

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DE LA MICROCUENCA MAMARRAMOS,  
SANTUARIO DE FAUNA Y FLORA IGUAQUE (BOYACÁ, COLOMBIA), EN ÉPOCA SECA,  
APLICANDO EL PROTOCOLO CERA-S.

CLAUDIA ISABEL VEGA SUÁREZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESPECIALIZACIÓN EN PRESERVACIÓN Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES  
BUCARAMANGA  
2016

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DE LA MICROCUENCA MAMARRAMOS,  
SANTUARIO DE FAUNA Y FLORA IGUAQUE (BOYACÁ, COLOMBIA), EN ÉPOCA SECA,  
APLICANDO EL PROTOCOLO CERA-S.

CLAUDIA ISABEL VEGA SUÁREZ  
Monografía para optar al título de  
Especialista en Preservación y Conservación de Recursos Naturales

Asesor  
RICARDO RESTREPO MANRIQUE  
Biólogo, Esp. Química e Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESPECIALIZACIÓN EN PRESERVACIÓN Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES  
BUCARAMANGA  
2016

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto, por guiar mis pasos, y por haberme dado salud y fortaleza para lograr mis objetivos.

A mi familia por ser el motor de mi vida, por darme la oportunidad de crecer como persona y profesional; a mi madre María Isabel por ser mi ejemplo y orgullo, por acompañarme en cada momento, por sus consejos, sus valores y su amor ilimitado; a mi nona María Smith por ser esa mujer fuerte y luchadora que me ha enseñado a ser valiente y a no rendirme ante ninguna prueba de la vida; a mi tío Alberto por ser esa persona incondicional, por animarme a luchar mis sueños e ir siempre en busca de lo que me hace feliz.

A mis amigos y amigas por acompañarme en cada paso, por ser mi apoyo emocional en los momentos difíciles y llenarme de sonrisas con sus bromas y cariño; a Javier por ser ese apoyo continuo, ser la persona que cree en mí y me anima siempre a dar lo mejor de mí.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por brindarme la oportunidad de cumplir una más de mis metas, finalizar mi especialización.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi asesor el Esp. Ricardo Restrepo Manrique por apoyarme a lo largo de la elaboración del documento, por transmitirme su vocación y conocimiento, por orientarme y hacer agradable este aprendizaje. También quiero expresar mi gratitud a la M.Sc. Yolanda Gamarra Hernández que me introdujo al mundo de los macroinvertebrados acuáticos y me permitió hacer parte de este gran proyecto. A las profesoras M.Sc Alexandra Cerón Vivas y Ph.D. Maryory Patricia Villamizar León por su acompañamiento constante. Al equipo del macroproyecto de investigación de la Universidad Pontificia Bolivariana.

Al Santuario de Fauna y Flora de Iguaque y al Sistema de Parques Nacionales Naturales de Colombia por permitirme ser parte del proceso investigativo y el desarrollo de este trabajo. A la Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga, por buscar siempre una formación integral, y como parte de esta institución a cada uno de los docentes que hicieron parte de mi formación como especialista.

## CONTENIDO

Página.

LISTA DE TABLAS.....	5
LISTA DE FIGURAS .....	6
LISTA DE ANEXOS .....	7
1. GLOSARIO .....	8
2. RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO .....	9
3. GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE.....	10
4. INTRODUCCIÓN .....	11
5. OBJETIVOS.....	12
5.1. OBJETIVO GENERAL .....	12
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
6. MARCO TEÓRICO.....	13
6.1. MARCO CONTEXTUAL.....	13
6.1.1. Definición del problema.....	13
6.2. MARCO CONCEPTUAL .....	13
6.2.1. Calidad ecológica.....	13
6.2.2. Macroinvertebrados acuáticos.....	14
6.2.3. Tratamiento de resultados.....	15
6.3. MARCO LEGAL .....	21
6.3.1. Actos administrativos de declaración del área, límites y reglamentos. ....	21
7. METODOLOGÍA .....	22
7.1. CURVA DE ACUMULACIÓN DE TAXONES.....	22
7.2. CALIDAD HIDROMORFOLÓGICA.....	22
7.3. ÍNDICE DE CALIDAD ABI.....	25
7.4. ÍNDICE MULTIMÉTRICO DE ESTADO ECOLÓGICO DE RÍOS ALTOANDINOS (IMEERA). ....	25
7.5. ÍNDICES BIOLÓGICOS. ....	25
7.6. PROTOCOLO CERA-S.....	26
8. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	27
8.1. CURVA DE ACUMULACIÓN DE TAXONES.....	27

8.2.	CALIDAD HIDROMORFOLÓGICA.....	27
8.2.1.	Resultados de calidad hidromorfológica.....	28
8.3.	ÍNDICE DE CALIDAD ABI.....	29
8.3.1.	Resultado índice de calidad ABI.....	29
8.4.	ÍNDICE MULTIMÉTRICO DE ESTADO ECOLÓGICO DE RÍOS ALTOANDINOS (IMEERA). .....	30
8.4.1.	Resultados IMEERA.....	31
8.5.	ÍNDICES BIOLÓGICOS .....	32
8.6.	PROTOCOLO CERA-S.....	35
9.	CONCLUSIONES.....	37
10.	RECOMENDACIONES.....	38
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	39
13.	ANEXOS.....	41

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Estado de la variable. ....	16
Tabla 2. Regímenes - Profundidad.....	18
Tabla 3. Puntuación del Índice Biótico Andino (ABI).....	19
Tabla 4. Características hidromorfológica a evaluar. ....	22
Tabla 5. Calidad hidromorfológica. ....	23
Tabla 6. Nombre, nomenclatura, altitud, subcuenca y coordenadas de las estaciones de muestreo. ....	24
Tabla 7. Calidad de agua ABI.....	25
Tabla 8. Calificación IMEERA.....	25

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del ecosistema fluvial.....	15
Figura 2. Estaciones de monitoreo. ....	23
Figura 3. Criterios para el establecimiento de la calidad ecológica de un cuerpo de agua.....	26
Figura 4. Curva de acumulación de taxones.....	27
Figura 5. Calidad Hidromorfológica encontrada en cada punto de muestreo.....	28
Figura 6. Índices de calidad ABI obtenidos en cada punto de muestreo.....	29
Figura 7. Índice IMEERA calculado para cada punto de muestreo. ....	31
Figura 8. Boxplot del índice multimétrico y clasificación de los sitios de referencia. ....	32
Figura 9. Gráfico de Boxplot para la Diversidad Shannon- Wiener (H') de la microcuenca Mamarramos en la época climática de sequía.....	33
Figura 10. Gráfico de Boxplot para Equitatividad (J) de la microcuenca Mamarramos en la época climática de sequía.....	34
Figura 11. Matriz de dispersión con correlación entre los índices bióticos de diversidad (H') y equitatividad (J).....	35
Figura 12. Calidad ecológica - Protocolo CERA-S.....	36

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Quebrada Carrizal (QCS01) .....	41
Anexo 2. Quebrada Carrizal (QCS02) .....	41
Anexo 3. Quebrada Carrizal (QCS03) .....	42
Anexo 4. Quebrada Carrizal (QCS04) .....	42
Anexo 5. Quebrada Los Francos (QFS01) .....	43
Anexo 6. Quebrada Los Francos (QFS02) .....	43
Anexo 7. Quebrada Los Francos (QFS03) .....	44
Anexo 8. Quebrada Los Francos (QFS04) .....	44
Anexo 9. Quebrada Mamarramos (QMS01) .....	45
Anexo 10. Quebrada Mamarramos (QMS02) .....	45
Anexo 11. Porcentaje de familias por punto de monitoreo .....	46
Anexo 12. Suma hidromorfológica .....	49
Anexo 13. Resumen de atributos ambientales .....	50

## 1. GLOSARIO

**ABUNDANCIA:** se refiere al número de individuos encontrados de un determinado taxa. comúnmente es usado para el tamaño poblacional y se piensa que refleja la situación de la población de una especie dentro de una locación específica.

**ÁREA PROTEGIDA:** área definida geográficamente que es designada, regulada y administrada a fin de alcanzar objetivos específicos de conservación.

**BIOINDICADOR:** organismo vivo que se utiliza para determinar y evaluar el índice de contaminación de un lugar, especialmente de la atmósfera o del agua.

**BIOTOPO:** espacio geográfico con unas condiciones ambientales determinadas (como suelo, agua, atmósfera, etc.) para el desarrollo de ciertas especies animales y vegetales.

**COMUNIDAD:** conjunto de poblaciones biológicas que comparten un área determinada y coinciden en el tiempo.

**CUENCA HIDROGRÁFICA:** es el territorio drenado por un único sistema de desagüe natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un río con todos sus tributarios.

**MONITOREO:** es el proceso sistemático de recolectar, analizar y utilizar información para hacer seguimiento al progreso de un programa en pos de la consecución de sus objetivos, y para guiar las decisiones de gestión.

**MUESTREO:** es el proceso de seleccionar un conjunto de individuos de una población con el fin de estudiarlos y poder caracterizar el total de la población.

**POBLACIÓN:** es un conjunto de organismos de la misma especie que ocupan un área más o menos definida y que comparten determinado tipo de alimentos.

## 2. RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DE LA MICROCUENCA MAMARRAMOS, SANTUARIO DE FAUNA Y FLORA IGUAQUE (BOYACÁ, COLOMBIA), EN ÉPOCA SECA, APLICANDO EL PROTOCOLO CERA-S.

**AUTOR(ES):** CLAUDIA ISABEL VEGA SUÁREZ

**FACULTAD:** Esp. en Preservación y Conservación de los Recursos Naturales

**DIRECTOR(A):** RICARDO RESTREPO MANRIQUE

### RESUMEN

El Santuario de Fauna y Flora Iguaque (SFFI) es un área protegida perteneciente a la Dirección Territorial Andes Nororientales; es considerado un eje estratégico para el abastecimiento del recurso hídrico de los acueductos rurales y municipales de las comunidades aledañas al Santuario, por esta razón es necesario el constante seguimiento a la calidad del agua de las diferentes cuencas que se localizan en el área protegida. Sin embargo, establecer la calidad de recurso no es suficiente, por tanto, en la presente monografía se desarrolló el protocolo CERA-S con el fin de determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos, identificando el estado en el que se encontraba el ecosistema, integrando información sobre el bosque de ribera, las áreas adyacentes, el canal, el lecho del río y los organismos que lo habitan (macroinvertebrados acuáticos). Los resultados obtenidos muestran que la calidad ecológica de la microcuenca es EXCELENTE, a pesar de las intervenciones puntuales, principalmente por las bocatomas e infraestructuras de operación de la zona administrativa, zona de campamento y centro de visitantes del SFFI, demostrando el alto grado de conservación de la microcuenca Mamarramos, posiblemente en consecuencia a las medidas de conservación y preservación adoptadas por Parques Nacionales Naturales de Colombia.

### PALABRAS CLAVES:

Parques Nacionales, Iguaque, Macroinvertebrados, Bioindicadores, Calidad ecológica, Protocolo CERA-S

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

### **3. GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** DETERMINATION OF ECOLOGICAL QUALITY OF MICROCUENCA MAMARRAMOS, SANTUARIO DE FAUNA Y FLORA IGUAQUE (BOYACÁ, COLOMBIA) IN DRY CLIMATIC PERIOD, APPLYING THE CERA- S PROTOCOL

**AUTHOR(S):** CLAUDIA ISABEL VEGA SUÁREZ

**FACULTY:** Esp. en Preservación y Conservación de los Recursos Naturales

**DIRECTOR:** RICARDO RESTREPO MANRIQUE

#### **ABSTRACT**

Santuario de Fauna y Flora Iguaque is a protected region member of Dirección Territorial Andes Nororientales, it is considered a strategic axis for the supply of hydric resource in rural and municipal aqueducts of population surrounding the Sanctuary, therefore constantly monitoring the water quality of different basins that are located in the protected area is necessary. However, setting the quality of resource is not enough, so, in this monograph the CERA-S protocol was developed in order to determine the ecological quality of the microcuenca Mamarramos, identifying what was the state of the ecosystem, integrating information on the riparian forest, adjacent areas, the canal, the riverbed and the organisms that inhabit it (macroinvertebrates). The results show that the ecological quality of the microbasin is EXCELLENT, in spite of hoc interventions, mainly by water intakes and infrastructure operation of the administrative area, campground and visitors center of SFFI, demonstrating the high degree of conservation of the microcuenca Mamarramos of the Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, possibly result of the conservation and preservation measures taken by Parques Nacionales Naturales de Colombia.

#### **KEYWORDS:**

National Parks, Iguaque, Macroinvertebrates, Bioindicators, Ecological Quality, CERA-S Protocol

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

#### 4. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha evidenciado una creciente preocupación acerca del estado ecológico de las cuencas altoandinas, llevándose a cabo la formulación y elaboración de protocolos y procedimientos que permiten dar un concepto válido de la calidad ecológica de las microcuencas, teniendo presente las condiciones y características de las regiones altoandinas. Sin embargo, dichos protocolos están dirigidos a profesionales en ciencias naturales, con extensos conocimientos en biología y ecología. Con el fin de permitir la participación de ciudadanos no profesionales en esta área de conocimiento se formuló el protocolo CERA-S (Calidad Ecológica de Ríos Andinos simplificado) presentado por los autores Encalada, Rieradevall, Ríos-Touma, García, & Prat, 2011 , que es una simplificación para facilitar la aplicación del protocolo CERA (Calidad Ecológica de Ríos Andinos) propuesto por Acosta Rivas, Ríos Touma, Rieradevall i Sant, & Prat i Fornells, 2009 .

Con el objetivo de evaluar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos ubicada en el Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia), se implementó el protocolo CERA-S, el cual permite evaluar la calidad ecológica por el funcionamiento de los diferentes componentes del ecosistema de manera integral. La presente monografía tomó la información hidrobiológica de los macroinvertebrados capturados entre los meses de octubre a diciembre del año 2015, dentro del macroproyecto CONSTRUCCIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD ECOLÓGICA PARA LA MICROCUENCA MAMARRAMOS (Boyacá, Colombia) A PARTIR DEL ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE PARÁMETROS, desarrollado entre la Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga en convenio con Parques Nacionales Naturales de Colombia.

La determinación de la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos (Boyacá, Colombia), pretende incentivar la aplicación de índices de integridad ecológica, ampliamente desarrollados en Ecuador y Perú, debido a sus ventajas como el costo-eficiencia, la validación científica y el enfoque regional, entre otros. La presente monografía promueve métodos alternativos, efectivos y económicos, para evaluar el impacto de las actividades humanas en zonas altoandinas. De igual manera esta experiencia es un piloto para aplicar a otras cuencas altoandinas en Colombia, especialmente en el desarrollo de propuestas de biomonitoreo participativo, que involucren las comunidades de las zonas, las instituciones educativas y las entidades que se encargan de tomar decisiones.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos, Santuario de Fauna y Flora Iguaque (Boyacá, Colombia), en época seca, aplicando el protocolo CERA-s.

### **5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Establecer la calidad hidromorfológica de la microcuenca Mamarramos a partir de las características de su entorno.
- Evaluar la calidad del agua y la integridad ecológica de la microcuenca Mamarramos con la implementación del índice de calidad de aguas ABI.
- Aplicar el Protocolo CERA-S a partir de la valoración de la calidad biológica de la microcuenca y las características de su entorno.

## **6. MARCO TEÓRICO**

### **6.1. MARCO CONTEXTUAL**

#### **6.1.1. Definición del problema.**

El Santuario de Fauna y Flora Iguaque (SSFI) hace parte del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SINAP) en Colombia, se localiza 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. Orográficamente enmarcado dentro del Macizo de Iguaque, localmente cubre parte de los municipios de Villa de Leyva, Arcabuco y Chíquiza, departamento de Boyacá (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2006).

El Sistema de Parques Nacionales Naturales (SPNN) se encarga de garantizar las condiciones de un área protegida, realizando constante monitoreo y control de la calidad de los recursos que se encuentran en las zonas protegidas. En el caso del SFFI en los últimos años se han recibido reclamos por parte de los usuarios que se benefician de la captación de agua proveniente de la quebrada Mamarramos, por presencia de bacterias del grupo coliformes. Como respuesta a esta inquietud de la comunidad, los administrativos del SFFI implementaron acciones de tratamiento de las aguas servidas de la zona administrativa del parque, con el fin de garantizar la buena calidad del recurso hídrico, sin embargo, como una medida adicional, se hizo necesario evaluar el estado de los recursos en la zona, por lo que el SPNN realizó un convenio con entidades educativas.

La Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga dentro del convenio con el SPNN realizó el macroproyecto CONSTRUCCIÓN DE UN ÍNDICE DE CALIDAD ECOLÓGICA PARA LA MICROCUENCA MAMARRAMOS (Boyacá, Colombia) A PARTIR DEL ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE PARÁMETROS; para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta la calidad del agua a partir de la evaluación de parámetros fisicoquímicos y parámetros biológicos, lo que permitió suministrar una herramienta numérica, para fortalecer la construcción de un índice de calidad ecológica, teniendo en cuenta la estimación de la abundancia, la biomasa de los organismos y las variables fisicoquímicas, a partir de herramientas multivariantes.

Como una alternativa para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos siguiendo un protocolo estandarizado y como procedimiento comparativo a la propuesta que surja del macroproyecto, nace la presente monografía, DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD ECOLÓGICA DE LA MICROCUENCA MAMARRAMOS, SANTUARIO DE FAUNA Y FLORA IGUAQUE (BOYACÁ, COLOMBIA), EN ÉPOCA SECA, APLICANDO EL PROTOCOLO CERAS.

### **6.2. MARCO CONCEPTUAL**

#### **6.2.1. Calidad ecológica.**

La calidad ecológica es una medida integral del estado en el que se encuentra el ecosistema e incluye la evaluación tanto de los alrededores del río como del ambiente acuático; se integra información sobre el bosque de ribera, las áreas adyacentes, el canal, el lecho del río (características hidromorfológica), y los organismos que los habitan (peces, macroinvertebrados, algas o bacterias) (Encalada et al., 2011).

Evidenciar la calidad ecológica de un cuerpo hídrico ayuda a definir algunos de los posibles problemas existentes en una cuenca que incluyen la sedimentación, la eutrofización y la contaminación por bacterias y sustancias tóxicas, los cuales han persistido durante décadas (Londoño, 2006). 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).

Para la evaluación de la calidad ecológica se evalúan dos grupos de variables:

#### **6.2.1.1. Características hidromorfológica.**

Las características hidromorfológica 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).

#### **6.2.1.2. Calidad biológica.**

En el río habitan muchos tipos de organismos, como peces, invertebrados, bacterias o algas. Cada uno de ellos ha evolucionado en estos ambientes naturales y, por tanto, presenta distintos niveles de tolerancia a la contaminación del agua (Encalada et al., 2011). La presencia de distintas familias con diferentes niveles de tolerancia a la contaminación, es un testigo de los cambios de la calidad del agua que se han producido por lo menos un mes antes del momento de estudio (Encalada et al., 2011).

### **6.2.2. Macroinvertebrados acuáticos.**

#### **6.2.2.1. Definición.**

Los macroinvertebrados acuáticos son un grupo variado de organismos que no tienen espina dorsal y que son fáciles de ver sin la necesidad de un microscopio ( $< 500 \mu$ ), además, son una fuente de energía para los animales más grandes. Estos son utilizados para el biomonitoreo por su sensibilidad a cambios externos en el medio que afectan la composición de sus poblaciones (Roldán, 2003). Este grupo de animales suele estar en todos los tipos de cuerpos de agua (lagunas, ríos, riachuelos, pozos) son muy variados y abundantes (Encalada et al., 2011).

#### **6.2.2.2. Macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores.**

El concepto de bioindicador aplicado a la evaluación de calidad de agua, es definido como: una especie que posee requerimientos particulares con relación a uno o un conjunto de variables físicas o químicas, tal que los cambios de presencia/ausencia, número, morfología o de conducta de esa especie en particular, puede indicar que las variables físicas o químicas consideradas, se encuentran cerca de sus límites de tolerancia (Rosenberg & Resh, 1993).

Según estudios realizados recientemente a nivel mundial, el uso de bioindicadores es una excelente herramienta para conocer la calidad del agua, simplificando en gran medida las actividades de campo y laboratorio, ya que la aplicación de esta técnica sólo requiere la identificación y cuantificación de los organismos basándose en índices de diversidad ajustados a intervalos que califican dicha calidad (Vásquez, Castro, Gonzáles, Pérez, & Castro, 2006).

Según Roldán (2003) los macroinvertebrados acuáticos son excelentes indicadores de la calidad del agua debido a las siguientes características.

- Son abundantes, de amplia distribución y relativamente fáciles de recolectar.
- Son sedentarios en su mayoría, por tanto, reflejan las condiciones locales.

- Relativamente fáciles de identificar, si se comparan con otros grupos, como las bacterias y virus, entre otros.
- Presentan los efectos de las variaciones ambientales de corto tiempo.
- Proporcionan información para integrar efectos acumulativos.
- Poseen ciclos de vida largos.
- Son apreciables a simple vista.
- Se pueden cultivar en el laboratorio.
- Responden rápidamente a los tenses ambientales.
- Varían poco genéticamente.

### 6.2.3. Tratamiento de resultados.

Para la determinación de la calidad ecológica de un cuerpo hídrico existen diferentes estrategias, que involucran variables hidromorfológica como biológicas.

#### 6.2.3.1. Curva de acumulación de taxones.

Una curva de acumulación de taxones es el número de familias acumuladas a lo largo de una medida de esfuerzo de muestreo, cuanto mayor sea el esfuerzo, el número de familias colectadas será mayor y la adición de taxones al inventario se produce rápidamente, a medida que prosigue el muestreo son las familias raras, así como los individuos de taxones provenientes de otros lugares, los que hacen crecer el inventario. En el momento en el que la pendiente de la curva llega a cero se puede decir que se han hallado el número total de taxones posibles en la zona (Jiménez-Valverde & Hortal, 2003).

Las curvas de acumulación permiten dar fiabilidad a los inventarios biológicos y posibilitar su comparación, de igual manera facilitan una mejor planificación del trabajo de muestreo, tras estimar el esfuerzo requerido para conseguir inventarios fiables, y extrapolar el número de taxones observado en un inventario para estimar el total de especies que estarían presentes en la zona (Lamas, Robbins, & Harvey, 1991; Soberón & Llorente, 1993).

#### 6.2.3.2. Calidad hidromorfológica.

La calidad hidromorfológica valora el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera adyacentes, Figura 1 , que son el soporte de las comunidades biológicas del río (Encalada et al., 2011).

Figura 1. Esquema del ecosistema fluvial.



Modificado de: Encalada et al., 2011

Para determinar la calidad hidromorfológica se analizan ocho aspectos de la vegetación de ribera del río y de la naturalidad del canal del río, Figura 1. Estos aspectos son clave en el mantenimiento de las comunidades biológicas y de la calidad del agua. Para el análisis de estos índices se realiza una evaluación cualitativa de cada característica asignando valores de 0 a 5 de acuerdo a la Tabla 1 (Encalada et al., 2011).

Tabla 1. Estado de la variable.

<b>Valor</b>	<b>Estado de la variable</b>
0	Pésimo
1	Malo
2	Regular
3	Moderado
4	Muy bueno
5	Excelente

Tomado de: Encalada et al., 2011

Los ocho aspectos para determinar la calidad hidromorfológica se evalúan de acuerdo a las condiciones del cuerpo hídrico y la zona de ribera. Según Encalada et al., 2011 se asigna el valor a cada aspecto de acuerdo a:

#### **Estructura y naturalidad de la vegetación de la ribera.**

- Si la vegetación que se encuentra está compuesta por árboles o bosques mixtos de especies nativas el grado de naturalidad es excelente (valor 5 en el índice).
- Si la vegetación de ribera está compuesta mayormente por arbustos o árboles introducidos como pinos o eucaliptos, entonces el grado de naturalidad de la ribera es moderado (valor 3 en el índice).
- Así mismo, si la vegetación de ribera está compuesta por cultivos o pastos, entonces el grado de naturalidad es malo (valor 1 en el índice).

#### **Continuidad de la ribera.**

- Si la vegetación es continua, sin partes donde haya pastos o cultivos, entonces tiene una continuidad excelente (valor 5 en el índice).
- Si la vegetación de ribera se presenta como parches interrumpidos por cultivos, infraestructuras o pastos, entonces tiene una continuidad moderada (valor 3 en el índice).
- Si la vegetación de ribera está solo en pequeños parches alejados entre sí, entonces la continuidad será mínima (valor 1 en el índice).

#### **Conectividad de la vegetación.**

- Si el paisaje próximo a la zona de ribera está compuesto de vegetación natural en más de un 75%, entonces la conectividad es excelente (valor 5 en el índice).

- Si el paisaje próximo a la zona de ribera está compuesto por una combinación de bosques con cultivos cuya superficie sea inferior al 50 %, entonces la conectividad es moderada (valor 3 en el índice). No deben existir elementos urbanos.
- Sin embargo, si los cultivos ocupan más del 50 % del paisaje adyacente al río la conectividad es mala, aunque no existan elementos urbanos (valor 1 en el índice).
- Si la vegetación de ribera está próxima a elementos de urbanismo, pero estos elementos ocupan menos del 50% del paisaje entonces hay conectividad mala (o regular) y por lo tanto puntúa 2 según el índice, siempre que el resto del paisaje esté ocupado por bosque.
- Si está ocupado por agricultura, el valor será de 0 puntos.
- Si los elementos de urbanismo ocupan más del 50% del paisaje adyacente (situándose en los dos márgenes) la conectividad es nula y por lo tanto el valor es 0.

### **Presencia de basuras y escombros.**

- Si se encuentra basura de forma aislada y fácil de remover el valor es 2 puntos.
- Si se encuentra basura acumulada en forma de botadero (que se pueden sacar solo con maquinaria y remoción de tierra) entonces el valor es 0 puntos.
- Si no hay basura ni escombros se asigna 5 puntos.

### **Naturalidad del canal fluvial.**

- Si el río no muestra signos de que su cauce haya sido modificado, no esté rectificado ni canalizado, y no tiene cemento, ni estructuras sólidas, se considera que es completamente natural, y que su grado de naturalidad es excelente (valor 5 en el índice).
- Si, por otro lado, las terrazas adyacentes al río han sido modificadas para hacer plantaciones o para pasto para ganado, entonces el grado de naturalidad del canal del río es moderado (valor 3 en el índice).
- Si uno de los lados del canal del río está modificado por una estructura sólida entonces la naturalidad es mala (valor 1 en el índice).
- Cuando los dos lados del canal del río están modificados por estructuras sólidas, entonces el grado de naturalidad del canal del río es nulo (valor 0 en el índice).

### **Composición del sustrato.**

Por cada tipo de sustrato presente se suma un punto. Los principales tipos de sustratos son: bloques, piedras, cantos, grava, arena, arcilla y lodo.

### **Regímenes de velocidad y profundidad del río.**

En esta sección se evalúa las distintas profundidades presentes en el río, así como la velocidad del agua. Esto puede hacerse de forma sencilla observando la presencia de cuatro combinaciones posibles de velocidad y profundidad en el lecho del río, Tabla 2. Se considera una zona somera aquella que tienen profundidades menores a 0,4m. Una zona rápida es aquella por donde el agua corre de forma aparente, esto quiere decir que si se deposita un objeto flotante (una hoja o rama) éste debería recorrer por lo menos 30 cm en un segundo. Cada combinación aporta un punto, y se añade un punto más si el tramo de río tiene las cuatro combinaciones (Encalada et al., 2011).

Los regímenes de profundidad y velocidad se evalúan según la Tabla 2, teniendo en cuenta: somero:< 0.4 m y lento:< 0.3 m/s.

Tabla 2. Regímenes - Profundidad

<b>Regímenes-Profundidad</b>	<b>Presente</b>	<b>Ausente</b>
Rápido-Somero	1	0
Rápido-Profundo	1	0
Lento-Somero	1	0
Lento-Profundo	1	0

Tomado de: Encalada et al., 2011

### **Elementos de heterogeneidad.**

Esta sección evalúa elementos de heterogeneidad que favorecen el aumento de biodiversidad de organismos acuáticos. Los elementos que se evalúan son: hojarasca, troncos y ramas, diques naturales, raíces sumergidas, vegetación acuática sumergida (musgos y plantas), o, vegetación acuática sumergida (algas). La presencia de cada uno de estos suma un punto.

### **6.2.3.3. Índice de calidad ABI.**

Los índices bióticos basados en la tolerancia a la contaminación de los macroinvertebrados acuáticos son ampliamente utilizados para evaluar la calidad del agua, pero existen pocas adaptaciones hechas para América del Sur, debido a la falta de conocimiento sobre la taxonomía de macroinvertebrados, la distribución y la tolerancia a la contaminación en la región. Ríos-Touma, Acosta, & Prat, 2014 presenta The Andean Biotic Index (ABI), como una alternativa para evaluar la calidad del agua.

El Índice Biótico Andino (ABI) se basa en el índice BMWP desarrollado en el Reino Unido, en general, ABI incluye un menor número de familias de macroinvertebrados que en otras regiones del mundo donde se ha aplicado el índice BMWP, debido a que la altitud restringe la distribución de varias de ellas. La tolerancia a la contaminación de varias familias en este índice difiere de lo reportado en otras áreas, debido a las condiciones andinas. El ABI es ampliamente utilizado en Ecuador y Perú, y es parte integral del nuevo índice multimétrico diseñado para ríos alto andinos (IMEERA) (Ríos-Touma et al., 2014).

El índice se construye asignando valores numéricos entre 1 y 10 a cada familia registrada durante el muestreo, dependiendo de su grado de tolerancia a la contaminación. En esta escala, el valor de 1 se asigna a las familias más tolerantes y el de 10 a las familias más sensibles, Tabla 3 (Encalada et al., 2011).

Tabla 3. Puntuación del Índice Biótico Andino (ABI)

Orden	Familia	Puntuación ABI	Orden	Familia	Puntuación ABI
<b>Turbellaria</b>	Planariidae	5	<b>Lepidoptera</b>	Pyrilidae	4
<b>Hirudinea</b>		3	<b>Coleoptera</b>	Ptilodactylidae	5
<b>Oligochaeta</b>		1		Lampyridae	5
<b>Gasteropoda</b>	Ancylidae	6		Psephenidae	5
	Physidae	3		Scirtidae	5
	Hydrobiidae	3		Staphylinidae	3
	Limnaeidae	3		Elmidae	5
	Planorbidae	3		Dryopidae	5
<b>Bivalvia</b>	Sphaeriidae	3		Gyrinidae	3
<b>Amphipoda</b>	Hyalellidae	6		Dytiscidae	3
<b>Ostracoda</b>		3		Hydrophilidae	3
<b>Hydracarina</b>		4		Hydraenidae	5
<b>Ephemeroptera</b>	Baetidae	4	<b>Diptera</b>	Blepharoceridae	10
	Leptophlebiidae	10		Simuliidae	5
	Leptohyphidae	7		Tabanidae	4
	Oligoneuridae	10		Tipulidae	5
<b>Odonata</b>	Aeshnidae	6		Limoniidae	4
	Gomphidae	8		Ceratopogonidae	4
	Libellulidae	6		Dixidae	4
	Coenagrionidae	6		Psychodidae	3
	Calopterygidae	8		Dolichopodidae	4
	Polythoridae	10		Stratiomyidae	4
<b>Plecoptera</b>	Perlidae	10		Empididae	4
	Gripopterygidae	10		Chironomidae	2
<b>Heteroptera</b>	Veliidae	5		Culicidae	2
	Gerridae	5		Muscidae	2
	Corixidae	5		Ephyridae	2
	Notonectidae	5		Athericidae	10
	Belostomatidae	4		Syrphidae	1
	Naucoridae	5			
<b>Trichoptera</b>	Helicopsychidae	10			
	Calamoceratidae	10			
	Odontoceridae	10			
	Leptoceridae	8			
	Polycentropodidae	8			
	Hydroptilidae	6			
	Xiphocentronidae	8			
	Hydrobiosidae	8			
	Glossosomatidae	7			
	Hydropsychidae	5			
	Anomalopsychidae	10			
	Philopotamidae	8			
	Limnephilidae	7			

Tomado de: Encalada et al., 2011

#### 6.2.3.4. Índice multimétrico de estado ecológico de ríos altoandinos (IMEERA).

El Índice Multimétrico de Estado Ecológico de Ríos Altoandinos (IMEERA) es uno de los métodos más efectivos para la evaluación biológica de la calidad del agua de los ríos altoandinos, ya que permite combinar varias métricas simples o índices bióticos, los cuales evalúan diferentes aspectos biológicos como la riqueza taxonómica, la composición taxonómica, los grupos tróficos, el hábitat, el hábito, la tolerancia/intolerancia, entre otras (Villamarín, 2008).

Este índice de calidad ecológica, no solo es sensible a las variables fisicoquímicas del cuerpo hídrico, sino también a las características hidromorfológicas, por lo tanto, es un buen indicador de las condiciones ecológicas de la corriente. El índice tiene un rango de evaluación para ecosistemas entre 2.500 y 5.500 msnm, diferenciando a los páramos de los bosques, dando una valoración más acertada, de acuerdo a las condiciones de cada zona (Villamarín, Rieradevall, Paul, Barbour, & Prat, 2013).

#### **6.2.3.4.1. Aplicación CABIRA.**

Para el cálculo del índice IMEERA se utiliza la aplicación CABIRA (Calidad Biológica de los Ríos Altoandinos) que está diseñada para el cálculo de métricas representativas de la calidad biológica de la comunidad de los macroinvertebrados acuáticos que viven en los ríos altoandinos (por encima de los 2000 m.s.n.m.) y muy especialmente para el cálculo del índice multimétrico IMEERA (Índice Multimétrico de Estado Ecológico de Ríos Altoandinos) (Villamarín et al., 2013). Esta aplicación informática fue desarrollada por el grupo de investigación F.E.M. (Freshwater Ecology and Management) del Departamento de Ecología de la Universitat de Barcelona (España) bajo la dirección del profesor Narcís Prat. La aplicación CABIRA y el cálculo de métricas representativas han sido ampliamente utilizados en Ecuador y Perú, sin embargo, en Colombia no se han implementado como una herramienta para la evaluación de calidad ecológica de las cuencas.

#### **6.2.3.5. Índices biológicos.**

Para los estudios de calidad de agua a partir de macroinvertebrados se han utilizado índices biológicos, relacionados con la diversidad y uniformidad.

##### **6.2.3.5.1. Diversidad Shannon-Wiener ( $H'$ ).**

El índice de diversidad Shannon-Wiener ( $H'$ ) incorpora en un solo valor a la riqueza específica y a la equitatividad. En algunos casos el valor del índice de diversidad estimado puede provenir de distintas combinaciones de riqueza específica y equitatividad; es decir, que el mismo índice de diversidad puede obtenerse de una comunidad con baja riqueza y alta equitatividad como de una comunidad con alta riqueza y baja equitatividad. Esto significa que el valor del índice aislado no permite conocer la importancia relativa de sus componentes (riqueza y equitatividad) (Magurran, 2004).

El índice de diversidad tiene en cuenta el número de individuos como el número de taxones. Varía desde 0.5 para las comunidades con un solo taxón a 5 para las comunidades con muchos taxones, cada una con unos pocos individuos.

##### **6.2.3.5.2. Equitatividad ( $J$ ).**

El índice de Equitatividad ( $J$ ) es la diversidad de Shannon dividida por el logaritmo del número de taxones. Mide la uniformidad con la que los individuos se dividen entre los taxones presentes. El rango va de 0 a 1, siendo 1 un ecosistema con unas especies distribuidas de forma equitativa en cada punto de muestreo.

##### **6.2.3.6. Protocolo CERA-S.**

El protocolo CERA-S es una simplificación del protocolo CERA (Calidad Ecológica de Ríos Altoandinos), que es una herramienta de evaluación a partir de la experiencia previa del diseño y aplicación del proyecto GUADALMED que desarrolló un Protocolo Rápido de Evaluación de la Calidad Ecológica (PRECE) que evalúa el estado ecológico de los ríos mediterráneos en la Península Ibérica, desarrollado bajo la normativa de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (Universitat de Barcelona, 2007).

El protocolo CERA-S es una alternativa muy útil que tiene como objetivo permitir el seguimiento y monitoreo del estado de los ríos, de una forma rápida y con participación directa de ciudadanos

no profesionales, interesados en los recursos hídricos (Encalada et al., 2011). Inicialmente para el desarrollo del protocolo CERA es necesario tener un conocimiento específico de las condiciones biológicas y las condiciones hidromorfológicas, calculando el índice de hábitat (IHF), el índice de calidad biológica de ríos basados en macroinvertebrados ABI y el índice de valoración del estado de conservación del sistema de ribera (QBR-And) (Acosta Rivas et al., 2009).

La base del protocolo CERA-S es la valoración de la calidad biológica del río, las características de su entorno y su representación mediante una combinación sencilla de colores (Encalada et al., 2011).

### **6.3. MARCO LEGAL**

#### **6.3.1. Actos administrativos de declaración del área, límites y reglamentos.**

En el mes de junio de 1977, con el objeto de preservar especies, comunidades vegetales y animales, con fines científicos, educativos y para conservar recursos genéticos de la flora y fauna, mediante la Resolución Ejecutiva No. 173 de junio de 1977, aprobatoria del Acuerdo 033 de mayo 2 de 1977 de la Junta Directiva del INDERENA, se declara, delimita y reserva el Santuario de Fauna y Flora de Iguaque, con una extensión de 6750 Hectáreas. En el artículo primero se alinda el Santuario, en el segundo se reserva como área protegida del SPNN. En el tercero se declara de utilidad pública el área alinderada. Esta Resolución del Gobierno Nacional -Ministerio de Agricultura-, asigna el manejo y administración al INDERENA, y prescribe la expropiación de tierras cuando fuere del caso, deja a salvo derechos adquiridos y establece que para su validez, sea publicado en el Diario Oficial y en las cabeceras de Tunja, Villa de Leyva y Arcabuco e inscrito en la Oficina de Registro de Instrumentos Públicos y Privados de los Circuitos respectivos (Sistema de Parques Nacionales Naturales, 2006).

## 7. METODOLOGÍA

La presente monografía tomó la información hidrobiológica de los macroinvertebrados capturados entre los meses de octubre a diciembre del año 2015, dentro del macroproyecto de la Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga en convenio con Parques Nacionales Naturales, en el SFFI, en época climática seca. El desarrollo de esta monografía consistió en aplicar el protocolo CERA-S como una alternativa diferente de análisis al propuesto en el macroproyecto que se está ejecutando actualmente.

Para determinar la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos, SFFI (Boyacá, Colombia), en época seca, se evaluó de manera integral el estado en el que se encontraba el ecosistema, a partir del cálculo de los siguientes atributos ambientales.

### 7.1. CURVA DE ACUMULACIÓN DE TAXONES.

Para la realización de la curva de acumulación de taxones se utilizó el software EstimateS 8.2. (Colwell, 2009), el cual calculó MMMeans run1, que representa los valores esperados de riqueza para el monitoreo, como lo especifica el programa. Los cálculos se ejecutaron a partir del número total de especies colectadas en el presente estudio.

Según los valores obtenidos (MMMeans run1) por EstimateS 8.2., se procedió a realizar 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 puntos de muestreo y el número de familias, para hallar el porcentaje de las familias encontradas en el monitoreo.

### 7.2. 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, Tabla 4, asignando valores de 0 a 5, de acuerdo a la Tabla 1 y las características descritas en el numeral 6.2.3.2. de la presente monografía:

Tabla 4. Características hidromorfológica a evaluar.

<b>CARACTERÍSTICAS A EVALUAR</b>
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

Modificada de: Encalada et al., 2011

Finalmente, se realizó la suma total de cada apartado y se comparó con la escala de evaluación, ver Tabla 5.

Tabla 5. Calidad hidromorfológica.

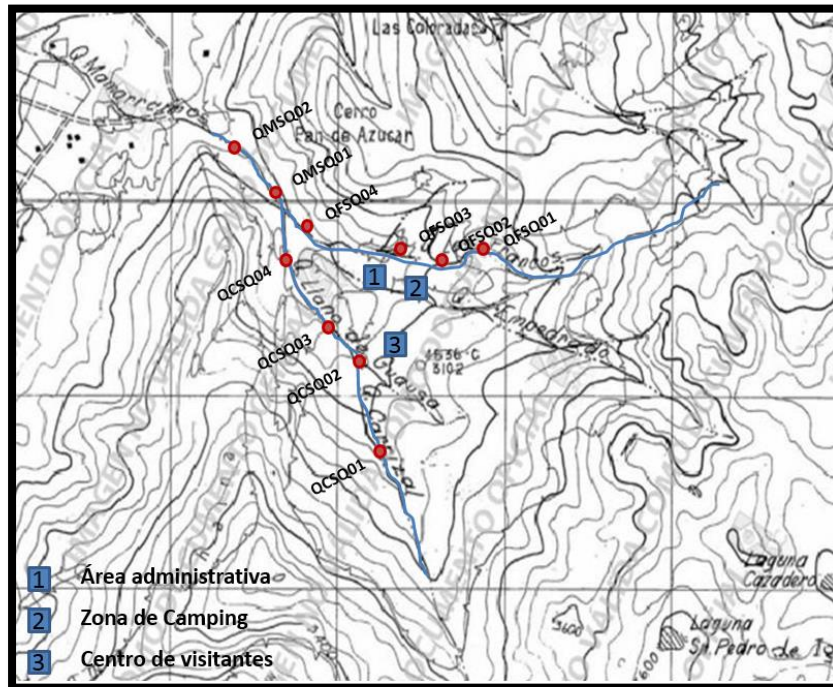
PUNTUACIÓN	CALIDAD HIDROMORFOLÓGICA	
0 a 10	Pésimo	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:red;"></span>
10 a 20	Malo	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:orange;"></span>
20 a 28	Moderado	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:yellow;"></span>
28 a 35	Buena	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:green;"></span>
Mayores a 35	Excelente	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:blue;"></span>

Tomado de: Encalada et al., 2011

### APLICACIÓN CABIRA.

Para el cálculo del índice ABI y el índice IMEERA se utilizó la aplicación CABIRA (Prat, Villamarín, & Rieradevall, 2013). En la sección de estaciones se introdujeron los datos de localización y otras características de las estaciones de monitoreo (ecosistema y descripciones físicas de cada punto), Tabla 6. En la Figura 2 se presenta de manera gráfica la distribución de los puntos de monitoreo.

Figura 2. Estaciones de monitoreo.



Tomado de: (Gamarra, Restrepo, Ceron, Villamizar, & Arenas, 2016)

Tabla 6. Nombre, nomenclatura, altitud, subcuenca y coordenadas de las estaciones de muestreo.

<i>Nombre, nomenclatura, altitud, subcuenca y coordenadas de las estaciones de muestreo</i>						
<i>Estación de muestreo</i>	<i>Nombre de la estación</i>	<i>Altitud msnm</i>	<i>Cuenca</i>	<i>Subcuenca</i>	<i>Coordenadas Geográficas</i>	
					<i>LN</i>	<i>LO</i>
Quebrada Carrizal, bocatoma centro de visitantes, Anexo 1.	QCS01	3037 ± 8	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 41' 48.2"	73° 27' 95"
Quebrada Carrizal, aguas abajo del campo de infiltración del centro de visitantes, Anexo 2.	QCS02	2897 ± 4	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 11"	73° 27' 25.5"
Quebrada Carrizal, aguas abajo del campo de infiltración del área administrativa, Anexo 3.	QCS03	2839 ± 3	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 26.6 "	73° 27' 28.6"
Quebrada Carrizal, aguas arriba de la confluencia con la Quebrada los Francos, Anexo 4.	QCS04	2827 ± 3	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 29.4"	73° 27' 28.7"
Quebrada los Francos, aguas arriba de la zona de camping, Anexo 5.	QFS01	2860 ± 8	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 15.9"	73° 27' 12"
Quebrada los Francos, aguas arriba del campo de infiltración de la zona de camping, Anexo 6.	QFS02	2856 ± 9	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 33.1"	73° 27' 32.6"
Quebrada los Francos, aguas abajo del campo de infiltración de la zona de camping, Anexo 7.	QFS03	2849 ± 4	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 25.7"	73° 27' 24.4"
Quebrada los Francos, aguas arriba de la confluencia con la Quebrada Carrizal, Anexo 8.	QFS04	2827 ± 3	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 29.4"	73° 27' 28.7"
Quebrada Mamarramos, aguas debajo de la confluencia con las Quebradas los Francos y Carrizal, Anexo 9.	QMS01	2810 ± 4	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 32.6"	73° 27' 31.3"
Quebrada Mamarramos, aguas debajo de la bocatoma del acueducto de "Capilla" y antes del drenaje del desarenador, Anexo 10.	QMS02	2718 ± 3	Cane-Iguaque	La Colorada	5° 42' 42.5"	73° 27' 54.7"

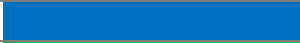



Tomado de: Ávila & Vega, 2016

En la aplicación CABIRA con respecto al muestreo se introdujeron los datos de los macroinvertebrados acuáticos recolectados en el monitoreo (los datos se trabajaron como porcentaje), Anexo 11. El programa calculó las métricas posibles de acuerdo al tipo de dato que se introdujo.

### 7.3. ÍNDICE DE CALIDAD ABI.

El índice ABI se construyó asignando valores numéricos entre 1 y 10 a cada familia registrada durante un muestreo, dependiendo de su nivel de tolerancia a la contaminación, Tabla 3. La suma de los puntajes de todas las familias encontradas en un sitio determinado equivale al puntaje ABI total, el cual es el indicador de la calidad de agua de dicho sitio, Tabla 7 (Encalada et al., 2011).

Tabla 7. Calidad de agua ABI






ABI	CALIDAD DE AGUA ABI	
>96	Muy bueno	
59 - 96	Bueno	
35 - 58	Regular	
<35	Malo	

Tomado de: Encalada et al., 2011

### 7.4. ÍNDICE MULTIMÉTRICO DE ESTADO ECOLÓGICO DE RÍOS ALTOANDINOS (IMEERA).

El índice IMEERA visto como un índice multimétrico, permitió evaluar el estado ecológico de los ríos altoandinos a partir de la valoración del porcentaje de Ephemeroptera, Plecoptera y Trichoptera (EPT) presentes en la zona de estudio, los taxones intolerantes a la contaminación y el resultado del índice ABI, clasificando el estado ecológico según la Tabla 8.

Tabla 8. Calificación IMEERA.

CALIFICACIÓN IMEERA	RANGO DE VALORES		ESCALA DE COLOR
	ZONA BAJA	ZONA ALTA	
Muy Bueno	≥ 73	≥ 99	
Bueno	72 - 56	98 - 86	
Moderado	55 - 40	85 - 59	
Malo	39 - 24	58 - 32	
Pésimo	< 24	< 32	

Tomado de: Villamarín et al., 2013

### 7.5. ÍNDICES BIOLÓGICOS.

Para la presente monografía se calcularon los índices biológicos de Shannon-Wiener (H') y Equitatividad (J), por medio de la aplicación CABIRA. Para el análisis descriptivo se utilizó boxplot, con el objeto de observar si entre los diez puntos existía alguno que permitiera evidenciar comportamiento claramente diferencial, a partir del uso de software R (Crawley, 2007).

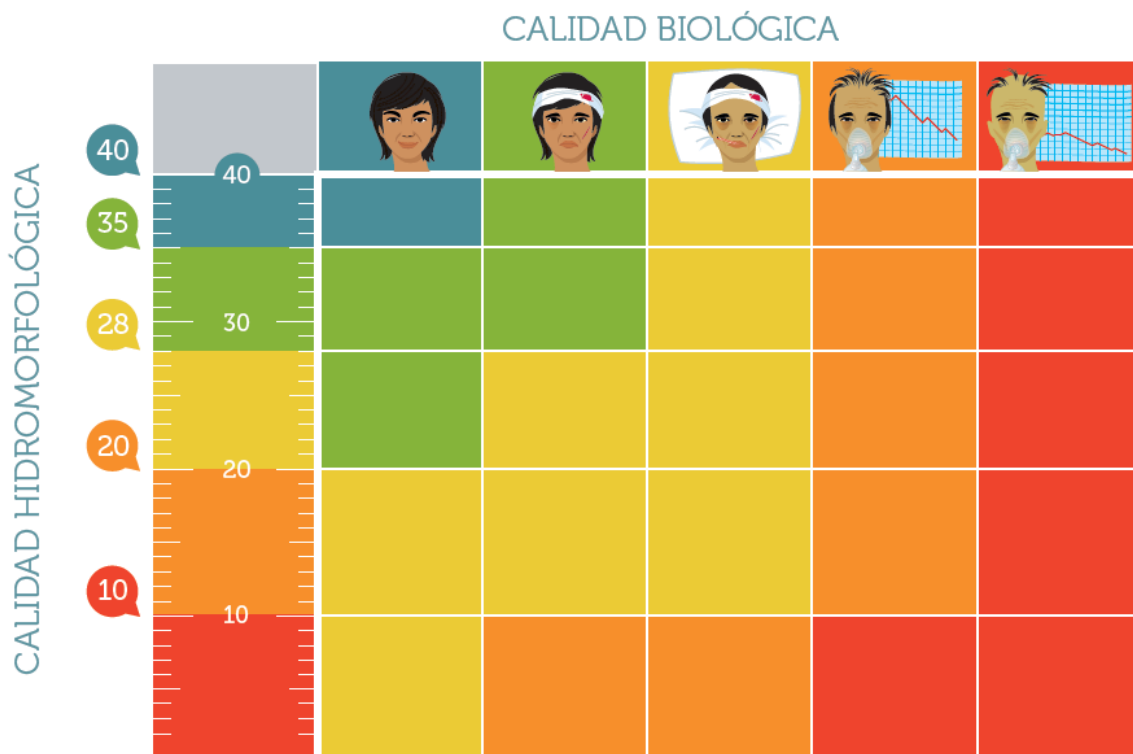
## 7.6. PROTOCOLO CERA-S.

Para aplicar el protocolo CERA-S se observó y valoró dos grupos de variables:

- Las características hidromorfológicas: La vegetación de la ribera, el paisaje próximo al río, y algunos elementos del canal del río, como su forma y sustrato. Evaluados por medio de la calidad hidromorfológica, numeral 7.2. de la presente monografía.
- Los organismos que habitan en el agua: los macroinvertebrados. Evaluados por medio del índice ABI, numeral 7.3. de la presente monografía.

Finalmente, se combinó las valoraciones de estos dos grupos y se obtuvo la evaluación de la calidad ecológica, ver Figura 3.

Figura 3. Criterios para el establecimiento de la calidad ecológica de un cuerpo de agua.



Tomado de: Encalada et al., 2011

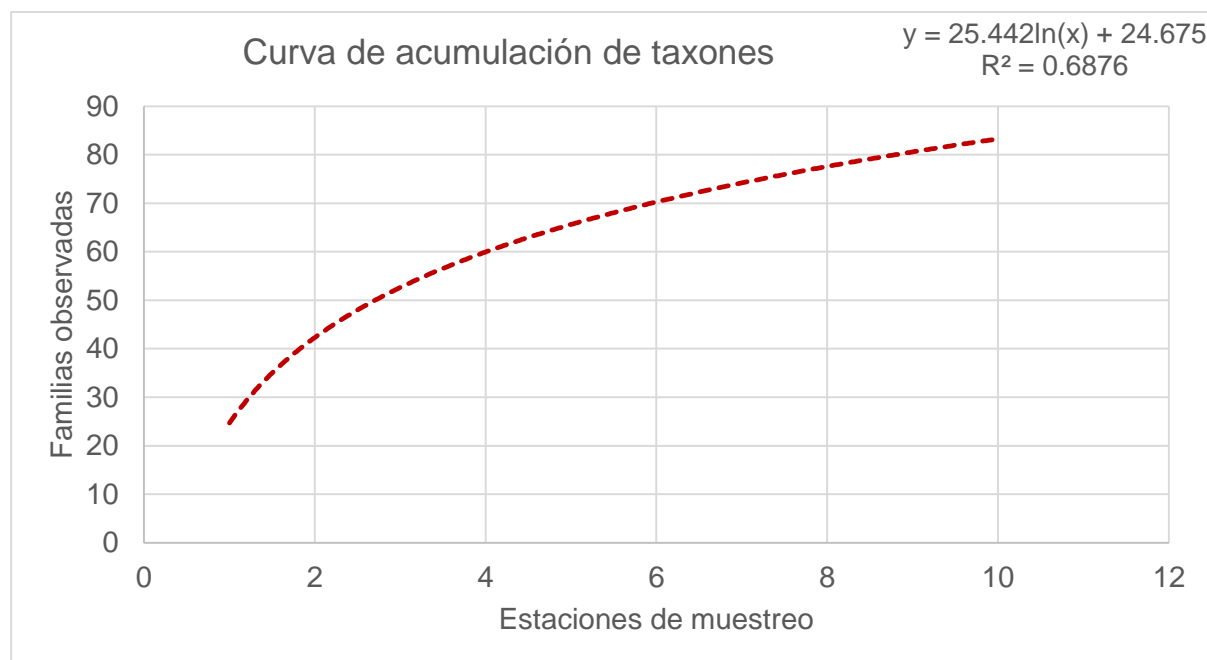
Si el resultado de combinar la calidad hidromorfológica y la calidad biológica se encuentra en el cuadrante azul, entonces la calidad ecológica del río es EXCELENTE. Si se localiza en las secciones de color verde la calidad es BUENA. Si se halla en los cuadrantes amarillos la calidad ecológica es MODERADA. Si el resultado se encuentra en los cuadros naranjas es MALA y por último si se ubican en las zonas rojas, presenta una calidad ecológica PÉSIMA (Encalada et al., 2011).

## 8. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 8.1. CURVA DE ACUMULACIÓN DE TAXONES.

A partir de la información hidrobiológica de los macroinvertebrados capturados entre los meses de octubre a diciembre del año 2015 dentro del macroproyecto de la Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga en convenio con Parques Nacionales Naturales, se elaboró la curva de acumulación de taxones, en donde se registraron la cantidad de familias capturadas en cada punto. La Figura 4 muestra la curva de acumulación de taxones y la ecuación de la curva para el monitoreo.

Figura 4. Curva de acumulación de taxones.



Tomado de: Autor

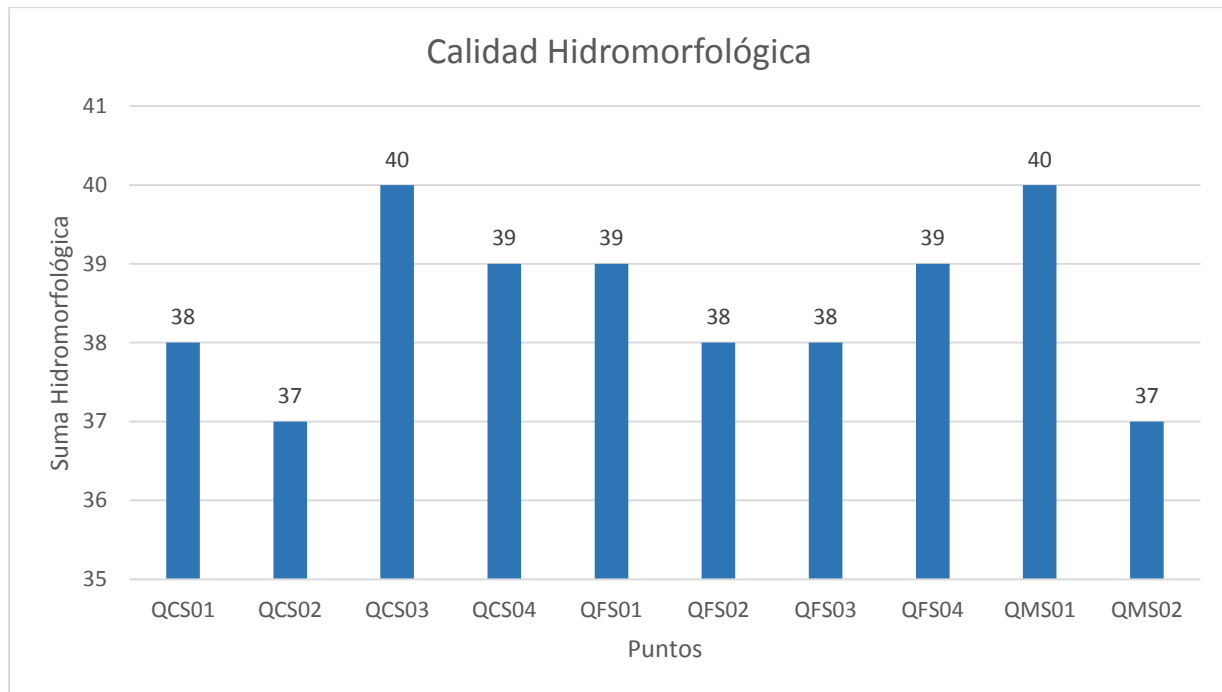
Para la presente monografía el valor de la curva de acumulación de taxones fue de 83%, indicando el porcentaje de taxones colectados en el monitoreo, demostrando que fueron suficientes los puntos de monitoreo y las actividades de captura de los macroinvertebrados para alcanzar una alta representatividad, que según la información técnica se obtiene con valores por encima del 70% (Moreno-Arias & Quintero-Corzo, 2015).

### 8.2. CALIDAD HIDROMORFOLÓGICA.

Los valores obtenidos para calidad hidromorfológica, Anexo 12, permiten determinar el grado de degradación del canal fluvial y de la vegetación de ribera. En la Figura 5 se presentan los valores de la calidad hidromorfológica calculados para cada punto de monitoreo.

### 8.2.1. Resultados de calidad hidromorfológica

Figura 5. Calidad Hidromorfológica encontrada en cada punto de muestreo.



Tomado de: Autor

Según los resultados obtenidos en el presente estudio la calidad hidromorfológica para los diez puntos de monitoreo denotan calidad EXCELENTE. Los valores calculados en cada punto fueron mayores a 35, consiguiendo las mayores ponderaciones en los puntos QCS03 y QMS01 y los de menor ponderación, los puntos QCS02 y QMS02, Figura 5.

Los puntos QCS03 y QMS01 eran áreas naturales que no contaban con intervención antrópica, como se evidencia en el Anexo 3 y Anexo 9, de igual manera dichos puntos mantuvieron la vegetación de ribera y la naturalidad del canal del río.

A pesar de obtener un valor de 37 en la sumatoria de las características hidromorfológicas, los puntos QCS02 y QMS02 son los de menor ponderación, esto es consecuencia de las intervenciones antrópicas en cuanto a infraestructura. El punto QCS02 se encontraba aguas abajo del campo de infiltración del centro de visitantes, Anexo 2, mientras el punto QMS02 se localizaba aguas abajo de la bocatoma del acueducto de “Capilla” y antes del drenaje del desarenador, Anexo 10.

Los aspectos que evalúa la calidad hidromorfológica son claves para la permanencia de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y de la calidad del agua, sin embargo en Colombia no se ha implementado como una medida de análisis de calidad, existiendo pocos estudios al respecto, como el realizado por Ocampo Zamora, 2013 en la quebrada La Jaramilla, (La Tebaida, Quindío).

En el SFFI no se ha implementado una estrategia integral para evaluar la calidad hidromorfológica de las quebradas del Santuario, sin embargo Luna, 2009 utilizó el índice de Calidad de Bosque

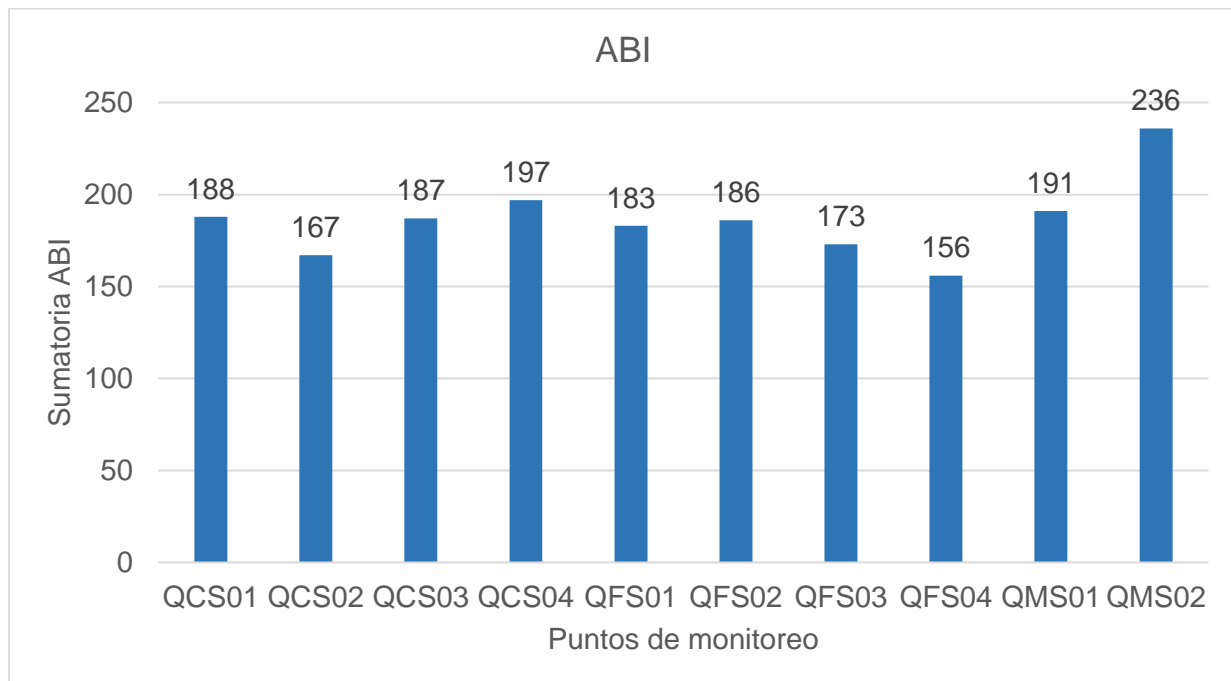
de Ribera (QBR), con el objeto de valorar el estado de conservación de las riberas de los cursos de agua que incluyó en su evaluación. Para la quebrada Carrizal, Luna obtuvo que se encontraba en ESTADO NATURAL, ratificando que las condiciones de las riberas del río se han mantenido en el tiempo, demostrando el estado de conservación de la zona; esto se evidenció también en la presente monografía, en las características a evaluar en los aspectos relacionados a la hidromorfología del Bosque de Ribera, como se observa en el Anexo 12.

### 8.3. ÍNDICE DE CALIDAD ABI

Para la presente monografía el índice ABI fue utilizado para determinar la calidad del agua basados en la presencia/ausencia de las familias capturadas en la zona de estudio. En la Figura 6 se muestra gráficamente los valores de ABI calculados para cada punto de monitoreo.

#### 8.3.1. Resultado índice de calidad ABI.

Figura 6. Índices de calidad ABI obtenidos en cada punto de muestreo.



Tomado de: Autor

Los resultados de ABI obtenidos en el presente estudio (Figura 6), demuestran que la calidad del agua en la microcuenca Mamarramos es calificada como MUY BUENO, según los rangos de valores establecidos en la Tabla 7.

El punto con menor ponderación de ABI fue QFS04 con un valor de 156. En el Anexo 13 se evidencia que en este punto se capturaron 26 familias, siendo este dónde se presentó el menor número de taxones encontrados, sin embargo, dichas familias eran sensibles a la contaminación, por lo que los puntajes según la Tabla 3 eran cercanos a 10. El punto QMS02 fue el de mayor ponderación con un valor de 236, en este punto de monitoreo se capturaron 41 familias.

ABI es un índice relativamente nuevo, por lo que su aplicación en el país ha sido escasa. Países como Ecuador y Perú han realizado estudios basados en el índice con el objeto de promocionar esta alternativa diseñada especialmente para ecosistemas altoandinos.

Para realizar una comparación del estado de la microcuenca Mamarramos en el SFFI, se analizaron estudios que desarrollaban el índice Biological Monitoring Working Party (BMWP/Col), debido a que el índice ABI se basa en el BMWP.

Medellin, Ramírez, & Rincón, 2004 aplicaron el índice BMWP/Col para la quebrada Carrizal y la quebrada Mamarramos obteniendo un valor de 176 y 151, respectivamente, lo cual las categorizó como AGUAS LIMPIAS, NO CONTAMINADAS. De igual manera Luna, 2009 desarrolló el índice para la quebrada Carrizal consiguiendo un calidad BUENA. Dentro del macroproyecto de la UPB-SB en convenio con SPNN, en el SFFI, Ávila & Vega, 2016 implementaron el índice para las quebradas Carrizal, Los Francos y Mamarramos denotando a la microcuenca con calidad BUENA, AGUAS LIMPIAS, NO CONTAMINADAS.

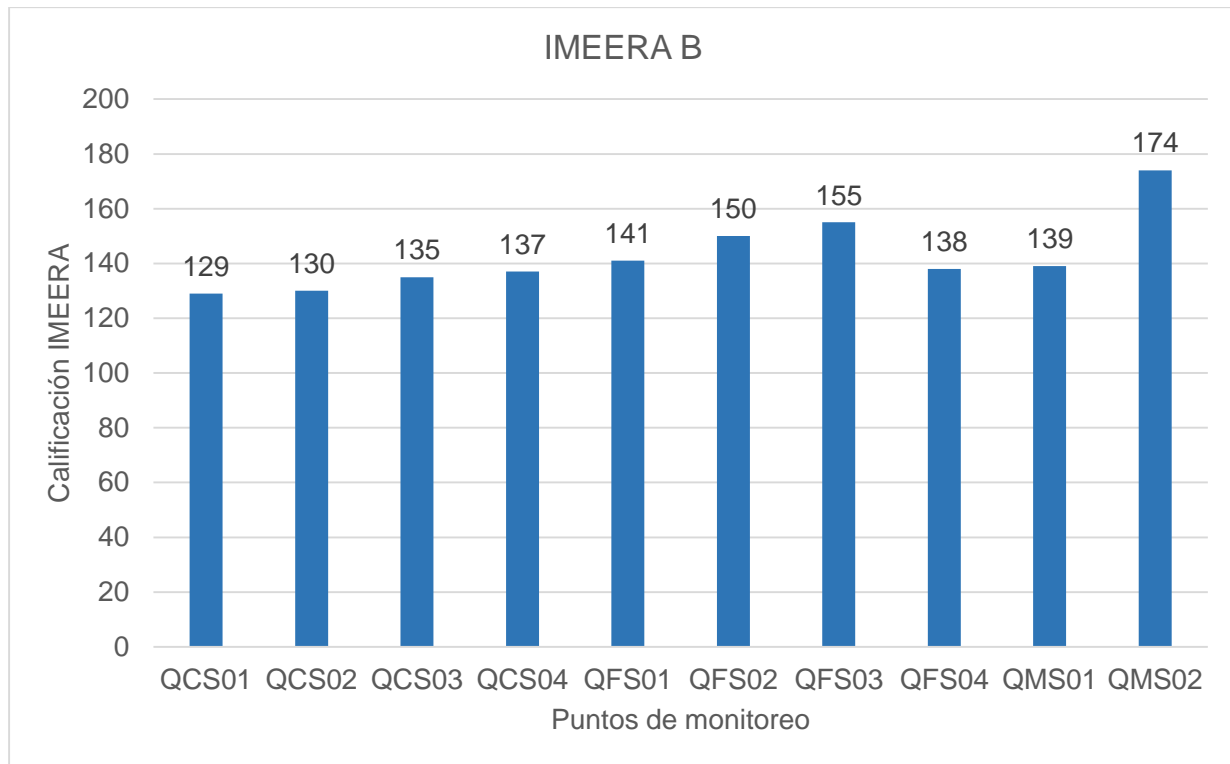
Según los resultados expuestos, la calidad del agua en la zona de estudio se ha mantenido por más de 10 años, conservando una calidad de agua BUENA, AGUAS LIMPIAS, NO CONTAMINADAS según del índice BMWP/Col, al igual que lo establecido con el índice ABI en la presente monografía, con una calidad MUY BUENO.

#### **8.4. ÍNDICE MULTIMÉTRICO DE ESTADO ECOLÓGICO DE RÍOS ALTOANDINOS (IMEERA).**

Para la presente monografía el índice IMEERA evaluó el estado ecológico de los ríos Altoandinos diferenciando a los páramos de los bosques, la Figura 7 enseña gráficamente los resultados calculados por la aplicación CABIRA.

### 8.4.1. Resultados IMEERA.

Figura 7. Índice IMEERA calculado para cada punto de muestreo.

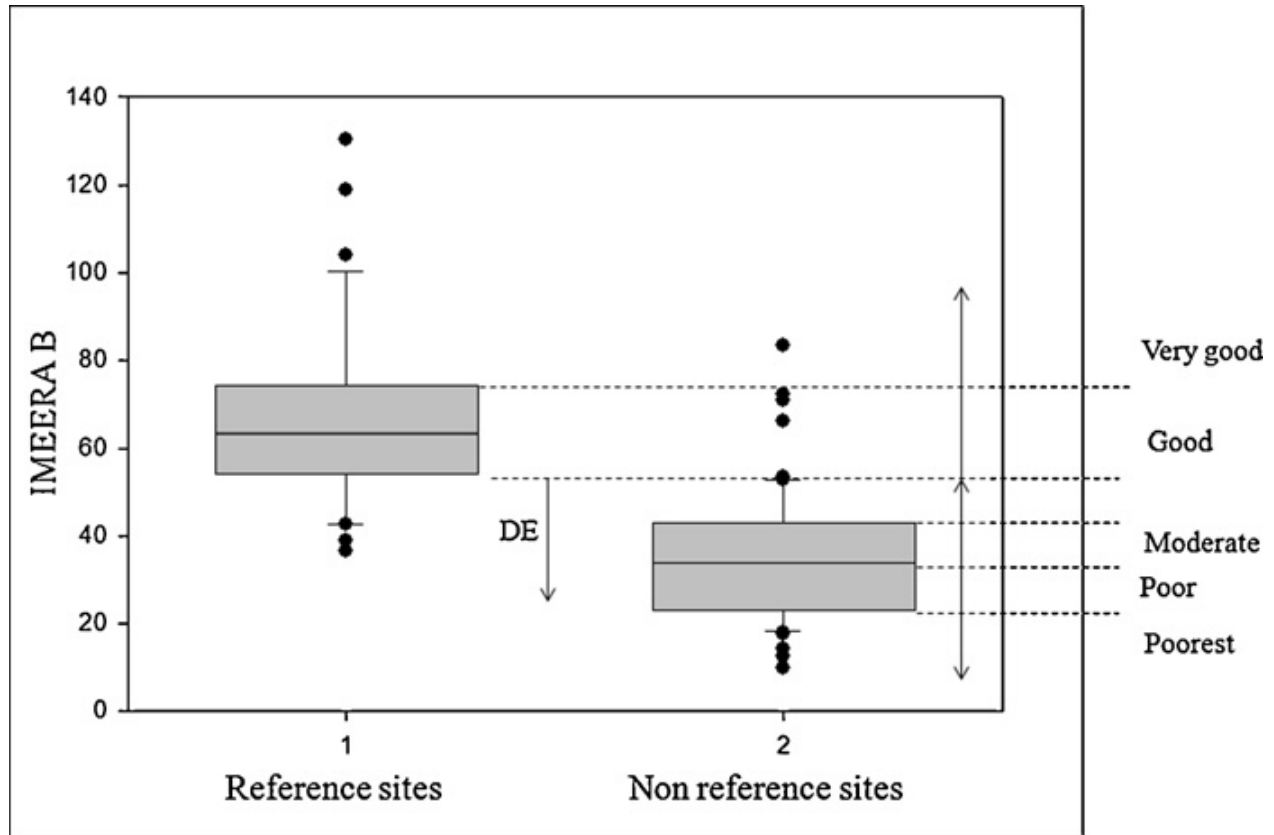


Tomado de: Autor.

Teniendo en cuenta los rangos de valores contemplados en la Tabla 8, los resultados obtenidos para el índice IMEERA en los puntos de muestreo evaluados (Figura 7), la microcuenca Mamarramos califica un estado ecológico MUY BUENO para los 10 puntos de monitoreo, obteniendo en todos los puntos valores superiores de 73, que es el rango máximo establecido para Bosques Altoandinos. El punto QCS01 fue el que obtuvo la calificación de IMEERA más baja en el monitoreo con un valor de 129, y el punto QMS02 alcanzó la ponderación más alta con un valor de 174.

Según Villamarín et al., 2013 el estado ecológico de la microcuenca Mamarramos puede ser utilizado como un ecosistema de referencia, debido a que su calificación de IMEERA se encuentra por encima del tercer cuartil del boxplot del IMEERA para Bosques, indicando que el estado ecológico de la zona de estudio es MUY BUENO, como se presenta en la Figura 8.

Figura 8. Boxplot del índice multimétrico y clasificación de los sitios de referencia.



Tomado de: Villamarín et al., 2013

Ocampo Zamora, 2013 desarrollaron una validación del índice IMEERA para ecosistemas altoandinos en Colombia, sin embargo, no incluye al SFFI y a la fecha son escasos los estudios y la evaluación de la calidad ecológica a partir de esta metodología en Colombia.

### 8.5. ÍNDICES BIOLÓGICOS

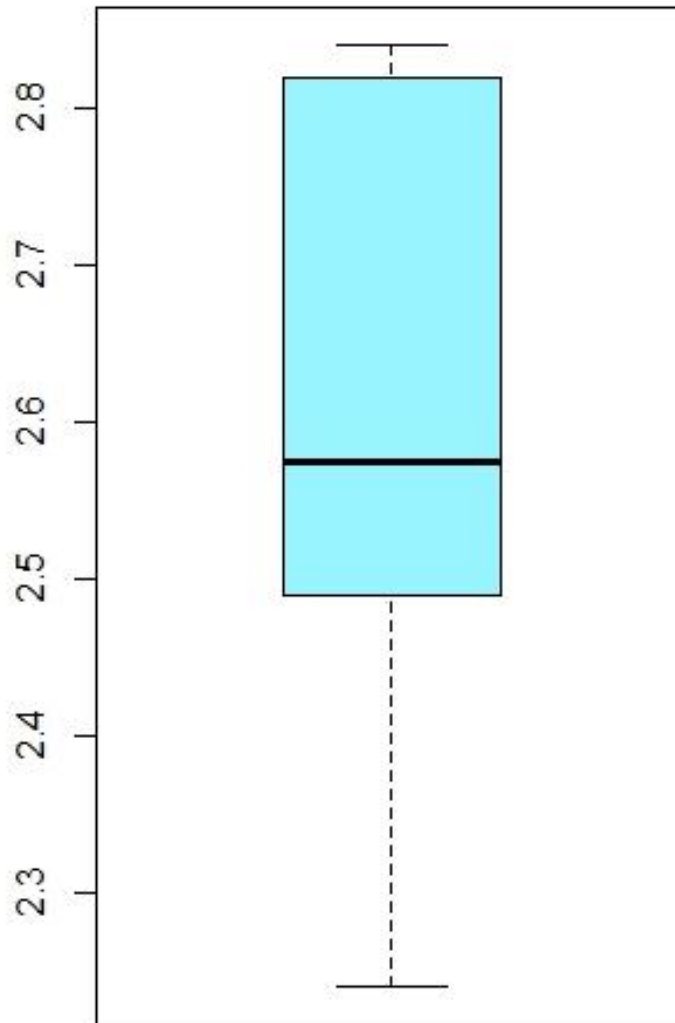
A partir de los datos obtenidos (n=10), integrando la microcuenca como un único cuerpo de agua evaluada en 10 puntos de muestreo, se realizó el cálculo de los índices biológicos Shannon-Weiner y equitatividad, con el objetivo de explorar la estructura de la comunidad de macroinvertebrados. Para el análisis descriptivo se utilizó boxplot, con el objeto de observar si entre los diez puntos existe alguno que permita evidenciar comportamiento claramente diferencial.

En la Figura 9 se presenta el boxplot del índice Shannon-Wiener ( $H'$ ), que evalúa la diversidad. Para los ecosistemas naturales varía entre 0.5 y 5, y a medida que el valor se aleja de 0 y se acerca a 5, la comunidad biótica (biocenosis) cuenta con mayor diversidad. Para el monitoreo de la época climática de sequía, los resultados del índice tienen una mediana de 2.575, que según Martella et al., 2012 es un valor normal para un ecosistema natural, considerando que valores por debajo de 2 son bajos, mientras que valores por encima de 3 son altos. De igual manera, en la caja de bigotes se observa que los resultados de la diversidad tienden a agruparse en valores

cercanos al  $H' = 3$ , demostrando una diversidad alta por las excelentes condiciones físicas y estructurales de la microcuenca calificadas con un IMEERA MUY BUENO.

Figura 9. Gráfico de Boxplot para la Diversidad Shannon- Wiener ( $H'$ ) de la microcuenca Mamarramos en la época climática de sequía

### Boxplot: Divers. Shannon-Wiener ( $H'$ )

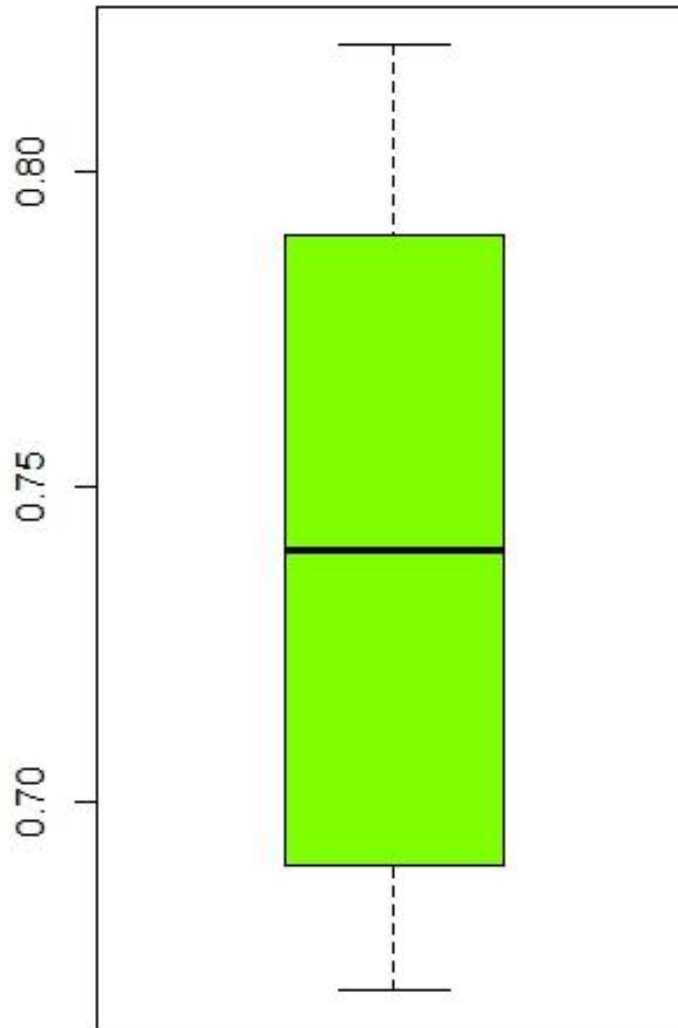


Tomado de: Autor.

En la Figura 10 se muestra la gráfica en boxplot del índice de equitatividad ( $J$ ), el cual evalúa la distribución uniforme de los individuos en las familias encontradas en el monitoreo, su rango va de 0 a 1, siendo 1, una comunidad biótica con distribuciones equitativas en los puntos de muestreo. La mediana para el monitoreo fue de 0.74, evidenciando la uniformidad con la que los individuos se distribuyen entre los taxones capturados en los puntos de muestreo. La caja de bigotes no presenta ningún valor atípico, por lo tanto, no hay un comportamiento diferencial en ninguno de los puntos de monitoreo.

Figura 10. Gráfico de Boxplot para Equitatividad (J) de la microcuenca Mamarramos en la época climática de sequía.

### Boxplot: Equitatividad (J)

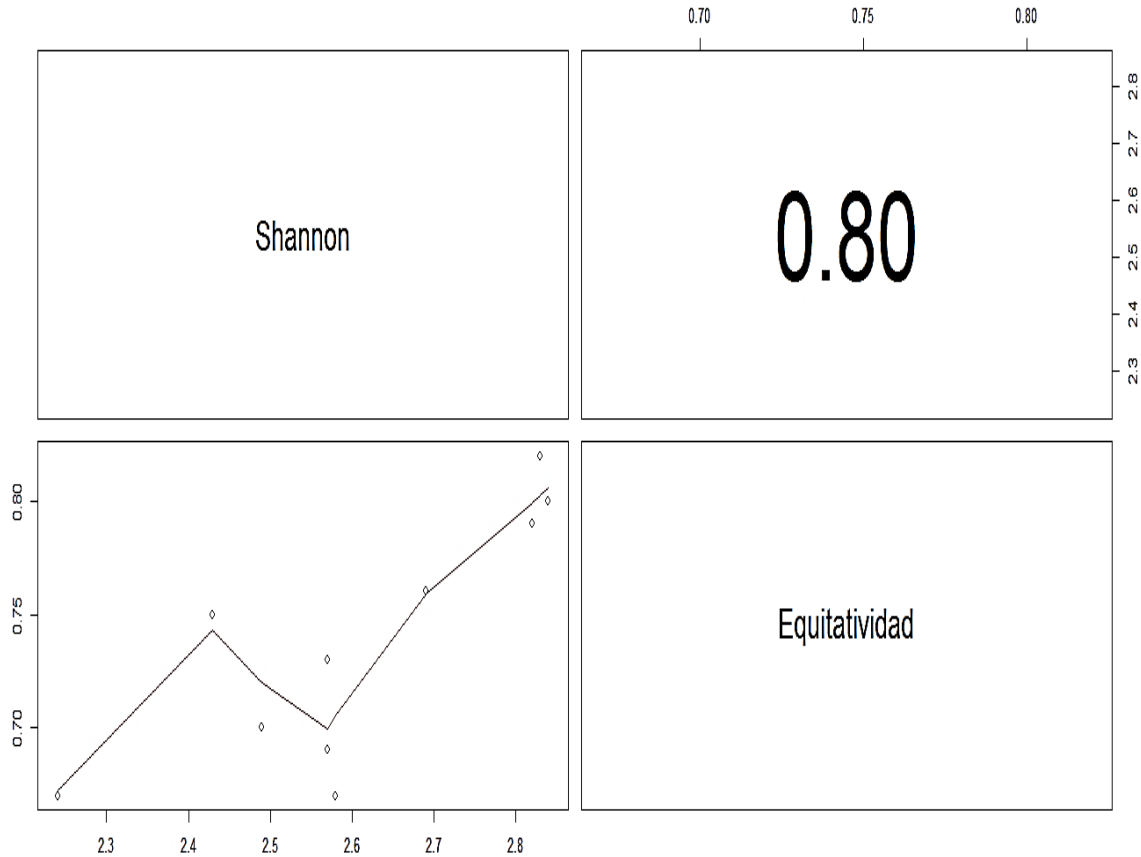


Tomado de: Autor.

En la Figura 11 se muestra el coeficiente de correlación de Pearson, que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente, en este caso entre los índices Shannon-Wiener ( $H'$ ) y Equitatividad (J). El coeficiente de correlación de Pearson oscila entre  $-1$  y  $+1$ , siendo  $-1$  una relación perfecta negativa, mientras  $+1$  es una relación perfecta positiva. Para los índices evaluados se observa una relación o dependencia positiva, con una correlación de Pearson de  $0.80$ , demostrando que a medida que una de las variables aumenta su valor, la otra también lo hace. Este resultado ratifica que la diversidad de una comunidad es una función de su riqueza (número de familias) y de su equitatividad (grado de uniformidad de las abundancias relativas de las familias) (Tramer, 1969), demostrando que un ecosistema protegido debe ser diverso y equitativo y con una relación directa, como lo observado en la zona de estudio, en los

puntos donde se presentaron los valores más bajos de Equitatividad (J), la diversidad de Shannon-Wiener (H') también disminuyó.

Figura 11. Matriz de dispersión con correlación entre los índices bióticos de diversidad (H') y equitatividad (J).



Tomado de: Autor.

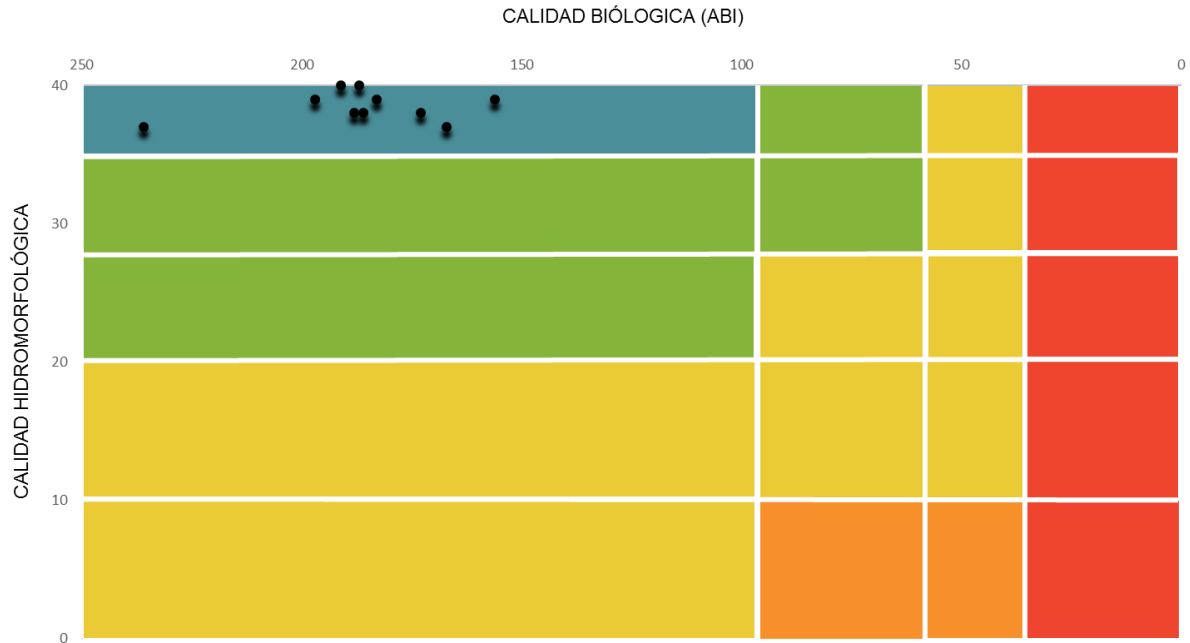
## 8.6. PROTOCOLO CERA-S

El protocolo CERA-S permite evaluar y calificar la calidad ecológica de una cuenca o partes de ella a través de un plan de monitoreo. Al combinar los resultados de la calidad hidromorfológica y el índice ABI, se obtiene la integralidad del ecosistema evaluado. Cuando el entrecruzamiento de los valores de la evaluación hidromorfológica con ABI se ubica en el primer cuadrante de la Figura 3, se cataloga como EXCELENTE y se le asigna el color azul. Esta es la condición de calidad ecológica ideal que debe tener toda cuenca o un cuerpo de agua de alta montaña.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la microcuenca Mamarramos para la época climática de sequía, al combinar los criterios presentados en la Figura 3 (calidad hidromorfológica (EXCELENTE) y el índice ABI (MUY BUENO), todos los marcadores se ubican en el cuadrante azul, para los 10 puntos de monitoreo, lo que indica que la calidad ecológica de la microcuenca Mamarramos es EXCELENTE (Figura 12).

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

Figura 12. Calidad ecológica - Protocolo CERA-S.



Tomado de: Autor.

El protocolo CERA ha sido utilizado como un instrumento para el monitoreo ambiental en países como Ecuador y Perú. Peña, Sarmiento, Alvarado, & Boix, 2013, plantean las ventajas de implementar este protocolo como una medida de evaluación multidisciplinaria, permitiendo al evaluador dar una posición integral acerca de la calidad ecológica de una zona de interés; sin embargo, para la implementación del protocolo es necesario contar con conocimiento específico en áreas afines a la biología. Entretanto el protocolo CERA-S es una herramienta útil para la gestión de áreas de interés ecológico por parte de la comunidad no experto, a pesar de esto, en Colombia no se ha implementado, ni se ha dado a conocer en las entidades administrativas.

## 9. CONCLUSIONES

La curva de acumulación de taxones confirma la captura del 83% de las familias presentes en la zona muestreada, validando los resultados del estudio para ser utilizado como piloto de futuras investigaciones en los ecosistemas de alta montaña.

Según los resultados obtenidos para la microcuenca Mamarramos la calidad hidromorfológica denota calidad EXCELENTE (>35), confirmando las condiciones de preservación y conservación de los recursos que deben tener los ecosistemas que se localizan en un área protegida en Colombia.

Con la aplicación del índice ABI se obtuvo que la calidad del agua en la microcuenca Mamarramos es MUY BUENO, demostrando que el cuerpo hídrico presenta las condiciones adecuadas para la vida y el desarrollo de macroinvertebrados acuáticos y no se evidencian perturbaciones que afecten a las especies sensibles a las alteraciones en esta microcuenca altoandina.

El IMEERA visto como un índice del estado ecológico, clasifica a la microcuenca Mamarramos con un valor de MUY BUENO, con resultados por encima de 73 para bosques altoandinos; permitiendo identificar a la microcuenca Mamarramos como un ecosistema de referencia para futuros estudios en ecosistemas similares.

Según los resultados de los índices biológicos, la microcuenca Mamarramos es un ecosistema acuático de alta diversidad (Shannon >2), con una distribución equitativa de los individuos capturados en las familias presentes (Equitatividad cercana a 1).

En la microcuenca Mamarramos los puntos de muestreo que presentan altos valores de equitatividad también cuentan con una alta diversidad, lo que fue confirmado por una correlación de Pearson positiva de 0.80, demostrando una relación lineal entre estas variables estudiadas.

Al relacionar los resultados de la calidad hidromorfológica (EXCELENTE) y el índice ABI (MUY BUENO), como lo expresa el protocolo CERA-S, la microcuenca Mamarramos califica una calidad ecológica como EXCELENTE, demostrando la buena gestión sobre el recurso hídrico en el área de estudio.

De acuerdo a los resultados conseguidos al calcular los diferentes índices la microcuenca Mamarramos obtuvo una calidad ecológica EXCELENTE, demostrando que para la época climática de sequía no hay una perturbación por efecto de las actividades antrópicas, principalmente por las bocatomas e infraestructura de operación y funcionamiento de la zona administrativa del SFFI.

## **10. RECOMENDACIONES**

Las alteraciones del canal y de las riberas de los ríos afecta a las comunidades biológicas de los cuerpos hídricos, disminuyendo la diversidad y por lo tanto facilitando la pérdida de las funciones ecológicas dentro del ecosistema, por lo que se recomienda incluir y mantener en los estudios limnológicos la evaluación de la calidad hidromorfológica de los cuerpos hídricos.

El protocolo CERA-S es una herramienta útil que permite dar una calificación holística de las condiciones de los ecosistemas altoandinos, presentando resultados de mayor confiabilidad, sin embargo, es importante realizar estudios en Colombia con el fin de validar e incentivar la implementación de esta metodología en el país, especialmente en entidades administrativas, para establecer acciones de manejo, restauración y protección, y así asegurar la sostenibilidad del recurso hídrico.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta Rivas, C. R., Ríos Touma, B. P., Rieradevall i Sant, M., & Prat i Fornells, N. (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*, 2009, Vol. 28, Num. 1, P. 35-64.
- Ávila, A. A., & Vega, C. I. (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.
- Colwell, R. (2009). EstimateS: Biodiversity Estimation. Retrieved February 11, 2016, from <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>
- Crawley. (2007). R-Book.
- Encalada, A. C., Rieradevall, M., Ríos-Touma, B., García, N., & Prat, N. (2011). Procolo simplificado y guía de evaluación de la calidad ecológica de los rios andinos (CERA-S). Quito. USFQ, UB, AECID, FONAG.
- Gamarra, Y., Restrepo, R., Ceron, A., Villamizar, M., & Arenas, R. (2016). Construcción de un índice de calidad ecológica para la quebrada Mamarramos (Boyacá-Colombia) a partir del análisis multivariante de parámetros fisicoquímicos y biológicos, utilizando macroinvertebrados.
- Jiménez-Valverde, A., & Hortal, J. (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. <http://doi.org/1576 - 9518>
- Lamas, G., Robbins, R. K., & Harvey, D. J. (1991). A preliminary survey of the butterfly fauna of Pakitza, Parque Nacional del Manu, Peru, with an estimate of its species richness. *Publicaciones del Museo Historia Natural, UNMSM* 40: 1-19. *INSECTA MUNDI*, 29.
- Londoño, J. C. J. (2006). Estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en el área del embalse Porce II y su relación con la calidad del agua.
- Luna, H. A. (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.
- Magurran, A. E. (2004). *Measuring Biological Diversity*.pdf.
- Medellin, F., Ramírez, M., & Rincón, M. E. (2004). Trichoptera del Santuario de Iguaque (Boyacá, Colombia) y su relacion con la calidad del agua. *Revista Colombiana de Entomología*, 30(2), 197–203.
- Moreno-Arias, R., & Quintero-Corzo, S. (2015). Reptiles del valle seco del río Magdalena (Huila, Colombia). *Caldasia*, 37(1), 183. <http://doi.org/10.15446/caldasia/v37n1.50811>
- Ocampo Zamora, A. L. (2013). Evaluación del estado actual de la calidad del agua de la quebrada La Jaramilla, municipio de La Tebaida, departamento del Quindío.
- Peña, M. S., Sarmiento, G. T., Alvarado, C. P., & Boix, N. (2013). Propuesta de monitoreo ambiental multidisciplinar en cuencas andinas con impactos mineros. In VI Congreso Universidad y Cooperación al Desarrollo.

- Prat, N., Villamarín, C., & Rieradevall, M. (2013). Aplicación CABIRA (Calidad Biológica de los Ríos Altoandinos). Universitat de Barcelona. Retrieved from <http://hdl.handle.net/2445/36431>
- Ríos-Touma, B., Acosta, R., & Prat, N. (2014). The Andean Biotic Index (ABI): revised tolerance to pollution values for macroinvertebrate families and index performance evaluation. *Revista de Biología Tropical*, 62, 249–273.
- Roldán, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. *Uso Del Método BMWP/Col.* Editorial Universidad de Antioquia. Medellín.
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.* Chapman & Hall.
- Sistema de Parques Nacionales Naturales. (2006). *Plan de manejo del Santuario de Flora y Fauna de Iguaque.*
- Soberón, J., & Llorente, J. (1993). The use of species accumulation functions for the prediction of species richness. *Conservation Biology*, 7(3), 480–488.
- Tramer, E. J. (1969). Bird species diversity: components of Shannon's formula. *Ecology*, 50(5), 927–929.
- Universitat de Barcelona. (2007). CERA. Retrieved April 14, 2016, from <http://www.ub.edu/riosandes/index.php/cera.html>
- Vásquez, G. S., Castro, G. M., Gonzáles, I. M., Pérez, R. R., & Castro, T. B. (2006). Bioindicadores como herramientas para determinar la calidad del agua. *ContactoS*, 60, 41–48. Retrieved from <http://www.izt.uam.mx/contactos/n60ne/Bio-agua.pdf>
- Villamarín, C. (2008). Estructura y composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos en ríos altoandinos del Ecuador y Perú . Diseño de un sistema de medida de la calidad del agua con índices multimétricos.
- Villamarín, C., Rieradevall, M., Paul, M. J., Barbour, M. T., & Prat, N. (2013). A tool to assess the ecological condition of tropical high Andean streams in Ecuador and Peru: The IMEERA index. *Ecological Indicators*, 29, 79–92. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.12.006>

### 13. ANEXOS

Anexo 1. Quebrada Carrizal (QCS01)



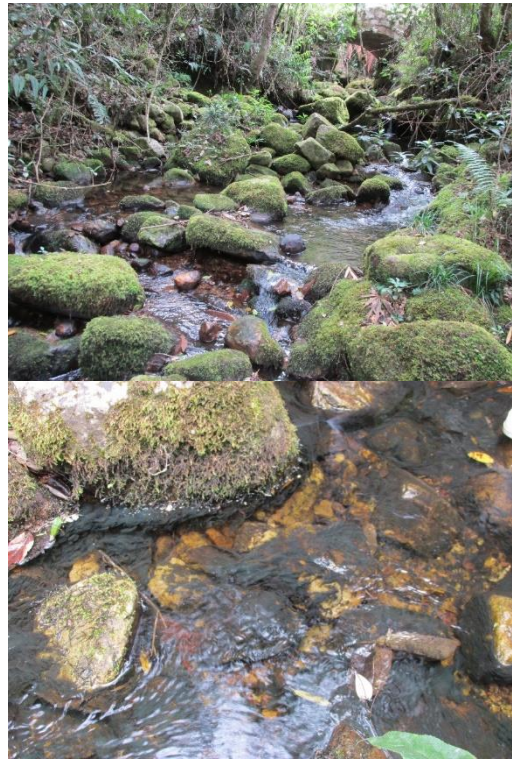
Anexo 2. Quebrada Carrizal (QCS02).



Anexo 3. Quebrada Carrizal (QCS03).



Anexo 4. Quebrada Carrizal (QCS04).



Anexo 5. Quebrada Los Francos (QFS01).



Anexo 6. Quebrada Los Francos (QFS02).



Anexo 7. Quebrada Los Francos (QFS03).



Anexo 8. Quebrada Los Francos (QFS04).



Anexo 9. Quebrada Mamarramos (QMS01).



Anexo 10. Quebrada Mamarramos (QMS02)



Anexo 11. Porcentaje de familias por punto de monitoreo.

	QCS01	QCS02	QCS03	QCS04	QFS01	QFS02	QFS03	QFS04	QMS01	QMS02
	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
<b>Anomalopsychidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1
<b>Baetidae</b>	11.4	1.2	0.2	0.6	7.3	2.7	0.1	1.4	0.7	4.4
<b>Blataridae</b>	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Blepharoceridae</b>	0.3	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
<b>Calamoceratidae</b>	10.0	11.5	12.7	17.1	9.4	9.9	9.1	16.1	10.5	13.8
<b>Ceratopogonidae</b>	0.6	0.6	0.2	0.8	0.3	1.3	0.4	0.2	0.3	0.3
<b>Chironomidae</b>	2.5	4.8	3.5	1.9	2.9	3.4	1.9	6.1	4.0	2.4
<b>Chordodidae</b>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Chrysomelidae</b>	0.1	0.9	0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
<b>Curculionidae</b>	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Dixidae</b>	0.0	0.2	1.2	1.3	0.0	0.2	0.3	1.2	0.6	1.7
<b>Dolichopodidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
<b>Dytiscidae</b>	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1
<b>Elmidae</b>	0.1	0.8	0.2	0.8	0.4	0.2	1.0	0.6	0.4	0.9
<b>Empididae</b>	0.1	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1
<b>Entomobrydae (Collembola)</b>	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0
<b>Ephydriidae</b>	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Girinidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Glossosomatidae</b>	5.8	5.1	4.7	3.7	24.6	5.1	3.0	4.3	2.1	1.9
<b>Helicopsychidae</b>	2.6	8.7	9.8	8.5	0.9	8.4	10.9	7.9	25.3	8.2
<b>Hyalellidae</b>	4.1	1.2	0.9	0.2	3.4	3.1	1.0	0.0	2.3	0.0

<b>Hydracnidae</b>	0.1	0.6	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.5	0.6
<b>Hydrobiosidae</b>	3.6	2.0	2.4	3.1	2.1	1.1	2.1	2.4	2.0	0.6
<b>Hydrophilidae</b>	0.0	0.3	0.4	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
<b>Hydropsychidae</b>	0.7	1.8	0.9	4.2	3.1	1.2	1.7	1.0	1.2	2.2
<b>Hydroptilidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
<b>Isopoda</b>	12.3	1.7	3.3	2.3	0.1	0.4	0.1	0.0	0.9	0.1
<b>Isotomidae (Collembola)</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
<b>Lampyridae</b>	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
<b>Leptoceridae</b>	9.3	13.0	13.6	11.9	10.9	24.4	38.0	24.0	16.3	28.1
<b>Leptohyphidae</b>	0.1	0.8	0.1	1.3	0.4	0.2	1.0	1.2	3.5	1.4
<b>Leptophlebiidae</b>	1.9	1.4	0.9	0.4	1.4	2.7	1.0	1.0	0.9	2.2
<b>Libellulidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
<b>Muscidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Perlidae</b>	1.2	2.6	0.8	4.0	0.9	0.6	0.8	1.4	0.9	6.9
<b>Philopotamidae</b>	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1
<b>Pilidae</b>	0.4	0.0	2.6	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Pisauridae</b>	2.2	1.1	1.2	0.2	0.6	0.5	0.4	0.0	0.2	1.0
<b>Planaridae</b>	6.4	10.0	10.1	5.0	6.9	6.9	5.2	5.5	14.6	4.2
<b>Polidesmidie</b>	0.4	0.0	0.1	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Polycentropodidae</b>	0.0	0.0	0.7	0.4	0.0	0.1	0.1	0.6	0.2	0.1
<b>Psephenidae</b>	9.7	13.6	16.3	10.4	9.7	11.5	13.1	17.3	1.1	9.9
<b>Pseudothelphusidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
<b>Psychodidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Ptilodactylidae</b>	2.9	4.7	3.9	2.5	0.9	2.2	2.1	2.2	2.0	1.0
<b>Puduridae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0

<b>Pyralidae</b>	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Scirtidae</b>	5.8	4.4	5.5	5.2	7.7	2.2	2.3	2.4	4.8	1.6
<b>Simuliidae</b>	1.6	4.7	1.2	9.4	3.0	9.1	2.3	1.6	1.8	4.2
<b>Sphaeriidae</b>	0.1	0.3	0.0	0.4	0.1	0.9	0.6	0.4	0.1	0.0
<b>Sthaphylinidae</b>	0.6	0.9	0.9	0.8	0.1	0.4	0.7	0.2	1.1	0.6
<b>Synlestidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1
<b>Tabanidae</b>	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
<b>Tipulidae</b>	1.7	0.8	0.5	0.6	1.0	0.5	0.0	0.4	0.4	0.1
<b>Torrincolidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
<b>Tubificidae</b>	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
<b>Xiphocentronidae</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.1
<b>TOTAL (%)</b>	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Anexo 12. Suma hidromorfológica.

<b>Componente</b>	<b>QCS01</b>	<b>QCS02</b>	<b>QCS03</b>	<b>QCS04</b>	<b>QFS01</b>	<b>QFS02</b>	<b>QFS03</b>	<b>QFS04</b>	<b>QMS01</b>	<b>QMS02</b>
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
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
<b>Suma Hidromorfológica</b>	<b>38</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>39</b>	<b>39</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>	<b>37</b>

Anexo 13. Resumen de atributos ambientales.

<b>Componente de calculo</b>	<b>QCS01</b>	<b>QCS02</b>	<b>QCS03</b>	<b>QCS04</b>	<b>QFS01</b>	<b>QFS02</b>	<b>QFS03</b>	<b>QFS04</b>	<b>QMS01</b>	<b>QMS02</b>
Suma Hidromorfológica	38	37	40	39	39	38	38	39	40	37
IMEERA B	129	130	135	137	141	150	155	138	139	174
ABI	188	167	187	197	183	186	173	156	191	236
Abundancia	691	663	848	519	700	817	724	509	965	1085
Divers. Shannon-Wiener (H')	2.84	2.83	2.69	2.82	2.57	2.58	2.24	2.43	2.49	2.57
Equitatividad (J)	0.8	0.82	0.76	0.79	0.73	0.67	0.67	0.75	0.7	0.69
Número de Familias	35	31	34	36	34	31	28	26	35	41