona muestreada, validando la técnica de muestreo para ser utilizada como piloto de futuras investigaciones en los ecosistemas de alta montaña.

La calidad hidromorfológica de la microcuenca Mamarramos es excelente (>35), confirmando las condiciones de preservación y conservación que debe tener un ecosistema de alta montaña en un área protegida.

Los resultados obtenidos de la aplicación del índice ABI califican a la microcuenca Mamarramos como muy buena, demostrando que el cuerpo hídrico presenta las condiciones adecuadas para la vida y el desarrollo de macroinvertebrados acuáticos.

De acuerdo a lo establecidos en el protocolo CERA-S, a partir de la combinación de los resultados de la evaluación de la calidad hidromorfológica con el índice ABI, la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos califica a como excelente.

Recomendaciones

En Colombia los páramos han sido afectados por prácticas de agricultura intensiva, ganadería extensiva, explotación minera y establecimiento de infraestructura por actividades antrópicas. Por esta problemática se requiere desarrollar estrategias que contribuyan a planificar y orientar el futuro de los páramos. La utilización de herramientas como el protocolo CERA-S, para evaluar la calidad ecológica de las cuencas de páramo que abastecen zonas rurales y urbanas, constituye un complemento a otras herramientas utilizadas. El presente estudio puede ser replicado periódicamente en el SFFI y en otras zonas del país, por entidades administrativas, para establecer acciones de manejo, restauración, protección y contribuir a la sostenibilidad del recurso hídrico.

Agradecimientos

Este proyecto se realizó con la financiación de la Dirección de Investigaciones y Transferencia de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga (Proyecto No. 055-0615-2400) y Parques Nacionales Naturales de Colombia. Además, los autores agradecen al personal del Laboratorio de Estudios Ambientales y a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Ambiental que participaron en el proyecto: Jhonatan Duitama, Alcides Rivera, Naydú Villamizar, Diego Blanco, Oscar Rueda, Juan Camilo Orozco, Jorge Salazar, Zulma Rueda, Andrea Paba, Alejandro Rincón, Fernando Martínez, Karen Cáceres, Paola Reyes, Yohana Castro y Carlos Andrés Chiriví.

Bibliografía

- Acosta, R., M. Rieradevall, B. Ríos y N. Prat. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas de Ecuador y Perú. *Limnetica* 28 (1): 35-64.
- Arcos, M. y A. Gómez. 2006. Microalgas perifíticas como indicadores del estado de las aguas de un humedal urbano: Jaboque, Bogotá D.C., Colombia. *Nova* 4 (6): 60-79.
- Ávila, A. y C. Vega. 2016. Determinación de la calidad del agua de la quebrada Mamarramos (Boyacá, Colombia) relacionando los índices fisicoquímicos con los de diversidad, equidad, disimilaridad y Biological Monitoring Working Party (BMWP), en época seca. Universidad Pontificia Bolivariana, Facultad de Ingeniería Ambiental, Bucaramanga, 92 pp.
- Bouchard, R. W. 2004. Guide to aquatic macroinvertebrates of the upper midwest. Water Resources Center. Minnesota, 208 pp.
- Cabrera, M. y W. Ramírez. (Eds). 2014. Restauración ecológica de los páramos de Colombia. Transformación y herramientas para su conservación. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C. Colombia, 296 pp.
- Clifford, H. F. 1991. Aquatic invertebrates of Alberta: an illustrated guide. Alberta, 538 pp.
- Colwell, R. 2009. EstimateS : Biodiversity Estimation. *Diversity*: 1-23.
- Corredor, L. y A. Forero. 2011. Biodeterioro de La Fuente de Lavapatás, Parque Arqueológico de San Agustín-Huila. Colombia. *Ge-conservación* 2: 65-80.
- Domínguez, E. y H. Fernández. 2009. Sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Macroinvertebrados Bentónicos Sudamericanos. Argentina, 656 pp.
- Encalada, A. C., M. Rieradevall, B. Ríos, N. García y N. Prat. 2011. Protocolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los ríos andinos (CERA-S). Quito, 86 pp.
- Figuroa R., C. Valdovinos, E. Araya y O. Parra. 2003. Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua de ríos del sur de Chile. *Revista Chilena de Historia natural* 76: 275-85.
- Gómez, M. F., L. A. Moreno, G. I. Andrade y C. Rueda. (Eds.). 2016. Biodiversidad 2015. Estado y tendencias de la biodiversidad continental de Colombia. Instituto Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., Colombia, 108 pp.
- González, N. A., C. Pozo, S. Ochoa, B. Gordon, E. Cambranis, O. Lara, I. Pérez y A. Ponce. 2017. Nymphalidae frugívoras (Lepidoptera: Papilionoidea) asociadas a un ecosistema agropecuario y de bosque tropical lluvioso en un paisaje del sureste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87: 451-464.
- Hellawell, J. M. 1978. Biological surveillance of rivers: a biological monitoring handbook. Medmenham, Bucks.(UK); Stevenage (UK) WRC, Medmenham Lab.; WRC, Stevenage Lab., 332 pp.
- Jacobsen, D., R. Schultz y A. Encalada. 1997. Structure y diversity of stream invertebrate assemblages: The influence of temperature with altitude y latitude. *Freshwater Biology* 38 (2): 247-61.
- Jacobsen, D. 1998. The effect of organic pollution on the macroinvertebrate fauna of ecuadorian highland streams. *Archiv für Hydrobiologie* 143 (2): 179-95.
- Jacobsen, D. y A. Encalada. 1998. The macroinvertebrate fauna of ecuadorian highland streams in the wet y dry season. *Archiv für Hydrobiologie* 142 (1): 53-70.
- Jacobsen, D., S. Rostgaard y J. J. Vásconez. 2003. Are macroinvertebrates in high altitude streams affected by oxygen deficiency?. *Freshwater Biology* 48 (11): 2025-2032.
- Jáimez, P., S. Vivas, N. Bonada, S. Robles, A. Mellado, M. Álvarez, J. Avilés, J. Casas, M. Ortega, I. Pardo, N. Prat, M. Rieradevall, C. E. Sáinz, A. Sánchez, M. L. Suárez, M. Toro, M. R. Vidal, C. Zamora y J. Alba. 2002. Protocolo GUADALMED (PRECE). *Limnetica* 21 (3-4): 187-204.
- Jiménez, A. y J. Hortal. 2003. Las curvas de acumulación de especies y la necesidad de evaluar la calidad de los inventarios biológicos. *Revista Ibérica de Aracnología* 8 (9): 151-161.
- Loja, G. 2013. Determinación de estrategias de conservación en la subcuenca del río Yanuncay mediante el análisis de indicadores de calidad y cantidad de agua. Trabajo de grado. Universidad del Azuay, Maestría en Gestión Ambiental. Ecuador, 199 pp.
- Luna, H. 2009. Estudio preliminar del uso de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores de la calidad del agua en la quebrada Mamarramos y en un sector del río Cane en el Santuario de Fauna y Flora Iguaque. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias, 142 pp.
- McCafferty, W. P., y C. R. Lugo. 1996. Taxonomy of the neotropical genus *Americabaetis*, new status (Insecta: Ephemeroptera: Baetidae). *Studies on Neotropical Fauna y Environment* 31 (3-4): 156-169. <https://doi.org/10.1076/snfe.31.3.156.13341>
- Medellin, F., M. Ramírez y M. Rincón. 2004. Trichoptera del Santuario de Iguaque (Boyacá, Colombia) y su relación con la calidad del agua. *Revista Colombiana de Entomología* 30 (2): 197-203.
- Merritt, R. y K. Cummins. 1996. An Introduction to the aquatic insects of North America. Kendall Hunt. Michigan, 862 pp.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2012. Decreto 1640 de 2 de agosto de 2012. Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para planificación, ordenación y manejo de las

- cuenas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones. República de Colombia, 28 pp.
- Morales, M., J. Otero, T. Van der Hammen, A. Torres, C. Cadena, C. Pedraza, N. Rodríguez, C. Franco, J. C. Betancourth, E. Olaya, E. Posada y L. Cárdenas. 2007. Atlas de páramos de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D. C., 208 pp.
- Moreno, R. y S. Quintero. 2015. Reptiles del valle seco del río Magdalena (Huila, Colombia). *Caldasia* 37 (1): 183-195.
- Munné, A., C. Solá y N. Prat. 1998. Freshwater Ecology Management QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera. Barcelona, 175 pp.
- Myers, N., R. A. Mittermeier, C. G. Mittermeier, G. A. Da Fonseca y J. Kent. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* (403): 853–858.
- Ocampo, A. 2013. Evaluación del estado actual de la calidad del agua de la quebrada La Jaramilla, municipio de la Tebaida, departamento del Quindío. Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas. Manizales, 109 pp.
- Ospina, O. L., S. Vanegas, G. A. Escobar, W. Ramírez y J. J. Sánchez. 2015. Plan Nacional de Restauración: restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, 92 pp.
- Prat, N., B. Ríos, R. Acosta y M. Rieradevall. 2009. Los macroinvertebrados como indicadores de la calidad del agua. Pp. 631-654. *En*: Domínguez, E. y H. R. Fernández (Eds.). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, 654 pp.
- Prat, N., C. Villamarín y M. Rieradevall. 2013. Aplicación CABIRA (Calidad Biológica de los ríos Altoandinos). Grup de recerca F.E.M. (Freshwater Ecology and Management). Universitat de Barcelona, 23 pp. Disponible a: <http://hdl.handle.net/2445/36431>
- Rincón, M. 1996. Aspectos bioecológicos de los tricópteros de la quebrada Carrizal (Boyacá), Colombia. *Revista Colombiana de Entomología* 22 (1): 53-60.
- Ríos, B., R. Acosta y N. Prat. 2014. The Andean Biotic Index (ABI): Revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families y index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical* 62: 249–73.
- Roldán, G. 1988. Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Fondo para la protección del Medio Ambiente. Medellín, 217 pp.
- Roldán, G. 1999. Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista Académica Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23: 375–87.
- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: uso del método BMWP Col. Editorial Universidad de Antioquia. Medellín, 170 pp.
- Salcedo, S. G. y F. A. Trama. 2014. Manual de identificación de macroinvertebrados acuáticos de la microcuenca San Alberto, provincia de Oxapampa. Chanchamayo. Perú, 116 pp.
- Sistema de Parques Nacionales Naturales. 2006. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del río Cane Iguaque. Corpoboyacá. Tunja, 33 pp.
- Springer, M., A. Ramírez y P. Hanson (Eds.). Macroinvertebrados de agua dulce de Costa Rica I. *Revista de Biología Tropical* 58 (4): 151-198.
- Villarreal, H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina y A. M. Umaña. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, D.C., 236 pp.

Anexo 1. Resultados de la suma de los criterios de la calidad hidromorfológica.

Componente	QCS01	QCS02	QCS03	QCS04	QFS01	QFS02	QFS03	QFS04	QMS01	QMS02
Estructura y naturalidad de la vegetación de la ribera	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
Continuidad de la ribera	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4
Conectividad de la vegetación	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Presencia de basuras y escombros	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Naturalidad del canal	4	4	5	5	5	5	5	5	5	4
Composición sustrato	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Cont. **Anexo 1.** Resultados de la suma de los criterios de la calidad hidromorfológica.

Componente	QCS01	QCS02	QCS03	QCS04	QFS01	QFS02	QFS03	QFS04	QMS01	QMS02
Régimen de velocidad y profundidad	5	3	5	5	5	3	3	5	5	5
Elementos de heterogeneidad	4	5	5	4	4	5	5	4	5	5
Suma Hidromorfológica	38	37	40	39	39	38	38	39	40	37

Anexo 2. Taxones colectados en la microcuenca Mamarramos, Santuario de Fauna y Flora de Iguaque.

Clase	Orden	Familia	Género
Oligochaeta	Haplotaxida	Tubificidae	
Pelecypoda	Veneroidea	Sphaeriidae	
Aracnoidea	Acarina	Hydrachnidiae	
	Araneae	Pisauridae	
Malacostraca	Amphipoda	Hyaellidae	Hyaella
	Decapoda	Pseudothelphusidae	
	Isopoda		
Turbelaria	Seriata	Planariidae	
Bivalvia	Veneroidea	Sphaeriidae	
Gastropoda	Mesogastropoda	Ampullariidae	
Diplopoda	Polydesmida	Polydesmidae	
Gordioidea	Chordodea	Chordodidae	
Insecta		Entomobryidae	
	Collembola	Isotomidae	
		Poduridae	
	Blattodea	Blattidae	
		Baetidae	
	Ephemeroptera	Leptohiphidae	Leptphyphes
			Vacupernius

Cont. **Anexo 2.** Taxones colectados en la microcuenca Mamarramos, Santuario de Fauna y Flora de Iguaque.

Clase	Orden	Familia	Género	
Insecta	Ephemeroptera	Leptohyphidae	Farrodes	
	Plecoptera	Perlidae	Anacroneuria	
	Lepidoptera	Pyralidae		
	Odonata	Synlestidae		
		Libellulidae		
	Diptera	Psychodidae		
		Ceratopogonidae		Sp1
		Chironomidae		Sp2
				Sp3
		Empididae		
		Ephydriidae		
		Dixidae		
		Dolichopodidae		
		Muscidae		
		Simuliidae		Simulium
		Tabanidae		
		Tipulidae		Hexatoma
				Sp1
		Blephariceridae		
	Coleoptera	Chrysomelidae		
		Curculionidae		
		Lampyridae		
		Staphylinidae		
		Scirtidae		
		Elmidae		

Cont. **Anexo 2.** Taxones colectados en la microcuencia Mamarramos, Santuario de Fauna y Flora de Iguaque.

Clase	Orden	Familia	Género	
Insecta	Coleoptera	Psephenidae	Psephenops	
		Ditiscidae		
		Ptilodactilidae		
		Hydrophilidae		
		Torridincolidae		
	Trichoptera	Hydropsychidae		Calasopsyche
				Sp1
		Anomalopsychidae		
		Philopotamidae		
		Polycentropodidae		Cyrellus
				Polycentropus
		Calamoceratidae		Phylloicus
				Sp1
		Glossosomatidae		Culoptila
				Mortinella
				Protoptila
				Sp1
			Hydrobiosidae	
				Sp1
	Helicopsychidae			Helicopsyche
	Leptoceridae		Atanatolica	
			Grumicha	
			Grumichella	
		Nectopsyche		
		Sp1		
		Triplectides		

Cont. **Anexo 2.** Taxones colectados en la microcuenca Mamarramos, Santuario de Fauna y Flora de Iguaque.

Clase	Orden	Familia	Género
Insecta	Trichoptera	Xiphocentronidae	
		Hydroptilidae	

Anexo 3. Quebrada Carrizal (QCS01).



Anexo 4. Quebrada Carrizal (QCS03).



Anexo 5. Quebrada Carrizal (QCS04).



Anexo 6. Quebrada Los Francos (QFS01).



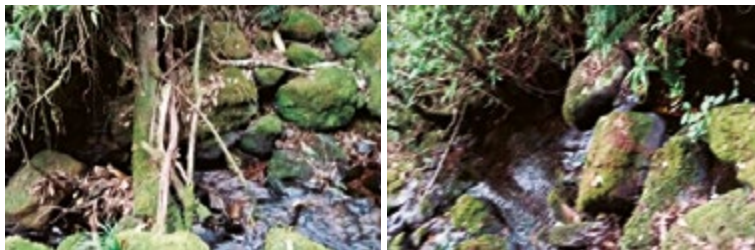
Anexo 7. Quebrada Los Francos (QFS02).



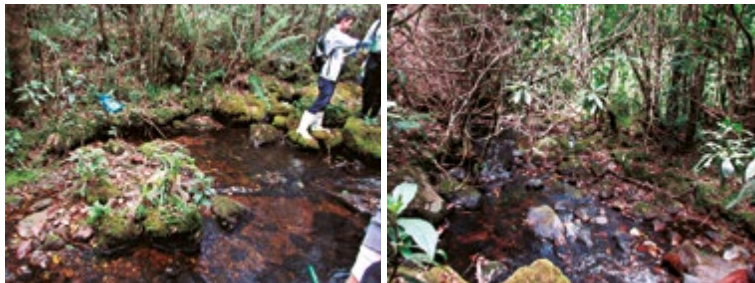
Anexo 8. Quebrada Los Francos (QFS03).



Anexo 9. Quebrada Los Francos (QFS04).



Anexo 10. Quebrada Mamarramos (QMS01).



Cont. Anexo 10. Quebrada Mamarramos (QMS01).



Anexo 11. Quebrada Carrizal (QCS02).



Anexo 12. Quebrada Mamarramos (QMS02).



Yolanda Gamarra

Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana,
Bucaramanga, Santander, Colombia
yolanda.gamarra@upb.edu.co

Ricardo Restrepo

Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana,
Bucaramanga, Santander, Colombia
restrepo.manrique@gmail.com

Alexandra Cerón-Vivas

Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana,
Bucaramanga, Santander, Colombia
alexandra.ceron@upb.edu.co

Maryory Villamizar

Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana,
Bucaramanga, Santander, Colombia
maryory.villamizar@upb.edu.co

Reinaldo Arenas

Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana,
Bucaramanga, Santander, Colombia
reynaldo.arenas@upb.edu.co

Claudia Isabel Vega

Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana,
Bucaramanga, Santander, Colombia
claudia.vegasuarez@gmail.com

Andrea Alexandra Ávila

Facultad de Ingeniería Ambiental
Universidad Pontificia Bolivariana,
Bucaramanga, Santander, Colombia
andrea.20_93@hotmail.com

Aplicación del protocolo CERA-S para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos (cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá), Colombia

Citación del artículo: Gamarra, Y., R. Restrepo, A. Cerón-Vivas, M. Villamizar, R. Arenas, C. I. Vega y A. A. Ávila. 2017. Aplicación del protocolo CERA-S para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos (cuenca Cane-Iguaque), Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá), Colombia. *Biota Colombiana* 18 (2): 11 – 29. DOI: 10.21068/c2017.v18n02a02.

Recibido: 01 de diciembre de 2016
Aprobado: 03 de agosto de 2017