



ESTUDIO LIMNOLÓGICO DE VARIOS SISTEMAS LÓTICOS Y LÉNTICOS ALDEAÑOS A LA RESERVA YOTOCO- VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Río Calima

Editores:

Gloria Melisa Galarza Beltrán
Laura Liliana Quinche Barena
Diego Alexander Aguilera Velasco
Catalina Garzón Ladino
Jaime Manzano Álvarez

Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia,
Bogotá, Colombia

Informe de Campo de la Asignatura: Limnología
Profesor: Gabriel A. Pinilla A.

Bogotá, D.C. Colombia, diciembre de 2016

**ESTUDIO LIMNOLÓGICO DE VARIOS SISTEMAS LÓTICOS Y LÉNTICOS ALEDAÑOS A LA RESERVA
YOTOCO- VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA**

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL	3
CAPÍTULO 1	
ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN CUATRO ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA.....	5
Leydi Catherine Corredor Martinez, Gloria Melisa Galarza Beltran; Erika Dayana Hernandez Aldana; Allan Macariz; Pablo Andres Tamayo Millan; Leidy Yuliana Vallejo Mayo	
CAPÍTULO 2	
INVENTARIO BIOLÓGICO DE LAS COMUNIDADES PERIFÍTICAS EN CINCO ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA ALTA DEL RÍO CAUCA.....	27
Ivanna Ghiret Hoyos Ramírez, Juan Manuel López, Jaime Manzano, Nathalia Moreno Niño	
CAPÍTULO 3	
CARACTERIZACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS DE ALGUNOS CUERPOS DE AGUA DEL DEPARTAMENTO DEL VALLE	45
Miguel David Barrios Amaya; Michel Guiovanly Cuesta Barajas; Catalina Garzón Ladino; Javier Alejandro Salas Gordillo	
CAPÍTULO 4	
MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE ALGUNOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DEL VALLE DEL CAUCA	58
Mayra Guerrero, Eduardo Wagner, Julián Rodríguez, Carlos Chitivo, Diego Aguilera	
CAPÍTULO 5	
COMUNIDADES PLANCTÓNICAS DE LA LAGUNA DE SONSO Y EL EMBALSE CALIMA	70
Mayra Guerrero, Eduardo Wagner, Julián Rodríguez, Carlos Chitivo, Diego Aguilera	
CAPÍTULO 6	
ANÁLISIS DE MACRÓFITAS Y VEGETACIÓN RIPARIA EN VARIOS SISTEMAS LÓTICOS Y LÉNTICOS ALEDAÑOS A LA RESERVA YOTOCO- VALLE DEL CAUCA.....	82
Laura Quinche, Juliana Valencia Lesmes, Alejandra Andrade y Angela Trujillo	
CONCLUSIONES GENERALES.....	95
Grupo editorial.	
AGRADECIMIENTOS	102

INTRODUCCIÓN GENERAL

Cerca de los municipios de Tuluá y Buga, en la cuenca del río Cauca, el cual posee un valle interandino de suelos fértiles, se localiza una zona rica en cuerpos de agua lénticos y lóticos, que se caracterizan por el desmejoramiento en la calidad de sus aguas debido a que han sido afectados por las industrias y los cultivos ubicados en sus riberas (López, 2010). En esta zona se han llevado a cabo pocos estudios para la caracterización de las comunidades biológicas de dichos ecosistemas acuáticos (López, 2010). No obstante, uno de los cuerpos de agua relativamente más estudiado de esta zona es la laguna de Sonso, la cual es el principal humedal en la planicie aluvial del río Cauca. Esta laguna se encuentra al interior de un área de bosque seco tropical inundable. Este humedal está localizado dentro del complejo de humedales de la cuenca alta del río Cauca, la cual a su vez es una subcuenca del río Magdalena (ASOYOTOCO, 2007). Además, en Sonso se encuentra una gran variedad de especies de aves residentes y migratorias. Adicionalmente, las aguas de este humedal se usan en actividades agrícolas y agropecuarias por parte de algunos municipios como Yotoco y Buga. Dichas actividades causan deterioro ambiental y disminuyen el valor ecológico y económico de la región, por lo que es necesario tomar decisiones para la conservación de dicho humedal (ASOYOTOCO, 2007).

Para la toma adecuada de decisiones de manejo de los cuerpos de agua de forma sustentable, o para su conservación, protección, restauración o sostenibilidad, es necesario obtener el suficiente conocimiento sobre el estado de sus recursos naturales y de los factores que lo afectan (Baena, 2006). Dicho conocimiento permite generar y utilizar herramientas con las que se podrían evaluar impactos, identificar problemáticas y pronósticar cambios, todo lo cual posibilita llevar a cabo una planificación y ordenación ambiental adecuadas. Tanto los especialistas en el área de la ecología acuática como las comunidades humanas de la región, se verían beneficiados si pudieran generar e interpretar un sistema de indicadores que agrupe los parámetros contaminantes más representativos, en especial por la creciente contaminación de los recursos hídricos (Baena, 2006).

El presente trabajo es un estudio limnológico básico de cinco cuerpos de agua de la cuenca alta del río Cauca (Tabla 1). Dos de ellos fueron ambientes lénticos (la laguna de Sonso y el embalse Calima) y tres fueron lóticos (el río Calima y las quebradas La Berreadera y El Boleo). Se ubican en los municipios de Buga, Yotoco y Calima en el Valle del Cauca, Colombia. Los muestreos se hicieron los días 15 y 16 de octubre de 2016. Como principal objetivo se buscó caracterizar cada uno de los lugares de muestreo en cuanto a sus variables morfológicas, fisicoquímicas y biológicas, por medio de la evaluación de distintas variables, tanto *in situ* como en laboratorio. Todo lo anterior permitió determinar las características generales y algunas específicas de las condiciones actuales de cada ecosistema acuático evaluado. Tales particularidades podrían ser relevantes en estudios de línea base, impacto ambiental, bioindicación y concientización ambiental.

Ecosistemas	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Laguna de Sonso	3° 51' 43,2"	76° 20' 57,12"	934
Embalse Calima	3° 53' 30"	76° 29' 30"	1455
Río Calima	3° 56' 37"	76° 27' 38,8"	1468
Quebrada La Berreadora	3° 57' 51,8"	76° 26' 55"	1493
Quebrada El Boleo	3° 57' 30,9"	76° 27' 49"	1514

Tabla 1. Coordenadas geográficas y elevación (metros sobre el nivel del mar) de los sitios estudiados.

REFERENCIAS

ASOYOTOCO. 2007. Plan de manejo ambiental integral humedal laguna de Sonso municipio de Guadalajara de Buga. Convenio 136 del 2005.

BAENA, LM. 2006. Línea Base Ambiental de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales en el Valle del Cauca. Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca. Dirección Técnica Ambiental. CVC.

LÓPEZ, W. (2010). Limnología de los humedales de Andalucía. In: Infante Betancour, J. & Tiboche-García, A. (eds.). Plan de manejo y monitoreo de los humedales del municipio de Andalucía, 1st ed. Fundación Yoluka, pp. 223-242.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS EN CUATRO ECOSISTEMAS ACUÁTICOS EN EL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA

Leydi Catherine Corredor Martínez¹; Gloria Melisa Galarza Beltrán²; Erika Dayana Hernández Aldana³; Allan Macariz⁴; Pablo Andrés Tamayo Millán⁵; Leidy Yuliana Vallejo Mayo⁶

¹Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 14490 Bogotá, Colombia. lccorredorm@unal.edu.co; ²gmgarzab@unal.edu.co; ³erdhernandezan@unal.edu.co; ⁴aymacarizgu@unal.edu.co; ⁵patamayom@unal.edu.co; ⁶lyvallejom@unal.edu.co.

INTRODUCCIÓN

Los diferentes análisis limnológicos están orientados particularmente a medir las características fisicoquímicas del agua, así como las particularidades de las comunidades bióticas asociadas (Roldán, 1992). La sociedad humana desde tiempos inmemoriales ha utilizado el agua dulce de ríos, lagos, aguas subterráneas y humedales para las diversas actividades urbanas, agrícolas e industriales, muchas veces pasando por alto su valor y su papel ecológico en el ambiente natural. El agua es el componente del ecosistema acuático en el que se desarrolla una serie de comunidades vivas que dependen de las características fisicoquímicas del mismo y que pueden verse notablemente modificadas al alterarse la calidad del medio líquido (Posada *et al.*, 2000). En este medio existe una gran variedad de seres vivos (desde virus hasta vertebrados) interactuando en diferentes procesos ecológicos y biológicos, en los que puede existir consumo o liberación de sustancias (Rodier, 1989). A causa de esto, las aguas pueden presentar en su composición química un elevado y muy variable número de sustancias.

Además de la biota y de los agentes naturales externos, la composición química del agua también se ve alterada por actividades antrópicas (ganadería, agricultura, industrial, etc), que traen como consecuencia una sobrecarga de sustancias de distinta naturaleza. Estos elementos se incorporan a través de las aguas residuales y de las aguas de escorrentía, las cuales pasan por terrenos tratados con productos agroquímicos o que tienen cierto grado de contaminación (Catalán Lafuente, 1990). Como consecuencia de todo esto, se produce la degradación de la calidad del agua, y esto provoca a su vez diferentes efectos negativos tales como los riesgos para la salud, las modificación de los ecosistemas, la destrucción del recurso hídrico, etc. La composición específica del agua influye en sus propiedades físicas, razón que lleva a analizar los parámetros de control, para saber en qué calidad están dichos sistemas y qué decisiones se pueden tomar a futuro sobre su recuperación o conservación.

Los ecosistemas de agua dulce son muy diferentes unos de otros según su tipo, ubicación y clima, pero comparten características fundamentales como la necesidad común de agua en un rango específico de cantidad y calidad (Baron *et al.*, 2002; Peña *et al.*, 2012). Es así como los diferentes

parámetros físicos y químicos (además de los biológicos), representan una herramienta primordial y son la base de métodos para caracterizar la calidad del agua en dichos ecosistemas. Es posible describir entonces los diversos factores del que intervienen en el sistema y el grado de influencia antrópica, lo cual posibilita la realización de propuestas que mejoren las condiciones del ecosistema.

El presente capítulo pretende valorar el estado y la calidad del agua de cinco ecosistemas acuáticos en el Valle del Cauca, considerando criterios físicos y químicos. Los sistemas considerados fueron la laguna de Sonso y el embalse Calima (lénticos), y las quebrada La Berreadora y El Boleo y el río Calima (lóticos). Se midieron temperatura, profundidad, conductividad, dureza, sólidos disueltos totales en el agua, pH, salinidad, alcalinidad, oxígeno disuelto y nutrientes (nitratos, nitritos, fosfatos, fósforo, sulfato y amonio). La transparencia se midió solo en los sistemas lénticos. Se espera que si la calidad del agua de los sistemas acuáticos es buena, se presente una alta diversidad de especies, una dominancia baja y concentraciones reducidas de nutrientes. De esta manera, en los cuerpos de agua estudiados la calidad estaría afectada por la eutroficación y por la alta intervención antrópica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los muestreos se hicieron los días 15 y 16 de octubre de 2016. Para los análisis de nutrientes se recolectó en un recipiente plástico de 500 mL una muestra de agua en cada sitio. Cada muestra se rotuló indicando el lugar y la fecha y se conservó en nevera para su posterior análisis en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Para la medición de los parámetros físicos y químicos de campo se utilizó una sonda multiparamétrica Hach, que permite realizar muestreos continuos o discretos (Peña *et al.*, 2012). Cada uno de los sensores de la sonda permite analizar diversas variables, tales como pH, conductividad, temperatura, sólidos disueltos y oxígeno disuelto. Como se mencionó, los nutrientes (nitratos, nitritos, fosfatos, sulfatos y amonio), se evaluaron mediante espectrofotometría en laboratorio a partir de muestras de agua tomadas en cada uno de los sitios: embalse Calima, laguna de Sonso, río Calima y quebradas La Berreadora y El Boleo (Fig. 1.1). Dichas muestras se tomaron superficialmente y se analizaron en el laboratorio una semana después de su colecta. Para el embalse Calima se buscó tomar la muestra en un punto alejado de la costa. Se empleó un espectrofotómetro Hach DR/2000 y se siguió la metodología sugerida en el manual del equipo. Los frascos que contenían las muestras se lavaron previamente con solución de ácido clorhídrico diluido y se enjuagaron con agua desionizada con el fin de remover otras fuentes de fosfatos como las provenientes de los detergentes con los cuales se suelen lavar los utensilios de laboratorio (HACH,2000). Los parámetros de dureza y alcalinidad se determinaron en campo con kits Hanna. Se utilizó un disco secchi para medir la transparencia.

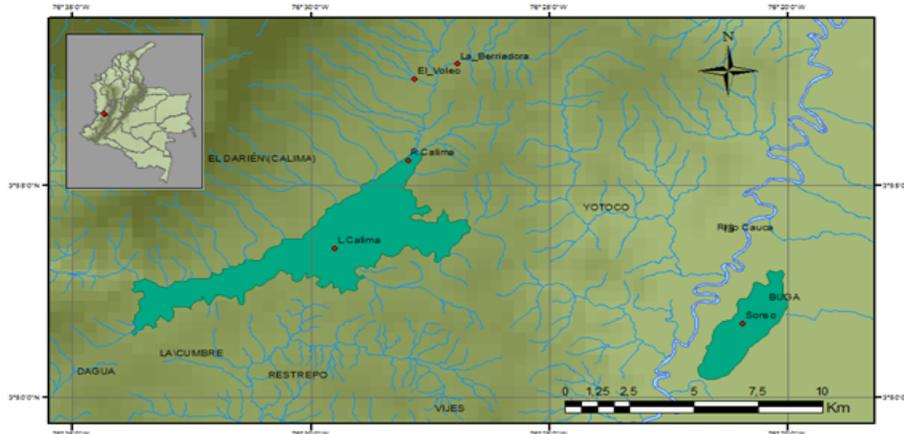


Figura 1.1. Áreas de estudio y puntos de muestreo para la determinación de la calidad del agua. Elaboración propia.

Sistemas lénticos

Se emplearon una sonda multiparamétrica Hach, un bote inflable y un disco Secchi. Se realizó un perfil vertical en el que se midió profundidad, temperatura y oxígeno, utilizando el equipo multiparamétrico. En la laguna de Sonso las mediciones del perfil se hicieron cada 10 cm de profundidad y en el embalse Calima cada 20 cm. Con el disco Secchi se midió la transparencia realizando los siguientes pasos:

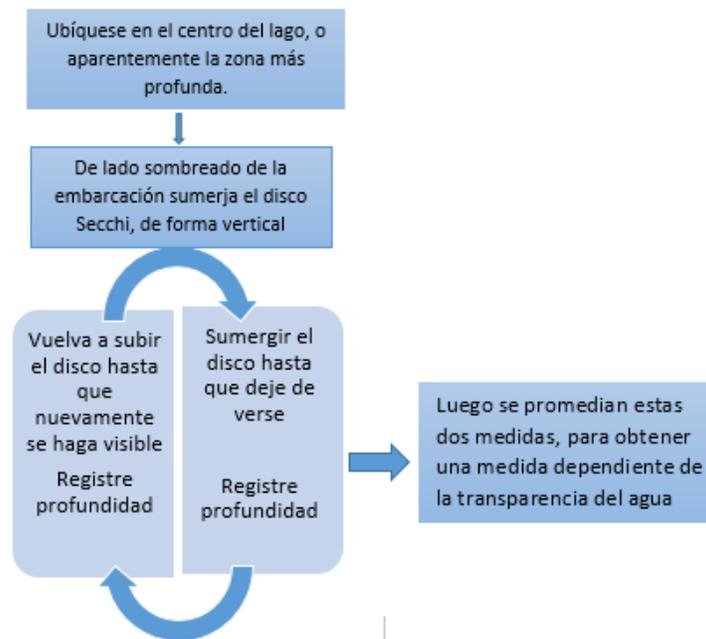


Figura 1.2. Procedimiento para el registro de la transparencia con el disco Secchi.

Sistemas lóticos

Se realizaron mediciones en tres puntos del tramo seleccionado en cada río, uno superior, uno medio y otro inferior. Se registraron los datos de temperatura, conductividad, pH y oxígeno con el equipo multiparamétrico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se registraron diferencias notables para los parámetros evaluados entre los sistemas lóticos y lénticos estudiados. Esto trae como consecuencia el establecimiento de comunidades específicas adaptadas a cada tipo de hábitat (Roldán & Ramírez, 2008) y dan muestra de la calidad del agua.

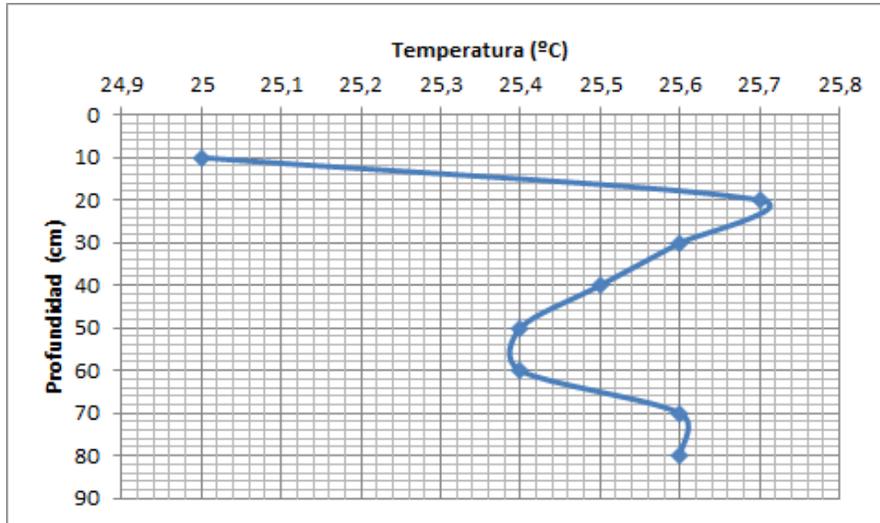
VARIABLES FÍSICAS

SISTEMAS LÉNTICOS

Temperatura

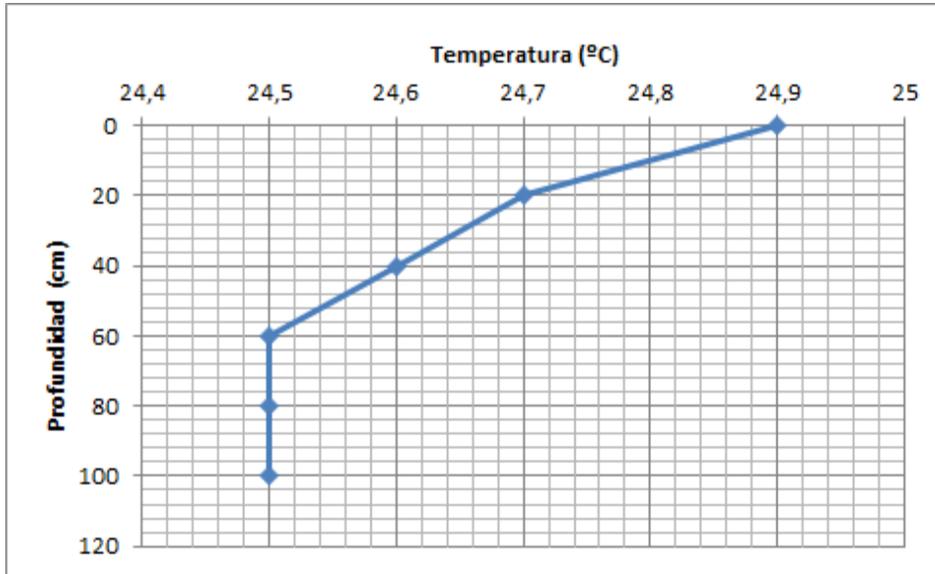
En las zonas tropicales, la temperatura permanece más o menos constante a lo largo del año, por lo que los cambios en esta variable pueden ser fatales para la supervivencia de los organismos (Roldán, 2003). La temperatura cambia con la elevación de los puntos de medición, con la cobertura vegetal y con la profundidad del sistema (Roldán & Ramírez, 2008).

El perfil vertical de temperatura de la laguna de Sonso, presentado en la Gráfica 1.1, corresponde al día 15 de octubre, antes del mediodía. La temperatura del aire era de 25°C al momento de la toma de los datos. No se registró una estratificación térmica en la columna de agua, aunque se presentaron cambios a medida que aumentó la profundidad. De acuerdo con Roldán & Ramírez (2008) y Montoya (2008), la estratificación se forma durante el día cuando la radiación solar llega a su máximo después del mediodía, pero se rompe en la noche a causa del enfriamiento de la atmósfera y del viento. Se infiere entonces que debido a que el muestreo se realizó antes del mediodía, la estratificación todavía no se había formado. Además, la laguna tiene poca profundidad, lo que puede causar que la circulación sea permanente y que la estratificación, si se presenta, sea débil.



Gráfica 1.1 Perfil de temperatura, Laguna de Sonso.

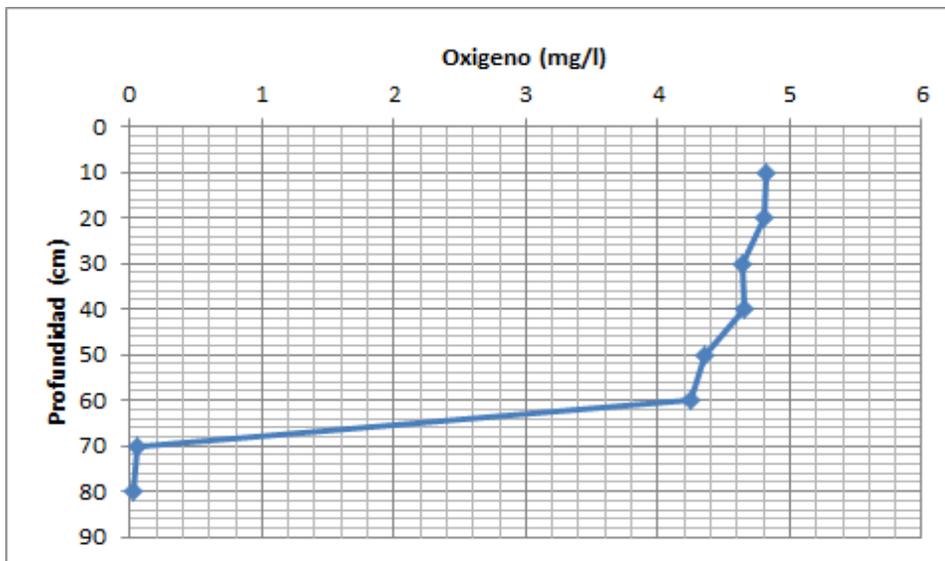
El perfil vertical de temperatura de la embalse Calima, presentado en la Gráfica 1.2, corresponde al día 15 de octubre, después de mediodía. La temperatura del aire era de 25°C al momento de la toma de los datos. En contraste con la laguna de Sonso, el embalse sí presenta un gradiente térmico en el que la temperatura disminuye a medida que aumenta la profundidad, hasta mantenerse estable. Sin embargo no podemos considerarlo como una estratificación térmica debido a que la variación es de tan solo 0,4°C. Estos resultados coinciden con los de Roldán & Ramírez (2008), quienes describen que el embalse Calima está permanentemente mezclado, por la acción de los vientos (Gráfica 1.4.1). No obstante, en la Gráfica 1.2 pareciera existir un epilimnio o capa superficial de mayor temperatura, en contacto con la radiación solar directa; un metalimnio o zona de transición entre el epilimnio y el hipolimnio, en la que ocurre un punto de inflexión del perfil de temperatura, correspondiente a la termoclina, con un descenso brusco de la temperatura; y un hipolimnio o capa inferior de temperatura baja y homogénea (24.5°C). Pero las diferencias térmicas entre estas capas no superan el medio grado de temperatura, por lo cual se puede decir que no existe una estratificación real de este cuerpo de agua (Roldán & Ramírez, 2008). Al parecer, el perfil realizado muestra solamente cierta acumulación del calor en la superficie del embalse sin que llegue a estratificarse efectivamente. La formación de capas térmicas es una combinación de la radiación solar directa, conducción turbulenta del calor provocado por el viento en superficie y presencia de corrientes con distinta densidad. Como ya se dijo, según Roldán & Ramírez (2008) el embalse Calima está permanentemente mezclado por la acción de los vientos (Gráfica 1.4.1).



Gráfica 1.2. Perfil de temperatura, embalse Calima

Oxígeno

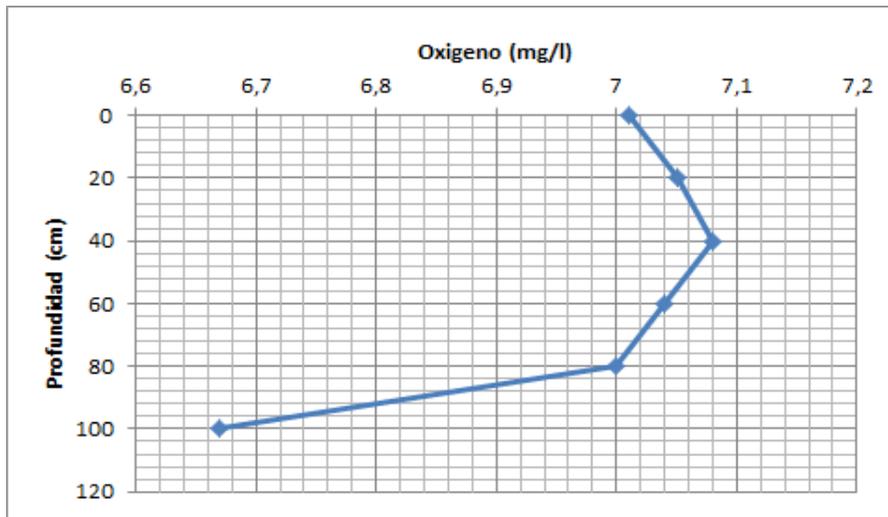
Uno de los indicadores más importantes de la calidad del agua es el oxígeno disuelto. La laguna de Sonso presentó un rango de 4,82 a 0,03 mg/L (Gráfica 1.3). Las mayores concentraciones ocurrieron en la capa superficial sobre los 60 cm. Debajo de esta se presentó una oxiclina, en la que el oxígeno descendió hasta 0,03 mg/L. En los lagos el viento difunde el oxígeno y la fotosíntesis de las macrófitas sumergidas suministra oxígeno al sistema. Según Roldán & Ramírez (2008), la condición anóxica en la profundidad del sistema se explica por descomposición de materia orgánica en los sedimentos acumulados en el fondo. Se puede concluir que a pesar de que no haya estratificación térmica en esta laguna, sí ocurre una clara estratificación química.



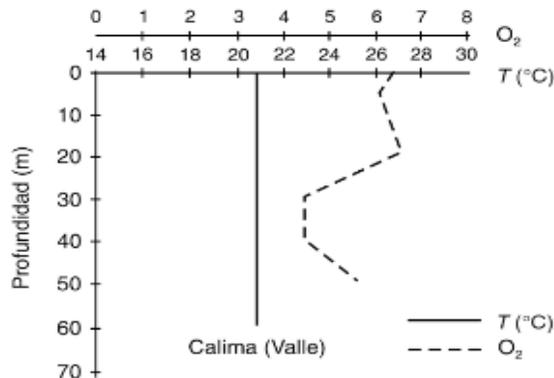
Gráfica 1.3. Perfil de oxígeno, Laguna de Sonso

El embalse Calima presentó un rango de 7,01 a 6,67 mg/L de oxígeno (Gráfica 1.4). Roldán & Ramírez (2008) señalan que este embalse tiene valores superiores a 5 mg/L de oxígeno a 50 m de profundidad (Gráfica 1.4.1). La capa superficial sobre los 80 cm tuvo las mayores concentraciones (7-7,01 mg/L). Las menores ocurrieron a 1 m, pero también fueron altas. Para realizar un análisis detallado y comparativo con estudios previos sería necesario realizar un muestreo a mayor profundidad, debido a que solo se tomaron datos hasta 1 m. Los registros hechos en el presente trabajo solo representan la capa más superficial del embalse, en el que se han medido profundidades de 60 m.

El embalse Calima presentó mayores concentraciones de oxígeno en comparación con la laguna de Sonso. Al parecer, la acción del viento en el embalse explica este resultado. La laguna de Sonso tiene una mayor demanda por la elevada cantidad de materia orgánica y por una menor ventilación. Además, los procesos de descomposición en el sedimento y la gran cantidad de macrófitas flotantes aumentan las condiciones de anoxia en el fondo (Roldán & Ramírez, 2008).



Gráfica 1.4. Perfil de oxígeno, Embalse Calima



Gráfica 1.4.1 Perfil de Temperatura y oxígeno del Embalse Calima. Adaptado de: Roldán, P. G. (1992). Fundamentos de limnología neotropical, Colección Ciencia y Tecnología

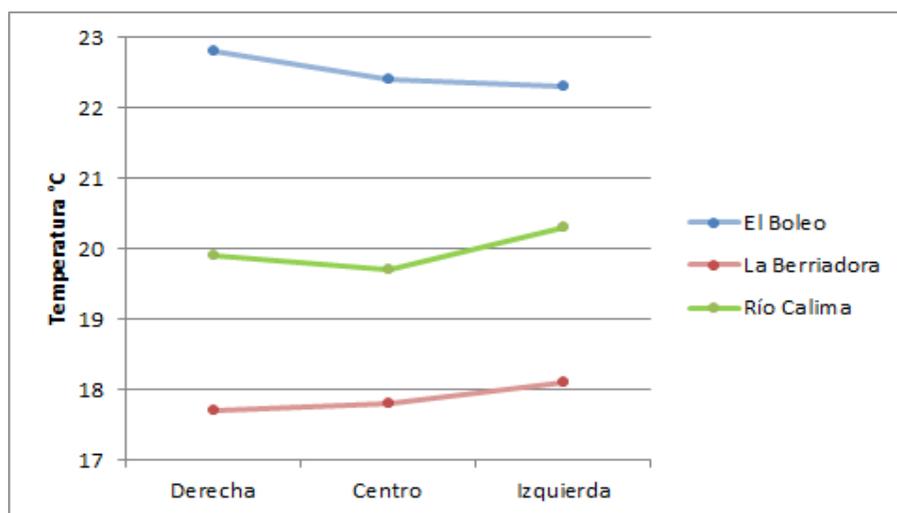
SISTEMAS LÓTICOS

Temperatura

Para cada sistema de aguas corrientes evaluado, la temperatura tendió a ser asimilar en los tres sitios del tramo (Gráfica 1.5). La poca profundidad de estos ríos hace que las variables climáticas incidan notoriamente en el caudal y con esto en la conservación de calor debido al poder calórico del agua. El río Calima, que presenta un mayor caudal, tuvo una menor temperatura, seguido de La Berreadora y El Boleo (Tabla 1.1), quebradas que tienen una menor profundidad. Las mediciones en cada caso no señalaron diferencias de temperatura relevantes entre sitios, habiendo una homotermia transversal de cada afluente con mínimos cambios en cada sección. Esto puede ser consecuencia de las características morfométricas de cada zona, de la velocidad y de la turbulencia. Además, es importante destacar que el viento y las corrientes inciden sustancialmente sobre el comportamiento y estructura térmica de estos cuerpos de agua, debido a los intensos procesos de mezcla (Drago, 2005).

Sitio en el tramo	Q El Boleo	Q La Berreadora	R Calima
Superior	22,8	17,7	19,9
Medio	22,4	17,8	19,7
Inferior	22,3	18,1	20,3

Tabla 1.1. Temperatura del agua en las tres secciones de cada sistema lótico.



Gráfica 1.5. Temperatura del agua en los sistemas lóticos estudiados. Derecha: sitio superior del tramo; centro: sitio medio; izquierda: sitio inferior.

Para los sitios en cuestión no se tiene un análisis previo detallado que permita medir la incidencia climática y antrópica y que muestre los cambios en el tiempo. Por lo tanto, no es posible cuantificar

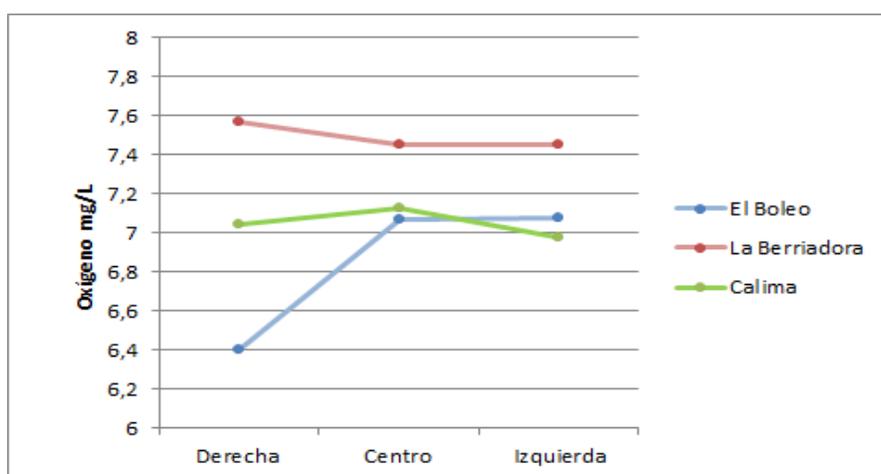
el grado de degradación o conservación, ni la variabilidad natural de cada sistema. Como ha sido planteado por diversos autores (Boschi, 1988; León & Ríos 2000; Drago, 2005), resulta fundamental evaluar los factores naturales y humanos que permitan tener un conocimiento más detallados de las condiciones térmicas de las corrientes fluviales. Los cambios de temperatura pueden tener un fuerte impacto biológico, por lo que el calor constituye un factor físico primario que incide sobre las diferentes comunidades acuáticas.

Oxígeno

La Berreadora mostró una mayor cantidad de oxígeno disuelto por lo cual podría tener una mayor tasa fotosintética, especialmente del ficoperifiton, así como un intercambio gaseoso más intenso a través de la superficie del agua. Le siguieron el río Calima y la quebrada El Boleo (Tabla 1.2). Es importante anotar que la cantidad de oxígeno en el agua también está afectada por la temperatura, de manera que la concentración de este gas es inversamente proporcional a la temperatura del agua (Alvarado & Aguilar, 2009). Esto se corrobora en el presente estudio. El oxígeno disuelto no presentó diferencias notables en las distintas secciones de La Berreadora y del río Calima, mientras que en El Boleo la sección superior tuvo menos oxígeno, debido probablemente diferencias de caudal, o al aislamiento de este punto con respecto a los demás, en los que sus microhábitats pudieron ser menos para la proliferación de fitoperifiton.

Sitio en el tramo	Q El Boleo	Q La Berreadora	R Calima
Superior	6,398	7,57	7,04
Medio	7,07	7,45	7,13
Inferior	7,08	7,45	6,98

Tabla 1.2. Oxígeno disuelto en las tres secciones de cada sistema lótico.



Gráfica 1.6. Oxígeno disuelto en los sistemas lóticos estudiados. Derecha: sitio superior del tramo; centro: sitio medio; izquierda: sitio inferior.

En términos generales, para los sistemas lóticos evaluados el oxígeno disuelto presentó un valor medio de 7,0 mg/L. Esta concentración de oxígeno en estos ecosistemas corresponde a aguas de buena calidad (Posada *et al.*, 2000).

Transparencia

La transparencia está determinada por la concentración de sustancias disueltas o suspendidas en el agua. La turbiedad producida por materiales externos al sistema se denominan alóctona y la originada por la productividad primaria se denomina autóctona (Roldán, 2002). Se considera la turbiedad como una medida visual de contaminación, resultado de posibles florecimientos algales y del ingreso de partículas de suelo o de materia orgánica en suspensión (Fraga, 1979). Este parece ser el caso de la laguna Sonso, donde la transparencia fue de 0,4 m. En la quebrada La Berreadora la transparencia se aproximó a los 0,6 m (Tabla 1.3).

Lugar de muestreo	Transparencia (cm)
Laguna de Sonso	41.6
Quebrada La Berreadora	59.1

Tabla 1.3. Datos disco secchi promedio para un sistema lótico y un sistema léntico de los evaluados

Para la laguna de Sonso se estima una alta concentración algal debido a la poca transparencia del agua. Consideramos que la penetración de la luz puede ser muy baja debido a una enorme cantidad de materiales en suspensión, principalmente de algas y bacterias y probablemente de detritus de materia orgánica (Peña *et al.*, 2012). Lo contrario ocurrió para la quebrada La Berreadora, en la que la transparencia horizontal del disco de Secchi fue mayor. Ello permite deducir una desigual incidencia de la concentración de clorofila en el agua sobre la visibilidad del disco de Secchi en ambos sistemas.

VARIABLES QUÍMICAS

pH

El pH representa el potencial de hidrogeniones (H^+) e indica su concentración en el agua. La notación pH expresa la intensidad de la condición ácida o básica en el agua (Roldán, 1992). Si el pH es muy alto o muy bajo los organismos acuáticos se verán afectados negativamente. Así mismo, el pH tiene efectos sobre la solubilidad y toxicidad de químicos y metales pesados (EPA, 2012).

Lugar de muestreo	pH
Laguna de Sonso	7,91
Embalse Calima	6,93
Río Calima	7,21
Quebrada La Berreadora	7,01
Quebrada El Boleo	7,35

Tabla 1.4 Registros de pH promedio de los sitios visitados.

Los lagos naturales de alta montaña presentan pH entre 6,5 y 7,5. Los sistemas lénticos de las zonas bajas tropicales muestran un rango de pH mayor, entre 5,0 y 9,0. Por otro lado, los embalses presentan un rango de pH entre 6,5 y 8,0 en concordancia con su eutrofización (Roldán, 1992). Los ríos tienen un pH entre 7 y 8, con un promedio de 7,5. En comparación con los lagos, este valor tiende a ser mayor (Pham *et al.*, 2014). El comportamiento de los datos sigue este comportamiento, puesto que el río Calima y las quebradas La Berreadora y El Boleo tuvieron pH entre 7 y 7,5. El embalse Calima presentó un valor ligeramente ácido (menor que 7). Sin embargo, la laguna de Sonso fue el cuerpo de agua con mayor pH, con un valor muy cercano a 8. Esto puede deberse a diferentes factores, uno de los cuales puede ser la interacción con rocas carbonáceas. En este caso, al ser un cuerpo léntico, esta no sería la razón principal. Otro factor puede ser la baja concentración de CO₂ en el agua debido al consumo en la fotosíntesis, lo que lleva a un incremento de los carbonatos y bicarbonatos en el agua. Esta segunda razón es la más probable para explicar el pH básico de Sonso. Las concentraciones de CO₂ varían durante el transcurso del día, pues bajan una vez la tasa de fotosíntesis se incrementa, es decir hacia el mediodía. El muestreo se realizó en horas de la media mañana, donde el proceso fotosintético empieza a incrementarse. En comparación con el embalse Calima, Sonso tuvo una mayor cantidad de oxígeno disuelto, producto probablemente de la actividad fotosintética. Dado que los valores de pH de las aguas naturales puede fluctuar entre 6,0 y 9,0 (Roldán, 1992), la variación observada entre los cuerpos de agua estudiados no es grande.

SÓLIDOS DISUELTOS

En los sólidos disueltos se agrupan todos los iones que se encuentran presentes en el agua. Estos incluyen cloruros, sulfatos, bicarbonatos, fosfatos, nitratos y sílice, como los más comunes. Sus concentraciones varían por la influencia ejercida a causa de la naturaleza del sustrato o por efectos de la contaminación producida por el hombre (Roldán, 1992). El incremento de sólidos disueltos, aumenta la salinidad y causa graves problemas de osmoregulación para la mayoría de organismos acuáticos, de manera que a mayor concentración de sales, la diversidad en los organismos disminuye (Roldán, 1992).

Lugar de muestreo	Sólidos disueltos mg/L
Laguna de Sonso	--
Embalse Calima	36,4
Río Calima	--
Quebrada La Berreadora	--
Quebrada El Boleo	48,7

Tabla 1.5 Sólidos disueltos en mg/L de los sitios muestreados. Los sólidos disueltos sólo se registraron en el embalse Calima y en la quebrada El Boleo.

En la mayoría de las aguas oligotróficas, como es el caso de las aguas de las regiones amazónica y altoandina, los valores de sólidos disueltos pueden llegar hasta las 10 ppm o mg/L. la mayoría de los lagos y ríos neotropicales presentan valores entre 10 y 200 mg/L, que no es un rango tan alto en

comparación con otros sistemas acuáticos. Las lagunas costeras, o cuerpos de agua influenciados por las aguas marinas, pueden llegar a tener valores mayores a 2000 mg/L. Los mares en promedio tiene un valor de 35.000 mg/L y el lago salado de Utah tiene 220.000 mg/L (Roldán, 1992). Las medidas calculadas para el embalse Calima y la quebrada El Boleo se encuentran dentro de estos registros normales determinados por Roldán (1992). Sin embargo, no corresponden a aguas oligotróficas, según el mismo autor. Estos resultados son los esperados para el embalse Calima debido a elevada influencia antrópica. En la quebrada El Boleo los sólidos disueltos medidos pueden provenir principalmente de contribuciones externas al río, principalmente por el aporte por erosión del sustrato y por la descomposición de materiales orgánicos en su lecho.

SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Los sólidos en suspensión corresponden a las partículas sólidas insolubles que se encuentran suspendidas un cuerpo de agua. Se determinan mediante filtración del agua y pesado del residuo (Murillo, 2009). Los sólidos finos suspendidos en la columna de agua incrementan la turbidez, limitando la penetración de luz y potencialmente reducen la producción primaria, teniendo un impacto en las cadenas tróficas del ecosistema acuático (Davies-Colley *et al.*, 1986). Se han realizado diversos estudios acerca del impacto de las altas concentraciones de sólidos suspendidos sobre los diferentes componentes bióticos del cuerpo de agua. Concentraciones de 8 mg/L pueden causar una reducción en la producción primaria de hasta el 13% (Lloyd *et al.*, 1987) y concentraciones mayores pueden tener efectos más importantes: 500 mg/L causarían daño abrasivo masivo a las hojas de las macrófitas presentes (Lewis, 1973) y 2100 mg/L inhibirían la producción primaria tanto en macrófitas como en algas (Francoeus & Biggs, 2003). Los altos niveles de solidos suspendidos incrementan la temperatura del agua, debido a que estas particulas absorben más calor que las moléculas de agua, y a mayor temperatura se disminuye la solubilidad del oxígeno (Wetzel, 2001). Incluso este aumento en la temperatura puede causar estratificación (Langland, 2003). Otro factor que efecta la cantidad de solidos suspendidos es la lluvia, que puede no solo incrementar la concentración de partículas suspendidas al llevar sedimentos de los suelos cercanos por escorrentía, sino también puede inducir la mezcla del cuerpo de agua, lo que resuspende las partículas ya sedimentadas. Esto dependerá directamente de la fuerza de la precipitación y de la profundidad del cuerpo de agua (Gray, 2000).

Lugar de muestreo	Sólidos Suspendidos (mg/L)
Quebrada La Berreadora	3,3
Embalse Calima	5,2
Río Calima	156,6
Laguna Sonso	12,4
Quebrada El Boleo	92,6

Tabla 1.6. Sólidos suspendidos para cada uno de los sitios muestreados.

Una concentración de sólidos suspendidos inferior a 20 mg/L generalmente indica aguas claras, mientras que de 40 mg/L en adelante empieza a parecer turbia. Sin embargo, esto depende del tamaño y la naturaleza de las partículas en suspensión (Hickin, 1995). En consecuencia, la quebrada La Berreadora, el embalse Calima y la laguna de Sonso, tendrían aguas que se consideran claras, mientras que la quebrada El Boleo y el Río Calima tendrán los valores más altos, es decir aguas turbias. Estos dos últimos presentan así mismo una mayor temperatura que los restantes tres cuerpos de agua evaluados y una menor cantidad de oxígeno disuelto (aunque la diferencia es pequeña). En cuanto al río Calima, el caudal podría ser el factor causante de la alta cantidad de sólidos suspendidos, debido a la erosión que causa y a todo el material que puede arrastrar. Por otra parte, tanto para el río Calima como para la quebrada El Boleo la mezcla continua, por la corriente para el primero y por la poca profundidad para el segundo, también podrían ser factores determinantes.

CONDUCTIVIDAD

La conductividad eléctrica en las aguas está relacionada con la cantidad de sólidos (iones) disueltos. Por eso su medición es muy útil al momento de evaluar la calidad de un sistema acuático. La conductividad varía con la naturaleza de los iones que contiene el agua. En consecuencia, aguas con una composición iónica diferente mostrarán una relación entre la concentración iónica y la conductividad que cambia. Por ejemplo, el lago District Water, donde dominan los iones Na^+ y Ca^{+2} , tiene una conductividad de 112 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que en un sistema acuático de aguas calcáreas como el Malham Tare, donde predominan otros iones diferentes como Ca^{+2} y HCO_3^- , presenta una conductividad de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (McKereth *et al.*, 1978).

Lugar de muestreo	Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Laguna de Sonso	75,5
Embalse Calima	77,2
Río Calima	36,8
Quebrada La Berreadora	75,3
Quebrada El Boleo	97,2

Tabla 1.7 Datos de conductividad de los sitios muestreados.

Los valores normales de la conductividad están entre 30 y 60 μS . Registros inferiores a 10 indican oligotrofia y datos por encima de 60 indican eutrofia o alta producción (Roldán, 1992). En el rango de valores normales solamente se encuentra el río Calima; los otros cuatro sitios de muestreo mostraron conductividades superiores, correspondientes a un nivel de eutrofia. Específicamente la quebrada El Boleo presentó el valor de conductividad más alto, sugiriendo un nivel de eutrofia mayor que el de la laguna de Sonso y del embalse Calima. Los datos de conductividad concuerdan con las concentraciones altas de sólidos disueltos halladas en el río Calima y en la quebrada El Boleo.

DUREZA

La dureza del agua se define como la concentración de los cationes metálicos no alcalinos presentes en forma de carbonatos o bicarbonatos (calcio, estroncio, bario y magnesio), expresados como equivalentes de carbonato de calcio. La dureza es un parámetro altamente informativo en cuanto a la calidad del agua, debido a que la dureza alta (es decir, alta cantidad de sales) puede ser nociva en aguas para consumo humano.

Lugar de muestreo	Dureza (mg/L CaCO ₃)
Laguna de Sonso	102,0
Embalse Calima	43,2
Río Calima	23,7
Quebrada La Berreadora	88,8
Quebrada El Boleo	60

Tabla 1.8 Datos de dureza de los sitios muestreados.

Las aguas naturales pueden clasificarse, según la dureza, desde muy blandas (0-15 mg/L) a muy duras (mayor a 300 mg/L). Las clasificaciones intermedias corresponden a aguas blandas (16-75 mg/L), medias (76-150 mg/L) y duras (150-300 mg/L) (Valenzuela Marín, 2004). De acuerdo con esta clasificación, la laguna de Sonso y la quebrada La Berreadora son de dureza media, mientras que el embalse Calima y los ríos Calima y El Boleo se ubican en la categoría de aguas blandas.

ALCALINIDAD

La alcalinidad en los cuerpos de aguas naturales está asociada principalmente al sistema carbonato, debido a que es una medida de la concentración de CO₂, HCO₃ y CO₃ (León, 2005). No obstante, aunque la alcalinidad del agua es un indicativo de estas sustancias, la presencia de algunas sales de ácidos débiles como boratos, silicatos, nitratos y fosfatos pueden contribuir a su valor (León, 2005). Además, como consecuencia de las características anfóteras del ion bicarbonato, este le imprime una ligera capacidad buffer al agua. En este sentido la alcalinidad está representada por la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua y refleja su capacidad de amortiguamiento de la acidez (Rosado & Castro, 2011).

Para evitar modificaciones en la alcalinidad del agua debidas a las modificaciones en el CO₂, el cual es un gas que se pueda disolver o escapar del agua con mucha facilidad durante el transporte al laboratorio, este parámetro se midió *in situ*. Para ello, cada muestra se trató con los kits de campo. La alcalinidad se estimó con el Test de análisis rápido, el cual se basa en la titulación de 5 mL de la muestra con H₂SO₄ de concentración 0,02 N y dos indicadores diferentes. En la primera fase de la prueba se determina la alcalinidad de fenoltaleína y se utiliza esta sustancia como indicador (kit Alcalinidad-Fenoltaleína-HI 3811, HANNA). En la segunda parte del test se utiliza como indicador el azul de bromofenol y se mide la alcalinidad total (kit Alcalinidad Total -HI 38014, HANNA). La elección de los indicadores se basa en el pH de la muestra y los rangos de viraje de cada uno. Así por ejemplo, la fenoltaleína se utiliza en muestras con pH mayor a 8,3, mientras que el azul de bromofenol se emplea con aguas con pH igual o mayor a 4,5 (León, 2005).

Con los resultados obtenidos a partir de las determinaciones a la alcalinidad de fenolftaleína (pH 8,3) y alcalinidad total (pH 4,5) se genera una clasificación estequiométrica de las tres principales especies iónicas del sistema carbonato:

- La alcalinidad de carbonato (CO_3) se presenta cuando el volumen titulado a pH 8,3 no es 0, sino menor de la total.
- La alcalinidad de hidróxido (OH^-) se presenta si el volumen titulado a pH 8,3 supera la mitad de la total.
- La alcalinidad de bicarbonato se presenta si el volumen titulado a pH 8,3 es menor de la mitad de la total.

Estas relaciones pueden calcularse mediante el siguiente esquema (Tabla 1.9), donde P es el volumen gastado a pH 8,3 y T es el volumen gastado a pH 4,5.

RESULTADO DE LA TITULACIÓN	Alcalinidad de Hidroxilos como CaCO_3	Alcalinidad de Carbonatos como CaCO_3	Alcalinidad de Bicarbonatos como CaCO_3
P=0	0	0	T
P<1/2 T	0	2P	T-2P
P=1/2 T	0	2P	0
P>1/2 T	2P-T	2 (T-P)	0
P=T	T	0	0

Tabla 1.9. Determinaciones de la alcalinidad de las especies iónicas con base en la alcalinidad de fenolftaleína o a pH 8,3. T= alcalinidad al azul de bromofenol, o pH 4,5. P= alcalinidad de fenolftaleína o a pH 8,3, T= alcalinidad al azul de bromofenol, o pH 4,5. Fuente: IDEAM, 2005

Los resultados obtenidos para alcalinidad de fenolftaleína y la alcalinidad total se muestran en la Tabla 1.10A. Las relaciones de las especies iónicas del sistema carbonatos se consignan en la Tabla 1.10B.

A

SITIO/ INDICATIVO	Alcalinidad	
	Fenolftaleína (mg/L equivalentes de CaCO_3)	Azul bromofenol (mg/L equivalentes de CaCO_3)
Laguna de Sonso	0	480
Embalse Calima	0	63
Río Calima	0	36
Río La Berreadora	0	75

Río El Boleo	0	66
--------------	---	----

B

Sitio	Resultado de la Titulación	Alcalinidad de Hidroxilos como CaCO_3	Alcalinidad de Carbonatos como CaCO_3	Alcalinidad de Bicarbonatos como CaCO_3
Laguna de Sonso	P= 0	0	0	480
Embalse Calima	P= 0	0	0	63
Río Calima	P= 0	0	0	36
Río La Berreadora	P= 0	0	0	75
Río El Boleo	P= 0	0	0	66

Tabla 1.10. A. Valores de alcalinidad de los diferentes ecosistemas acuáticos estudiados en el Valle del Cauca. **B.** Determinaciones de la alcalinidad de las especies iónicas.

Los valores de 0 en la tabla anterior no indican la ausencia de las especies iónicas OH y CO_3 , sino que estas tienen concentraciones menores del valor de alcalinidad total. En todos los ecosistemas son los bicarbonatos los que más aportan a la alcalinidad. La alcalinidad debido a los bicarbonatos se origina de los procesos de meteorización de las rocas. En este sentido y de acuerdo con la Corporación Autónoma del Valle del Cauca, los suelos en los lechos de los afluentes del río Cauca presentan una saturación total de bases muy alta, una relación calcio-magnesio normal y una capacidad de intercambio catiónico baja a media (CVC, 2007). De esta forma, los suelos son los aportantes de los cationes que causan la alcalinidad medida en todos los ecosistemas acuáticos. En el caso de la laguna de Sonso, que presenta la mayor alcalinidad total, se ha reportado que las emisiones de CO_2 se deben al exceso de nutrientes y de materia orgánica acumulados por años en los sedimentos, lo que en general sería el principal aportante a la alcalinidad de ese humedal (Canchala, 2014).

La alcalinidad también expresa la capacidad buffer del agua. Su concentración se relaciona con la productividad del ecosistema, puesto que da idea de la cantidad de dióxido de carbono y bicarbonatos que sirven como reserva de carbono para la fotosíntesis. En este contexto, los niveles de alcalinidad altos indicarían una productividad alta y viceversa (Margalef, 1993, Tabla 1.11). Esto se debe no solo a la mayor disponibilidad de carbono, sino también al hecho de que las rocas sedimentarias que contienen carbonatos están generalmente asociadas a concentraciones relativamente altas de nitrógeno y fósforo (Rosado & Castro, 2011).

La alcalinidad registrada en los diferentes ecosistemas acuáticos visitados muestra que la laguna de Sonso presentó una alcalinidad alta, mientras que los demás ecosistemas acuáticos tuvieron valores bajos, exceptuando el río La Berreadora, que se encuentra al límite de la alcalinidad media. La alta alcalinidad en la laguna de Sonso posiblemente se debe a la influencia considerable de prácticas agrícolas que tiene lugar en sus cercanías. Actualmente los ecosistemas superficiales enfrentan en varias zonas del país contaminación severa y problemas de salinidad y alcalinidad, fenómenos

causados muchas veces por la agricultura (Sapag Chain, 2000). Los agroquímicos aportan en su mayoría sales, que se vierten de manera difusa a los cuerpos de agua por escorrentía, lo que estimula la proliferación de plantas acuáticas y algas (eutrofización).

Rango de Productividad	Alcalinidad (mg/L)
Baja	<75
Media	75-150
Alta	>150

Tabla 1.11. Rangos de alcalinidad como indicador de la productividad de un ecosistema acuático. Fuente: Kevern *et al.* (1996).

LUGAR DE MUESTREO	FÓSFORO TOTAL (mg L ⁻¹)	FÓSFORO REACTIVO (mg L ⁻¹)	AMONIO (mg L ⁻¹)	NITRATOS (mg L ⁻¹)	NITRITOS (mg L ⁻¹)	SULFATOS (mg L ⁻¹)	Relación NO ₃ ⁻ /P	Relación NO ₂ ⁻ /P
Laguna Sonso	2,44	0,59	0,40	0,06	0,004	6	0,102	0,007
Embalse Calima	2,75	0,90	0,00	0,03	0,000	7	0,033	0,000
Quebrada La Berreadora	0,85	0,06	0,07	0,09	0,004	1	1,500	0,067
Quebrada El Boleo	0,09	0,00	0,00	0,03	0,000	0	-	-
Río Calima	0,45	0,00	0,19	0,04	0,004	3	-	-

Tabla 1.12 Se indican los valores de concentración de los nutrientes analizados mediante el espectrofotómetro DR/2000 para las muestras de agua tomadas en los distintos puntos de muestreo. Se incluye además los valores de relación atómica N/P tanto para nitritos como para nitratos, teniendo en cuenta para el cálculo de esta relación el fósforo reactivo.

Los datos de nutrientes (Tabla 1.12) indican similitudes entre todos los sistemas acuáticos evaluados en cuanto a su estado trófico, exceptuando la quebrada El Boleo y el río Calima. En estos ríos la relación de nitrógeno/fósforo no se pudo calcular debido a la ausencia de ortofosfatos, lo que indicaría un estado ultraoligotrófico. Sin embargo, en todos los cuerpos de agua hay una eventual o real intervención antropica, dadas las elevadas concentraciones de fósforo total. Por su parte, las concentraciones bajas de nitritos indican en general sistemas estables, con adecuada oxigenación, al menos en las aguas superficiales analizadas (Tabla 1.12). Es probable que en las zonas profundas de los ambientes lénticos (Sonso y Calima), la baja cantidad de oxígeno favorezca la producción de fosfatos, amonio, metano y gas sulfúrico. A continuación se detallan estos resultados y se discuten algunas otras evidencias encontradas en los análisis de nutrientes.

En primer lugar, la baja relación nitrógeno fósforo para los sistemas lénticos (Tabla 1.12) parece concordar con lo reportado para otros lagos tropicales, como es el caso de la laguna Chingaza. En esta laguna se ha sugerido además que la baja concentración de nitrógeno es el principal limitante para la productividad primaria (Donato *et al.*,1996). Cabe anotar que el valor obtenido para esta relación puede estar influenciado por la dinámica contrastante que tiene el nitrógeno con respecto al fósforo. El primero es aportado al lago por procesos endógenos como la fijación biológica, la descomposición de la materia orgánica y las pérdidas por denitrificación, mientras que el fósforo proviene principalmente de los aportes de la cuenca debidos a la erosión, las cenizas ocasionadas por quemas en zonas aledañas y el lavado de suelos (Donato y Rodríguez, 1991; Donato *et al.*,1996). Sin embargo, se conoce que esta relación atómica nitrógeno/fósforo puede cambiar de acuerdo al momento del año y que las variaciones en la precipitación influyente de forma generalizada en los parámetros fisicoquímicos (Donato *et al.*,1996). En este caso, se presume que los valores medidos en octubre en los sistemas estudiados en el Valle del Cauca pueden estar relacionados con un periodo de disminución de lluvias, de manera similar a como ocurre en los lagos de alta montaña (Donato *et al.*,1996).

De otro lado, dadas las concentración de fósforo total obtenidas (Tabla 1.12), se podría decir que todos los sistemas evaluados se encontraban en un estado hipereutrófico, a excepción de la quebrada El Boleo, cuyo estado sería eutrófico. Cabe aclarar que esta categorización del estado trófico con base en el fósforo fue establecida para la zona templada por autores como Carlson y Simpson (1996), de manera que podría no ser aplicable a la región Neotropical. Además, la concentración de fósforo medida indicaría que los sistemas lénticos evaluados son turbios y tienen hipolimnios anaeróbicos. Ya que el fósforo es el elemento sobre el cual se hace esta clasificación, a continuación se profundiza en sus posibles dinámicas en los sistemas estudiados.

Los valores de ortofosfatos (que corresponden principalmente a formas inorgánicas del fósforo y que se presentan suspendidos o disueltos) reportados para el embalse de Chuza (Obregon, 2016), son similares a los obtenidos para la laguna de Sonso y son equivalentes a los del embalse Calima. Este hecho puede estar relacionado con similitudes en las dinámicas de este nutriente en este tipo de sistemas y con que hay fuentes externas al sistema que generan concentraciones altas de este parámetro, como lo son las quemas (Donato *et al.*, 1996).

Las concentraciones de ortofosfatos en los sistemas lóticos analizados en el presente trabajo se asemejan a lo reportado en otros estudios para sistemas naturales no intervenidos por el ser humano (Allan & Castillo, 2007). En el caso del Neotrópico, estos bajos valores serían menores a $0,004 \text{ mg L}^{-1}$ P reactivo, concentración que también resulta ser cercana a la encontrada aquí (Tabla 1.12). No obstante, estos datos han sido reportados para áreas con bosques extensivos sin disturbios, en las que subyace roca cristalina (Allan & Castillo, 2007). Cabe aclarar que estos valores son propios de sistemas no intervenidos, sin embargo ello no ocurre en el caso del fósforo total para el río Calima y la quebrada La Berreadora. Esto quiere decir que en estos en estos ríos la concentración de fósforo soluble disponible para la actividad de los organismos resulta ser normal pero existe una fuente de

fósforo adicional que bien puede ser adsorbida en complejos inorgánicos como las arcillas o el carbonato y que probablemente proviene de la actividad humana (Allan & Castillo, 2007).

En lo que alude a los resultados obtenidos para el ión amonio, se vió un patrón diferencial entre los dos sistemas lénticos estudiados. En el caso del embalse Calima este parámetro tuvo un menor valor (Tabla 1.12). Ello puede deberse a que en Sonso la degradación de la materia orgánica en condiciones anóxicas del fondo puede generar mayor concentración de dicho ión (Esteves, 1998)

Sobre la concentración de nitratos, los bajos valores encontrados (Tabla 1.12) se pueden relacionar con una buena oxigenación del agua. Esto ocurre por la oxidación del amonio y el nitrito en el epilimnion. Además, la distribución y la concentración de nitrato está fuertemente influenciada por la actividad nitrificante y desnitrificante de bacterias, en adición al efecto de oxigenación de la columna de agua (Esteves, 1998).

Los valores de nitratos y nitritos encontrados en los sistemas lóticos estudiados (Tabla 1.12) indican que la influencia antrópica sobre la concentración de estos compuestos ha sido reducida, pues las concentraciones medias fueron cercanas a las reportadas para sistemas naturales sin intervención humana: $\leq 0,1 \text{ mg L}^{-1}$ de NO_3 y $\leq 0,001$ de NO_2 (Allan J.D. y Castillo M., 2007). Sólomente en lagos contaminados la concentración de nitritos puede ser alta, por lo cual los sistemas acuáticos estudiados no parecen presentar este tipo de contaminación (Esteves, 1998), o al menos no es tan intensa.

Finalmente, las concentraciones altas de sulfatos se pueden asociar con óptimas condiciones de producción de los ecosistemas estudiados, ya que este ión constituye una de las principales fuentes de azufre para los productores primarios y por tanto se considera como un factor limitante en la producción primaria. Se estima que la microbiota presente en los sistemas estudiados daría lugar a procesos de oxidación del gas sulfhídrico, la cual es la principal ruta para la generación de estos iones (Esteves, 1998).

CONCLUSIONES

Parámetros como la dureza, la conductividad y la alcalinidad son buenos indicadores del estado de contaminación inorgánica de un cuerpo de agua. Una conductividad alta (mayor a $60 \mu\text{S/cm}$) se presentó en todos los lugares muestreados. La laguna de Sonso tuvo los valores más altos de dureza y de alcalinidad, reflejando una cantidad importante de sustancias inorgánicas en la columna de agua, seguida por la quebrada La Berreadora.

Los sólidos, tanto disueltos como en suspensión, son variables informativas de calidad del agua en un sistema. Los sólidos en suspensión fueron más altos en el río Calima y en la quebrada El Boleo. Esto concordó con que estos cuerpos de agua presentaron un menor nivel de oxígeno disuelto y una mayor temperatura en comparación con los otros ambientes estudiados. Dichos sólidos podrían ser abundantes por posibles eventos de erosión o mezcla, teniendo un impacto en las condiciones y procesos de los ecosistemas. En cuanto al pH, no se encontraron valores atípicos en ninguna muestra.

Todos los sistemas evaluados presentaron condiciones de hipereutrofia con respecto al fósforo total, excepto la quebrada El Boleo, cuyo estado fue eutrófico. Las altas concentraciones de fósforo total en estos ecosistemas pueden provenir de aportes de la cuenca por la escorrentía, la erosión y las quemadas. Sin embargo, el elemento limitante en los sistemas evaluados fue el nitrógeno, lo que a diferencia del fósforo, señala condiciones de oligotrofia. En el caso de los sistemas lénticos, ello se pudo deber al consumo biológico del nitrato y el nitrito por parte del fitoplancton en el epilimnion. Los bajos valores de nitritos registrados para todos los sitios de muestreo se pueden relacionar con condiciones de estabilidad ecológica en los sistemas acuáticos evaluados. Así mismo, la quebrada El Boleo resultó ser la menos intervenida en cuanto a vertimientos externos de fósforo y nitrógeno.

RECOMENDACIONES

Resultaría importante realizar análisis de contraste a diferentes momentos del día y a lo largo del año para definir la influencia de la precipitación pluvial, y así caracterizar temporal y estacionalmente los sistemas acuáticos estudiados con base en los parámetros fisicoquímicos evaluados.

REFERENCIAS

- ALLAN, D.J. & CASTILLO, M.M. (2007). *Stream Ecology. Structure and function of running waters*. 2a ed. Springer. ISBN 978-1-4020-5582-9 (PB)
- ALVARADO, J.J., & AGUILAR, J.F. (2009). Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 57, 19-29.
- ESTEVEZ, F.A. (1998). *Fundamentos de limnología*. 2a ed. Río de Janeiro: Interciencia.
- BARON, J.S., POFF, N.L., ANGERMEIER, P.L., DAHM, C.N., GLEICK, P.H., HAIRSTON, N.G., ... & STEINMAN, A. (2002). Meeting ecological and societal needs for freshwater. *Ecological Applications*, 12(5), 1247-1260.
- BOSCHI, E.E. (1988). El ecosistema estuarial del Río de la Plata. In *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México* (Vol. 15, pp. 159-182).
- CANCHALA, R.T. (2014). *Generación de gases de efecto invernadero en los sedimentos de un humedal natural eutrofizado. Influencia de nutrientes (N y P)* (Magister dissertation). Universidad del Valle.
- CATALÁN LAFUENTE, J. (1990). *Química del Agua*. Ed. Bellisco, Madrid.
- DAVIES-COLLEY, R.J., HICKEY, C.W., QUINN, J.M. & RYAN, P.A. (1992). Effects of clay discharges on streams: 1. Optical properties and epilithon. *Hydrobiologia*. 248, 215–234
- DONATO J.C., GONZÁLEZ, L.E. & RODRÍGUEZ, C.L. (1996). *Ecología de dos sistemas acuáticos de Páramo*. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Colección Jorge Álvarez Lleras. No 9. p 167

DONATO, J.C. & RODRÍGUEZ C.L. (1991). Caracterización Física y química del Embalse de Chuza (Parque Nacional Natural Chingaza). Bogotá D.C. Cuad. Divulg No 16

DRAGO, E.C. (2005). Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná. VI: Temperatura del agua. *Natura Neotropicalis*, 1(15), 79-92.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC & ASOCIACIÓN DE USUARIOS PARA LA PROTECCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LOS RÍOS YOTOCO Y MEDIACANOA – ASOYOTOCO. Plan de manejo ambiental integral del humedal laguna de Sonso. Santiago de Cali, 2007. 440 p.

[En línea] EPA. (2012, March). Channel Processes: Bedload Transport. In *Water: Science & Technology*. Retrieved from <http://water.epa.gov/scitech/datait/tools/warsss/bedload.cfm>

FRAGA, F. (1979). La profundidad de visión del disco de Secchi y su relación con las concentraciones de fitoplancton y arcilla. *Inves. Pesq.* 43(2), 519-528.

GRAY, J.R., GYLSSON, G.D., TURCIOS, L.M. & SCHWARZ, G.E. (2000, August). Comparability of Suspended-Sediment Concentration and Total Suspended Solids Data. USGS Water-Resources Investigations Report 00-4191. Reston, VA: U S Geological Survey.

HACH. (2000). Manual de análisis de agua. 2a ed. Loveland, Colorado EEUU. pp. 133-138, 149-153, 204.

LANGLAND, M. & CRONIN, T. (Eds.). (2003). A Summary Report of Sediment Processes in Chesapeake Bay and Watershed. In *Water-Resources Investigations Report 03-4123*. New Cumberland, PA: U S Geological Survey. Retrieved from <http://pa.water.usgs.gov/reports/wrir03-4123.pdf>

LEÓN, B. & RÍOS-HERRERA, R. (2000). Estadios tempranos de peces del Pacífico colombiano (No. Doc. 20685)* CO-BAC, Bogotá.

LEÓN, J.A.C. (2005). Calidad de aguas para estudiantes de ciencias ambientales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

LLOYD, D.S., KOENINGS, J.P. & LAPERRIERE, J.D. (1987). Effects of turbidity in fresh waters of Alaska. *North Am. J. Fish. Manage.* 7, 18–33

[En línea] MDDNR. (n.d.). A Brief Explanation of the Data Available for Viewing. In *Eyes on the Bay – Welcome*. Retrieved from <http://mddnr.chesapeakebay.net/eyesonthebay/whatsitmean.cfm>

MONTOYA-M, Y. (2008). Variaciones nictemerales de algunas variables climáticas, físicas y químicas en una laguna somera en Guatapé (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 30(88), 83-96.

MURILLO, J.M. (2009). Turbidez y sólidos en suspensión de las aguas de escorrentía susceptibles de ser utilizadas en la recarga artificial del acuífero granular profundo subyacente a la ciudad de San Luis de Potosí (México). *Boletín Geológico y Minero*, 120(2), 169- 184 ISSN: 036 6-01 76.

OBREGON, C. (2016). Protocolo para la determinación de fosfato [en línea]. Revisado el 20 de noviembre de 2016 desde: <http://sigug.uniguajira.edu.co/sigug/pdf/PROTOCOLOS/GL-PL-24.%20PROTOCOLO%20FOSFATO.pdf>

PHAM, V., BIBI, Z. & LO, L. (2014) Comparing the pH Levels of Lakes and Streams. Alverno College Division of Natural Sciences, Mathematics & Technology.

PEÑA, E., CANTERA, J. & MUÑOZ, E. (2012). Evaluación de la contaminación en ecosistemas acuáticos: un estudio de caso en la laguna de Sonso, cuenca alta del río Cauca. Universidad del Valle, Cali.

POSADA G., JOSÉ A., ROLDÁN P., GABRIEL, & RAMÍREZ R., JOHN J. (2000). Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 48(1), 59-70. Retrieved November 27, 2016

RODIER, J. (1989) Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Omega, Barcelona.

ROLDÁN, G. (1992). Fundamentos de limnología neotropical, Colección Ciencia y Tecnología. Editorial Universidad de Antioquia, Medellín.

ROLDÁN, G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia: Propuesta para el uso del método BMWP Col. Universidad de Antioquia, Medellín.

ROSADO, J & CASTRO, F. (2011). Comportamiento de las variables fisicoquímicas en los diferentes recursos hídricos del departamento de la Guajira. Universidad de la Guajira, Riohacha.

RUIZ, E. (1982). Estudio general de suelos de la región nororiental del Departamento del Cauca. República de Colombia, Ministerio de Hacienda y Crédito Público, Instituto Geográfico " Agustín Codazzi", Subdirección Agrológica, Bogotá.

SAPAG CHAIN, N., SAPAG CHAIN, R., SANTAMARÍA VARGAS, M., SOBERANES CÉSPEDES, N., ORTIZ NÁJERA, A., FRAGOSO SÁNCHEZ, H. & QUEZADA DELGADO, R. (2000). Preparación y evaluación de proyectos (No. E14 129). Departamento Nacional de Planeación, Santafé de Bogotá, Colombia.

VALENZUELA MARÍN, T. (2004). Exploración de posibilidades para proponer un tren de tratamiento para remoción de dureza que logre la optimización técnica y económica del proceso (Tesis profesional). Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México.

WETZEL, R.G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). Academic Press, San Diego, CA.

CAPÍTULO 2

INVENTARIO BIOLÓGICO DE LAS COMUNIDADES PERIFÍTICAS EN CINCO ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DE LA ZONA ALTA DEL RÍO CAUCA, VALLE DEL CAUCA

Ivanna Hoyos.¹, Juan Manuel López², Jaime Manzano³ y Nathalia Moreno Niño⁴

¹Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, A.A. 14490 Bogotá, Colombia. ighoyosr@unal.edu.co; ²jcoumlopezco@unal.edu.co; ³jmanzanoa@unal.edu.co; ⁴nmorenon@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

El perifiton se define como un ensamble de algas pertenecientes al fitoplancton y al fitobentos que presentan asociaciones interactivas entre las especies que se ubican dentro de una misma área en particular, formando biofilms de dichos organismos sésiles sobre y alrededor de los diferentes sustratos (Flórez & Mondragón, 2016). En los sistemas acuáticos, esta comunidad ejerce un rol muy importante debido a la alta producción primaria que presenta, ya que soporta un gran rango de organismos, lo que la ubica en la base de la cadena trófica (Azim *et al.*, 2005). También tienen la capacidad de actuar como reductora y transformadora de nutrientes (Rodrigues *et al.*, 2000 citado en Cardona *et al.*, 2006).

Por otro lado, existe evidencia que indica que las comunidades, al igual que las poblaciones de las cuales están compuestas, son dinámicas y cambian continuamente a medida que las condiciones ambientales también lo hacen (Margalef, 1983; Cole, 1988). Esto ocurre gracias a la alta diversidad de organismos que la componen, los cuales presentan ciclos de vida relativamente simples y tiempos de generación cortos, lo que permite usarlos con bastante eficacia para desarrollar y probar modelos ecológicos (Smith & Smith 2001). Así mismo, la importancia de la comunidad perifítica en el ecosistema y la alta sensibilidad que presenta frente a cambios climáticos permite que mediante su uso se pueda determinar el estado trófico de un cuerpo de agua, especialmente en sistema lénticos (Roldán *et al.*, 2001; Dodds, 2006).

En inmediaciones de los municipios de Yotoco, Tuluá y Buga, en la zona alta del río Cauca, se presenta un valle interandino de suelos fértiles con una zona de varios cuerpos de agua lénticos y lóticos que se ha caracterizado por la baja calidad de sus aguas, debido a las industrias y los cultivos ubicados en su ribera (López, 2010). En esta zona no se han realizado suficientes estudios para la caracterización de las comunidades biológicas de los sistemas acuáticos, en especial sobre las comunidades más representativas, entre ellas el perifiton (López, 2010). A pesar de que hace aproximadamente cuarenta años comenzó el estudio de esta comunidad en el territorio colombiano, la situación en la región visitada no es diferente a la que ocurre en muchas otras zonas del país, ya que el estudio de ésta comunidad se encuentra en un estado preliminar por diferentes razones. Una es el hecho de

que la mayoría de los estudios realizados no son de acceso libre, sino que pertenecen a corporaciones privadas. Además, hay poco personal científico dedicado a su exploración y descripción y no existen campañas de monitoreo permanentes en nuestros sistemas acuáticos (Montoya & Aguirre, 2013). Por esta razón, los estudios públicos y de rigor científico relacionados con este tema son de gran importancia para el conocimiento biológico y ecológico de esta comunidad.

En este trabajo se realizó un estudio de línea base para evaluar el inventario biológico cuantitativo de las comunidades fitoperifíticas de dos sistemas lénticos y tres lóticos, ubicados en cercanías a la Reserva Yotoco, en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. Los resultados de abundancia en cada lugar muestreado se presentan en número de individuos de cada género por cm² y en porcentaje de abundancia.

MATERIALES Y MÉTODOS

El procesamiento de las muestras se realizó en 3 etapas: trabajo de campo (recolección de las muestras), trabajo de laboratorio (identificación y conteo de perifiton) y análisis de datos (estimación de diversidad y abundancia). Los muestreos se hicieron los días 15 y 16 de octubre de 2016.

Área de estudio

La recolección de las muestras se realizó en cinco ecosistemas diferentes: embalse Calima, laguna de Sonso, río Calima, quebrada La Berreadora y quebrada El Boleo, ubicados en la cuenca del río Cauca, Valle del Cauca, Colombia, cada uno con características ecológicas diferentes. La laguna de Sonso se ubica entre los municipios de Buga, Yotoco y Guacarí, en las coordenadas 3° 51' 43,2"N y 76° 20' 57,12"W, a una altitud de 934 msnm. Su temperatura media es de 23°C. Cuenta con una extensión de 2045 hs, de las cuales 745 son de zona lagunar y 1300 de zona amortiguadora, siendo el mayor ecosistema autóctono que existe en el valle aluvial del río Cauca. Su principal abastecedor es este mismo río (Gobernación de Valle del Cauca, 2016b; Google Earth, 2016). El embalse Calima se encuentra entre los municipios de Calima, Darién, Yotoco y Restrepo. Sus coordenadas son 3° 53' 30"N y 76° 29' 30"W y su altitud es de 1400-1500 msnm, con una temperatura media de 19°C (Gobernación de Valle del Cauca, 2016a; Google Earth, 2016). El río Calima es el principal abastecedor del embalse Calima, con una extensión aproximada de 16 km y un área de 137.402 hs. Se localiza en las coordenadas 3° 56' 37,0"N y 76° 27' 38,8"W (Peregrino, 1958; Google Earth, 2016). La quebrada La Berreadora se halla en las coordenadas 3° 57' 51,8"N y 76° 26' 55"W y la quebrada El Boleo en las coordenadas 3° 57' 30,9"N y 76° 27' 49"W.

Trabajo de campo

Se utilizaron dos métodos diferentes de colecta. El primero consistió en un raspado sobre hojas (laguna de Sonso) y piedras (demás zonas) con la ayuda de un cepillo. El segundo se realizó mediante un estrujado de raíces de macrófitas flotantes (únicamente en la laguna de Sonso). En cada caso se adicionó agua destilada gradualmente para evitar la pérdida de material. Se tuvo en cuenta el área foliar o el área de la roca respectivamente para obtener la abundancia por cm². Las muestras se

fijaron con solución Transeau en proporción 1:1 con respecto al agua destilada adicionada y se transportaron en bolsas resellables para ser procesadas en el laboratorio.

Trabajo de laboratorio

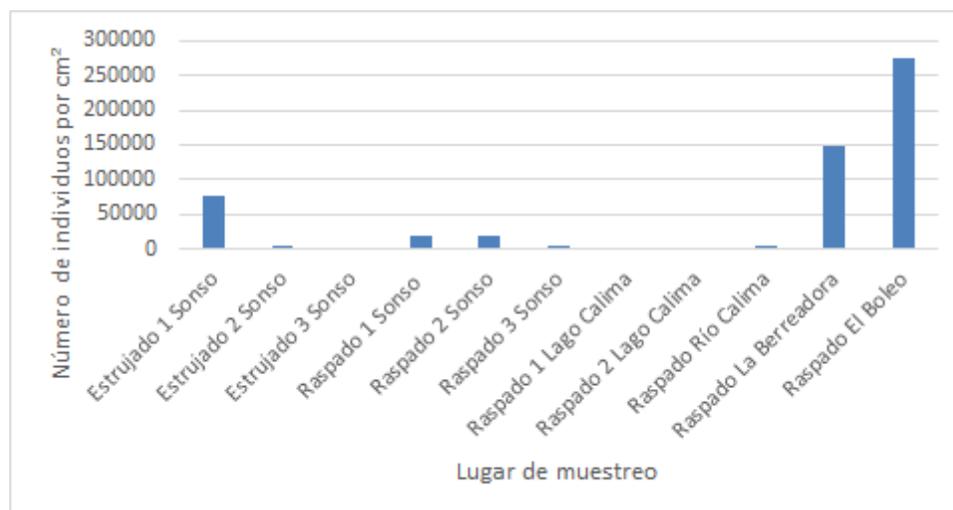
El procesamiento de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecología del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, con el objetivo de realizar la caracterización algal. Cuando fue necesario, las muestras se diluyeron con agua destilada debido al exceso de sedimentos o a la alta densidad algal. Se colocaron alícuotas en cámaras de sedimentación y se observaron en microscopios invertidos Olympus CK- 2 y Carl Zeiss June. Para la identificación se utilizaron libros de microorganismos de agua dulce como los de Streble & Krauter (1987) y Whitford & Schumacher (1969). Se contaron los organismos de cada muestra hasta llegar a 200 individuos del taxón más abundante. En la mayoría de los casos se empleó un aumento 40x. Se tuvieron en cuenta los campos visuales observados, el volumen agregado a la cámara y el factor de dilución en cada muestra con el fin de estimar el número de organismos por área.

Análisis de datos

Se recopilaron los datos de los conteos, se determinaron los géneros de los taxones, la abundancia de cada género, el número de campos observados, el factor de dilución, el volumen total de la solución Transeau en la que se colectaron las algas y el área total raspada en cada muestra. Se determinó en cada zona la abundancia de organismos por cm^2 , su diversidad en cuanto a géneros y clases y los organismos más representativos a nivel de género. El análisis la matriz de datos (Anexo 2.1) permitió elaborar gráficas de abundancia y diversidad, además de una tabla en la que se recopilaron los porcentajes de los géneros más representativos para cada lugar de muestreo.

RESULTADOS

En la gráfica 2.1 se muestra los datos totales de las abundancias algales por cm^2 en cada lugar de muestreo. Se ve claramente que la mayor abundancia se presentó en las quebradas.



Gráfica 2.1. Abundancia total de algas por cada punto de muestreo.

En la gráfica 2.2 se consigna la riqueza de géneros en cada sitio visitado. Los raspados tuvieron en general más riqueza. Solo el estrujado 1 de la laguna del Sonso superó los 15 taxones a nivel de género. Por otro lado, los muestreos menos ricos en géneros correspondieron a la quebrada El Boleo y al estrujado 3 de la laguna de Sonso.



Gráfica 2.2. Diversidad de géneros por cada punto de muestreo.

Los resultados de la gráfica 2.1 presentan grandes diferencias en las abundancias de los sitios. Tales diferencias pudieron deberse a errores metodológicos en los conteos o a variaciones en los procedimientos de cuantificación que probablemente no fueron reportadas por parte de los diferentes grupos de trabajo que tomaron los datos. Por estas razones, se transformaron los datos a porcentaje y se seleccionaron los géneros más representativos de cada lugar, como se observa en la tabla 2. De esta manera se corrige y se facilita la interpretación de los datos de abundancia.

Sitio de muestreo	Género	Porcentaje (%)
Estrujado 1 Sonso	<i>Navicula</i>	14,36
	<i>Nostoc</i>	52,22
Estrujado 2 Sonso	<i>Eunotia</i>	20,91
	<i>Surirella</i>	30,91
Estrujado 3 Sonso	<i>Surirella</i>	25,4
	<i>Navicula</i>	55,56
Raspado 1 Sonso	<i>Anabaena</i>	13,36
	<i>Surirella</i>	43,1
Raspado 2 Sonso	<i>Oscillatoria</i>	13,52
	<i>Melosira</i>	13,66
	<i>Surirella</i>	10,66
	<i>Formidium</i>	12,91
Raspado 3 Sonso	<i>Surirella</i>	13,49

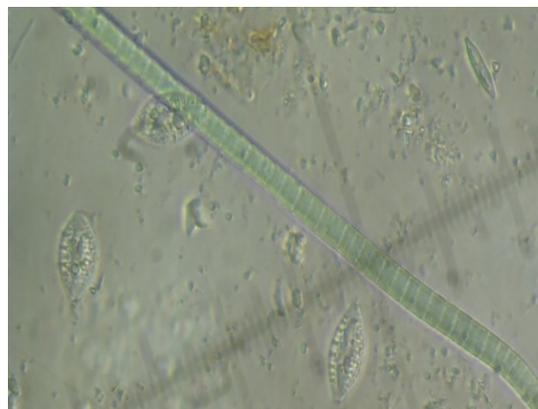
	<i>Fragilaria</i>	33,73
Raspado 1 embalse Calima	<i>Synedra</i>	13,33
	<i>Navicula</i>	47,62
Raspado 2 embalse Calima	<i>Nitzschia</i>	19,44
	<i>Navicula</i>	46,84
	<i>Synedra</i>	14,75
Raspado río Calima	<i>Gomphonema</i>	19,8
	<i>Navicula</i>	22,77
Raspado La Berreadora	<i>Frustulia</i>	49,02
	<i>Navicula</i>	10,29
Raspado El Boleo	<i>Navicula</i>	11,78
	<i>Cymbella</i>	54,79
	<i>Fragilaria</i>	13,42

Tabla 2.1. Géneros del fitoperifiton más representativos de cada lugar de muestreo en porcentaje de abundancia

La gráfica 2.3 contiene imágenes de algunos de los géneros de microalgas más representativos en el perifiton de los ecosistemas acuáticos muestreados.



A. *Rhopalodia* sp, Bacilariofícea



B. *Oscillatoria* sp (Cianofícea) y *Surirella* sp, Bacilariofícea



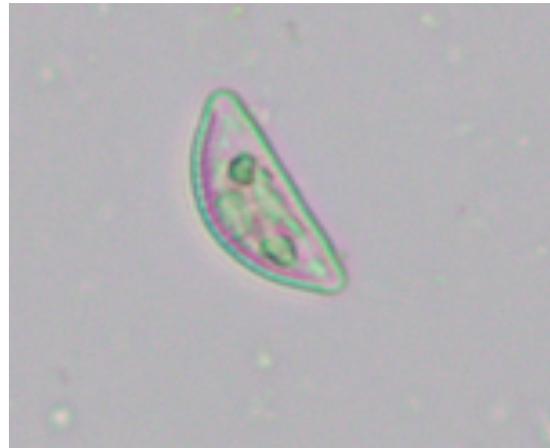
C. *Gomphonema* sp, Bacilariofícea



D. *Navicula* sp, Bacilariofícea



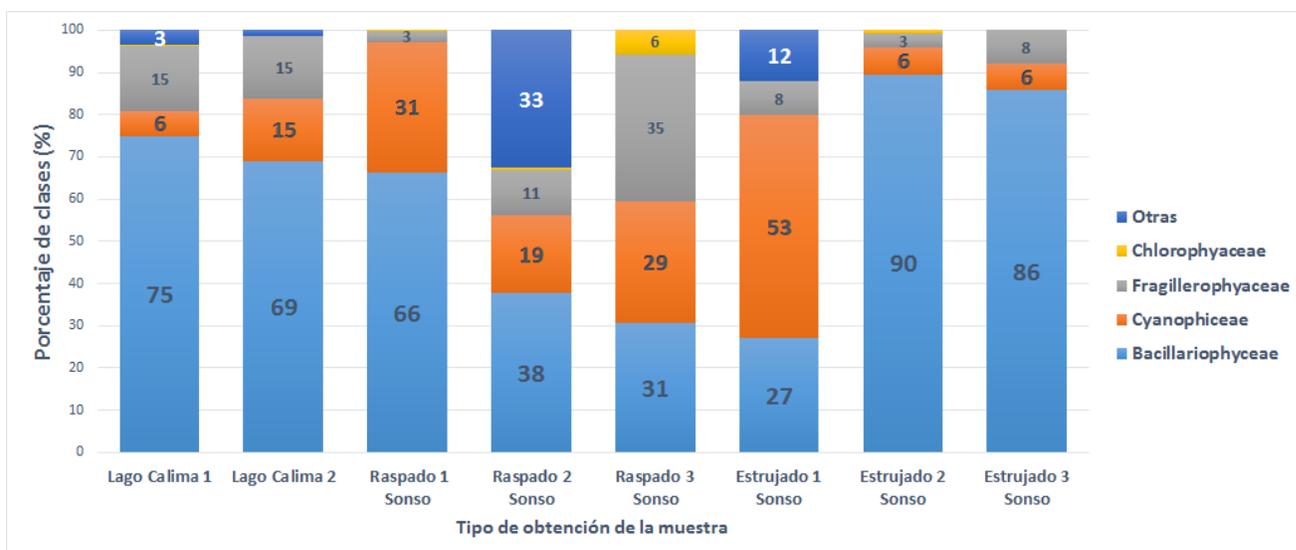
E. *Anabaena* sp, Cianofícea.



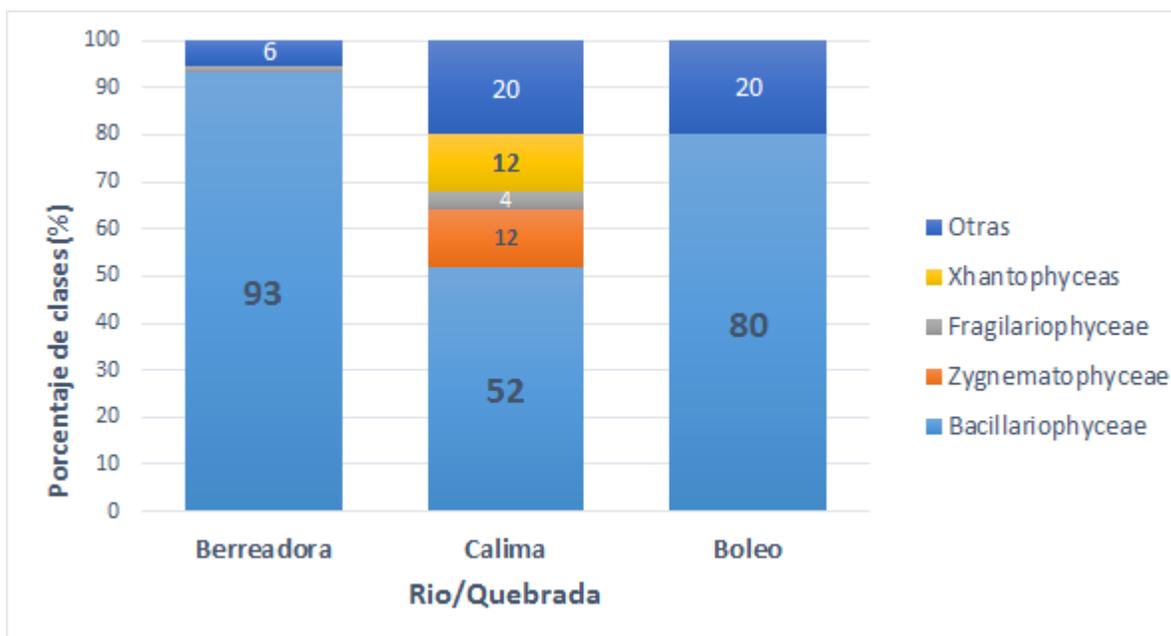
F. *Cymbella* sp, Bacilariofícea

Gráfica 2.3. Ejemplo de algunos géneros de fitoperifiton de los ecosistemas acuáticos visitados.

En la gráfica 2.4 se observa un predominio manifiesto de las bacilariofíceas y las fragilariofíceas (los dos grupos corresponden a diatomeas) en la mayoría de las muestras tomadas en los sistemas lénticos (Calima y Sonso). Además, se deben tener en cuenta los resultados de los estrujado 2 y 3 en la laguna del Sonso, en los que hubo una clara predominancia de bacilariofíceas, con porcentajes por encima del 80%. Por el contrario, los raspados en esta laguna fueron mucho menos dominantes en diatomeas. Las cianofíceas ocuparon el segundo lugar en predominancia, en especial en la laguna de Sonso.



Gráfica 2.4. Porcentaje de clases obtenidas en los dos ecosistemas lénticos evaluados.



Gráfica 2.5. Porcentaje de clases obtenida en los 3 ecosistemas lóticos.

Para los sistemas lóticos (gráfica 2.5) se observa un dominio casi absoluto de bacilariofíceas en las quebradas y una predominancia de las mismas (mayor al 50%) en el río Calima. Sin embargo, el contraste entre el río Calima y las dos quebradas y está dado por la presencia en este río de zignematofíceas y xantofíceas.

DISCUSIÓN

Se conoce que la comunidad perifítica es muy sensible a cualquier cambio espacial o temporal, los cuales provocan variaciones en la composición, biomasa y productividad de las algas (Cardona *et al.*, 2006). Por esta razón, se espera que existan diferencias entre los sistemas hidrológicos muestreados, e incluso entre las distintas zonas de un mismo sistema, debido a las variaciones ecológicas, ambientales y fisicoquímicas que presenta cada lugar. De acuerdo con los resultados obtenidos, estas fluctuaciones se evidenciaron en los cinco sitios muestreados.

En la gráfica 1.1 se observa que los dos lugares que presentaron mayor abundancia de algas fueron las dos quebradas, lo que puede deberse a que ambas tuvieron poca profundidad y aguas transparentes. Al haber más luz que llegue a los sustratos, las algas se verán beneficiadas por los procesos fotosintéticos y podrán tener abundancias altas. Además, la profundidad de la quebrada El Boleo fue la menor de todas y era la más cristalina, razones que explican el que haya presentado la mayor cantidad de algas por cm².

En la tabla 1.1 se recopilan los géneros más representativos de cada lugar. Se observa que en la laguna de Sonso los géneros más abundantes en los estrujados fueron *Navicula* (gráfica 2.3-D) y *Surirella* (gráfica 2.3-B), mientras que en los raspados solo predominó *Surirella*. En cuanto a los raspados del embalse Calima, predominaron *Synedra* y *Navicula*. En los raspados del río Calima *Navicula* y *Gomphonema* (gráfica 2.3-C) fueron las más importantes. Por su parte, en las dos quebradas *Navicula* dejó de ser el género más abundante pasando al segundo o el tercer lugar. En la quebrada La Berreadora, *Frustulia* fue el taxón más dominante y en la quebrada El Boleo *Cymbella* (gráfica 2.3-F) fue el género más representativo.

Según Peña *et al.* (2005), en Colombia la presencia de *Navicula* sp. en sistemas lóticos indica un estado de mesotrofia. Además, es un alga resistente a pesticidas. También se ha reportado que una especie de este género presenta una relación negativa con el aumento de los nutrientes (Morales *et al.*, 2010). Siguiendo con lo indicado por Peña *et al.* (2005), *Surirella* señala oligotrofia y baja conductividad, mientras que *Synedra* muestra mesotrofia en los ambientes lóticos, aunque no se tienen datos para los ambientes lénticos. *Gomphonema* indica eutrofia (Peña *et al.*, 2005), *Frustulia* se ha encontrado en sistemas lóticos poco diversos y estables (Morales & Salazar, 2012) y algunas especies de *Cymbella* se han reportado en aguas litorales y en proceso de sucesión (Pinilla, 1998).

Según lo anterior, la laguna del Sonso parece ser un ambiente mesotrófico, a pesar de que el lugar presentaba bastante sedimentación y aguas muy turbias, posiblemente por la gran abundancia de fitoplancton. Además, gran parte de la laguna está cubierta por macrófitas flotantes, lo que hace pensar que es un ambiente eutrofizado. El embalse Calima parece ser un sistema mesotrófico, pero esto debe apoyarse por otros métodos limnológicos, en especial porque es un lago artificial. El río Calima parece tener características eutróficas debido a la dominancia de *Gombophoena*. La Berreadora es una quebrada bastante estable, mientras que El Boleo podría estar disturbada. Sin embargo, estos resultados no concuerdan con los diferentes datos encontrados en la literatura sobre

estos sistemas hídricos (López, 2010). Probablemente existen errores en la identificación de los taxones debido a la dificultad que presenta este proceso. Por esta razón es importante complementar y contrastar este tipo de estudios con análisis de los parámetros físico-químicos y de otros factores bióticos. La abundancia y diversidad de macroinvertebrados acuáticos podría ayudar a definir y tener certeza del estado ecológico de los sistemas visitados. Cuando los análisis de las muestras perifíticas son adecuados, los resultados suelen presentar alta sensibilidad y certeza, por lo que las algas pueden usarse como indicadores directos del estado ecológico.

En relación con la diversidad de clases de algas en los sistemas lénticos (gráfica 2.4), se observó que las diatomeas dominaron las muestras de estrujado de la laguna de Sonso. Esto sugiere una fuerte relación de las bacilariofíceas (en especial las diatomeas de las gráficas 2.3-A y D) con las raíces de las macrófitas, similar a lo encontrado en otros trabajos como el de Montoya & Aguirre (2008). La excepción fue la muestra 1, en la que fueron más abundantes las cianofíceas (gráfica 2.3-E) (*Nostoc*, Tabla 1.1). Esta algas también forman asociaciones con las raíces de las macrófitas por su capacidad de fijar nitrógeno. Las diferencias en estas muestras pueden deberse a distintas condiciones en las zonas en que se tomaron. La muestra 1 se obtuvo en la zona más cercana a la orilla de la laguna, una zona muy densa en macrófitas, de manera que las fluctuaciones del oleaje podrían arrastrar a las diatomeas fuera de las raíces. En contrastaste, el oleaje en las zonas 2 y 3, más alejadas de la orilla y con menor densidad de macrofitas, permitiría una mayor presencia de bacilariofíceas en las raíces de las plantas. En las muestras de raspado de hojas de macrófitas de esta laguna no se vio un predominio claro de ninguna de las clases de algas, lo que también se podría relacionar con las condiciones ambientales de los sitios muestreados.

Por otro lado, en las dos muestras de raspado de rocas del embalse Calima (gráfica 2.4), el cual es un sistema artificial que presenta fuertes corrientes debido al viento, se encontró la prevalencia de diatomeas (gráfica 2.3-A). Así mismo, en las quebradas El Boleo y La Berreadora (gráfica 2.5), las cuales presentan velocidades del agua rápida a moderada, las diatomeas tuvieron una ventaja muy marcada frente a otras clases algales. Esto obedece a su tamaño y a sus estructuras de fijación especializadas, que les permiten enfrentar los cambios en la velocidad de la corriente y de la fluctuación constante del caudal, lo que hace que presenten cierta preferencia por zonas con velocidades de corrientes moderadas a altas (Montoya & Aguirre, 2013). En el río Calima hubo una distribución más homogénea de las diferentes clases algales del perifiton de las rocas. En este sistema predominó una corriente fuerte, lo que implicaría un constante lavado de las superficies, provocando una baja adhesión de las diferentes clases algales al sustrato. Esto parece explicar la mayor diversidad de clases en este sistema.

Debido a la sensibilidad de las algas ante los diferentes cambios de su entorno, la diversidad varía en respuesta a factores como la velocidad de la corriente, la exposición al viento, la ubicación geográfica (que genera variaciones en la temperatura y en la humedad ambiental), la superficie sobre la que crece el perifiton y las asociaciones que presentan, entre otros condicionantes. Uno de los factores más influyente en la diversidad algal es la velocidad de la corriente, que se relaciona con el flujo de nutrientes y con las diferentes adaptaciones que presentan los organismos. Los diferentes tipos de

sustratos tuvieron clases de algas representativas, relacionadas con sus distintas adaptaciones. En las muestras de raspados de rocas y de estrujado de raíces, las algas más abundantes fueron las bacilariofíceas, debido a que presentan una cubierta de sílice que les dificulta flotar y que las hace sedimentarse. Por ello, solo se movilizan gracias a la turbulencia del agua, que les permite ubicarse sobre rocas o macrófitas. En cambio, en las muestras de raspado de hojas no se encontró ninguna prevalencia marcada de determinadas clases algales.

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO Y APLICACIONES

La caracterización de las diversas comunidades biológicas en ecosistemas locales es una tarea de suma importancia en aras de conocer las condiciones actuales de los cuerpos de agua a nivel nacional. A pesar de ser una labor ardua debido a los problemas con respecto a la taxonomía, la evaluación de las comunidades perifíticas junto a la estimación de otro tipo de variables permitirá desarrollar estrategias tanto de conservación como de recuperación de ecosistemas vulnerables y vulnerados. La aplicación de este estudio radica en el acercamiento a la caracterización de las clases algales dominantes, con respecto a diversidad y abundancia en algunos ecosistemas ubicados en el Valle del Cauca, y su posterior uso como documento de línea base para futuros proyectos.

REFERENCIAS

AZIM, M E., VERDEGEM, M.C., VAN DAM, A.A. & BEVERIDGE, M.C. (Eds.). (2005). *Periphyton: ecology, exploitation and management*. CABI.

CARDONA, G.G., FLÓREZ, G R. & NAVARRO, F.V. (2006). Comunidad de invertebrados del perifiton del río Combeima (Tolima, Colombia). *Tumbaga*, 1(1), 43-54.

COLE, G.A. (1988). *Manual de Limnología*. Argentina: Hemisferio Sur. 498pp

DODDS, W.K. (2006) Eutrophication and trophic state in rivers and streams. *Limnology and Oceanography* 51(1, part 2):671–680

FLÓREZ, P. & MONDRAGÓN, C. (2016). Plancton, perifiton y macroinvertebrados acuáticos. In: *Humedales del valle geográfico del río Cauca: génesis, biodiversidad y conservación*, 1st ed. [online] Available at: https://issuu.com/natucreativa/docs/humedales_del_valle_geogr_fico_del [Accessed 29 Nov. 2016].

[En línea] GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA [a]. [Valledelcauca.gov.co](http://valledelcauca.gov.co). (2016). Calima - Darien. [online] Available at: <http://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones.php?id=31> [Accessed 30 Nov. 2016].

[En línea] GOBERNACIÓN DEL VALLE DEL CAUCA [b]. [Valledelcauca.gov.co](http://valledelcauca.gov.co). (2016). Yotoco. [online] Available at: <http://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones.php?id=22> [Accessed 30 Nov. 2016].

LÓPEZ, W. (2010). Limnología de los humedales de Andalucía. En: Infante Betancour, J. & Tiboche-García, A. (Ed.), Plan de manejo y monitoreo de los humedales del municipio de Andalucía, 1st ed. Fundación Yoluka, pp. 223-242.

MARGALEF, R. (1983). Limnología. Barcelona: Omega. 1118 pp.

MORALES-DUARTE, S. DONATO-RONDÓN, J. & CASTRO-REBOLLEDO, M. (2010). Respuesta de *Navicula rhynchocephala* (bacillariophyceae) al incremento de nutrientes en un arroyo andino (Colombia). Acta Biológica Colombiana, 15(2), 73-78.

MORALES, S. & SALAZAR, M. (2012). Diatomeas perifíticas de lagos con diferente estado trófico en el departamento del Cauca (Colombia). Luna Azul, (35), 10-27.

MONTOYA-MORENO, Y. & AGUIRRE-RAMÍREZ, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. Gestion y ambiente, 16(3), 91. <<http://www.bdigital.unal.edu.co/31076/1/30155-186772-1-PB.pdf>>

MONTOYA-MORENO, Y. & AGUIRRE-RAMÍREZ, N. (2008). Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana. Hidrobiológica, 18(3), 189-197.

PEÑA, E.J., DÍAZ, M. & OSPINA, N. (2005). Algas como indicadores de contaminación. Cali, Colombia: Programa Editorial Universidad del Valle.

PINILLA, A. G. A. (1998). Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: Compilación bibliográfica. Santafé de Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones Científicas.

SMITH RL, SMITH TM. (2001). Ecología. Madrid. España: Pearson educación. 664 pp
[En línea] OSSA V., P. (1958). http://www.sogeocol.edu.co/documentos/059_apunt_geogr.pdf. 1st ed. [ebook] Bogotá: Sociedad Geográfica de Colombia. Available at: http://www.sogeocol.edu.co/documentos/059_apunt_geogr.pdf [Accessed 30 Nov. 2016].

STREBLE, H. & KRAUTER, D. (1987). Atlas de los microorganismos de agua dulce: La vida en una gota de agua. Omega.

ROLDÁN, G., POSADA, J.A. & GUTIÉRREZ, J.C. (2001). Estudio Limnológico de los recursos hídricos del parque de Piedras Blancas. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: Colección Jorge Álvarez Lleras, No. 18. Bogotá: Editora Guadalupe. pp. 23, 55-61.

WHITFORD, L.A. & SCHUMACHER, G.J. (1969). Manual of the fresh-water algae in North Carolina.

ANEXO CAPÍTULO 2

Anexo 2.1. Aundancias de algas perifíticas de las diferentes zonas muestreadas.

Laguna de Sonso	Clase	Género	# Individuos	# Individuos/cm ²
Raspado 3 Sonso	Bacillariophyceae	<i>Pinnularia</i>	8	56,28
		<i>Gyrosigma</i> (o <i>Pleurosigma</i>)	17	119,59
		<i>Navicula</i>	26	182,91
		<i>Surirella</i>	80	562,79
		<i>Rhopalodia</i>	3	21,10
		<i>Cymbella</i>	4	28,14
		<i>Aulacoseira</i>	2	14,07
		<i>Nitzschia</i>	26	182,91
		<i>Fragilaria</i>	200	1406,99
		<i>Synedra</i>	6	42,21
	<i>Cyclotella</i>	16	112,56	
	Cyanophyceae	<i>Anabaena</i>	34	239,19
		<i>Nostoc</i>	71	499,48
<i>Phormidium</i>		66	464,31	
Chlorophyceae	<i>Microspora</i>	34	239,19	
Estrujado 3 Sonso	Bacillariophyceae	<i>Surirella</i>	16	117,19
		<i>Rhopalodia</i>	3	21,97
		<i>Navicula</i>	35	256,36
		<i>Synedra</i>	5	36,62
	Cyanophyceae	<i>Anabaena</i>	2	14,65
		<i>Nostoc</i>	2	14,65
Raspado 1 Sonso	Cyanophyceae	<i>Nostoc</i>	74	3036,13
		<i>Microcystis</i>	1	41,03
		<i>Phormidium</i>	7	287,20
		<i>Anabaena</i>	62	2543,78
	Bacillariophyceae	<i>Navicula</i>	40	1641,15
		<i>Eunotia</i>	38	1559,09
		<i>Pinnularia</i>	10	410,29
		<i>Rhopalodia</i>	3	123,09
		<i>Surilella</i>	200	8205,75
		<i>Cyclotella</i>	10	410,29
<i>Cymbella</i>	3	123,09		

		<i>Nitzschia</i>	4	164,12
		<i>Synedra</i>	12	492,35
Estrujado 2 Sonso	Cyanophyceae	<i>Nostoc</i>	6	132,27
		<i>Anabaena</i>	6	132,27
		<i>Phormidium</i>	2	44,09
	Bacillariophyceae	<i>Navicula</i>	72	1587,20
		<i>Rhopalodia</i>	5	110,22
		<i>Surillela</i>	68	1499,02
		<i>Cyclotella</i>	4	88,18
		<i>Cymbella</i>	2	44,09
		<i>Eunotia</i>	46	1014,04
		<i>Synedra</i>	7	154,31
Chlorophyceae	<i>Hematococcus lacustris</i>	2	44,09	
Estrujado 1 Sonso	Bacillariophyceae	<i>Eunotia</i>	3	601,80
		<i>Surirella</i>	21	4212,59
		<i>Cynedra</i>	28	5616,79
		<i>Navicula</i>	55	11032,98
		<i>Melosira</i>	9	1805,40
		<i>Rhopalodia</i>	3	601,80
		<i>Ciclotella</i>	17	3410,19
		<i>Fragilaria</i>	3	601,80
		<i>Cymbella</i>	2	401,20
		<i>Pinnularia</i>	3	601,80
	Cyanophyceae	<i>Phormidium</i>	2	401,20
		<i>Oscillatoria</i>	9	1805,40
		<i>Nostoc</i>	200	40119,93
		<i>Arthrospira</i>	2	401,20
		<i>Microcystis</i>	8	1604,80
	nn	13	2607,80	
Raspado 2 Sonso	Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i>	198	2619,40
		<i>Anabaena</i>	82	1084,80
		<i>Phormidium</i>	189	2500,34
	Bacillariophyceae	<i>Melosira</i>	200	2645,86
		<i>Fragilaria</i>	112	1481,68
		<i>Surirella</i>	156	2063,77

		<i>Eunotia</i>	119	1574,29
		<i>Navicula</i>	178	2354,82
		<i>Rhopalodia</i>	4	52,92
		<i>Diatoma</i>	4	52,92
		<i>Nitzchia</i>	11	145,52
		<i>Pinnularia</i>	22	291,04
		<i>Cymbella</i>	3	39,69
		<i>Amphora</i>	19	251,36
		<i>Synedra</i>	45	595,32
		<i>Ciclotella</i>	60	793,76
	Chlorophyceae	<i>Oedogonium</i>	52	687,92

Quebrada La Berreadora	Clase	Género	# Individuos (34 campos)	# individuos/cm ²
Raspado	Bacillariophyceae	<i>Nitzschia</i>	14	10166,42
		<i>Frustulia</i>	100	72617,26
		<i>Navicula</i>	21	15249,62
		<i>Pleurosigma</i>	7	5083,21
		<i>Pinnularia</i>	15	10892,59
		<i>Melosira</i>	2	1452,35
		<i>Fragilaria</i>	4	2904,69
		<i>Cymbella</i>	2	1452,35
	Chlorophyceae	<i>Micractinium</i>	4	2904,69
		<i>Coelastrum</i>	6	4357,04
	Trebouxiophyceae	<i>Chodatella</i>	0	0,00
	Ulvophyceae	<i>Ulothrix</i>	1	726,17
	Zygnematophyceae	<i>Cosmarium</i>	1	726,17
		<i>Straurastrum</i>	1	726,17
		nn	14	10166,42
	nn	9	6535,55	

Lago Calima	Clase	Género	# Individuos	# Ind/cm ²
Raspado 1 (163 campos)	Bacillariophyceae	<i>Synedra</i>	56	81,59
		<i>Fragilaria</i>	8	11,66
		<i>Achnanthes</i>	9	13,11
		<i>Nitzschia</i>	32	46,62
		<i>Navicula</i>	200	291,39
		<i>Amphipleura</i>	4	5,83
		<i>Pinnularia</i>	52	75,76
		<i>Gyrosigma</i>	1	1,46
		<i>Stauroneis</i>	15	21,85
		<i>Surirella</i>	1	1,46
		<i>Anomoeoneis</i>	1	1,46
	<i>Melosira</i>	6	8,74	
	Cyanophyceae	<i>Oscillatoria</i>	25	36,42
	Chlorophyceae	<i>Oedogonium</i>	1	1,46
		<i>Asterococcus</i>	1	1,46
Xanthophyceae	<i>Tribonema</i>	5	7,28	
Chrysophyceae	<i>Dinobryon</i>	1	1,46	
Conjugatophyceae	<i>Mougeotia</i>	2	2,91	
Raspado 2 (127 campos)	Bacillariophyceae	<i>Nitzschia</i>	83	137,27
		<i>Navicula</i>	200	330,77
		<i>Pinnularia</i>	2	3,31
		<i>Gyrosigma</i>	1	1,65
		<i>Cymbella</i>	7	11,58
		<i>Surirella</i>	1	1,65
		<i>Amphora</i>	1	1,65
		<i>Synedra</i>	63	104,19
	Dinophyceae	<i>Glenodinium</i>	1	1,65
	Cyanophyceae	<i>Borzia</i>	38	62,85
		<i>Oscillatoria</i>	24	39,69
		<i>Phormidium</i>	1	1,65
	Conjugatophyceae	<i>Mougeotia</i>	2	3,31
	Zygnematophyceae	<i>Euastrum</i>	1	1,65
	Ulvophyceae	<i>Ulothrix</i>	1	1,65
	Chlorophyceae	<i>Oedogonium</i>	1	1,65

Quebrada El Boleo	Clase	Género	# individuos	# individuos/cm ²
Raspado	Bacillariophyceae	<i>Synedra</i>	18	13488,99
		<i>Navicula</i>	43	32223,69
		<i>Pleurosigma</i>	33	24729,81
		<i>Neidium</i>	6	4496,33
		<i>Cymbella</i>	200	149877,64
		<i>Coconeis</i>	1	749,39
		<i>Fragilaria</i>	49	36720,02
	Chlorophyceae	<i>Oedogonium</i>	15	11240,82

CAPÍTULO 3

CARACTERIZACIÓN DE LOS MACROINVERTEBRADOS DE ALGUNOS CUERPOS DE AGUA DEL DEPARTAMENTO DEL VALLE

Miguel David Barrios Amaya¹; Michel Guiovanly Cuesta Baraja²; Catalina Garzón Ladino³; Javier Alejandro Salas Gordillo⁴

¹Departamento de Biología, Facultad de ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá D.C., Colombia. mbarriosa@unal.edu.co; ²migcuestaba@unal.edu.co; ³cgarzonl@unal.edu.co; ⁴jasalasg@unal.edu.co.

INTRODUCCIÓN

Los macroinvertebrados acuáticos, al igual que las comunidades planctónicas, están entre los primeros eslabones de las cadenas tróficas. Recientemente se ha destacado la cualidad de estos organismos para establecer las condiciones ecológicas cambiantes o estables del recurso hídrico, y su relación con parámetros fisicoquímicos para determinar la calidad del agua (Sánchez, 2005; Roldán, 1999). Esto los hace importantes en la tarea de lograr un adecuado control y conservación de los ecosistemas acuáticos continentales (Giacometti & Bersossa, 2006). En cuerpos de agua contaminados se espera encontrar una pobre composición y estructura de las comunidades de macroinvertebrados y plancton (Infante-Betancour *et al.*, 2010), de manera que aquellos taxones que sobrevivan podrán adaptarse a las condiciones adversas. No todos los organismos acuáticos se pueden utilizar como bioindicadores, ya que las adaptaciones evolutivas a diferentes condiciones ambientales y los límites de tolerancia a una determinada alteración, son propios de ciertos grupos que pueden considerarse como grupos sensibles (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera). Estos individuos no soportar variaciones en la calidad del agua, mientras que otros que son tolerantes (Chironomidae, Oligoquetos) son característicos de agua contaminada por materia orgánica (Roldán, 1999).

El complejo de humedales del alto Río Cauca es una de las regiones del país que presenta los más altos índices de deterioro ambiental en sus cuerpos de agua, debido al contexto de desarrollo urbano, agrícola e industrial en que se encuentra (Baena, 2009; Infante-Betancour *et al.*, 2010). A pesar de esto, los estudios publicados que se relacionen con las características de las comunidades hidrobiológicas son escasos en la región (Flórez & Mondragón, 2009). Es por esto que es necesario profundizar en su conocimiento, siendo las salidas de campo de las universidades aportes significativos para evaluar la composición y algunas variaciones espaciales de la biota acuática, a pesar de no ser publicados en revistas indexadas.

La idea principal de este capítulo es proporcionar datos generales sobre la composición de los macroinvertebrados en dos cuerpos de agua lénticos (laguna de Sonso y embalse Calima) y en tres ecosistemas lóticos (ríos Calima, La Berreadora y El Boleo) de la cuenca alta del río Cauca. Esto se elaboró a partir de muestreos realizados en octubre de 2016 (octubre corresponde a una época seca, ASOYOTOCO, 2007). Igualmente, se quisieron emplear las familias encontradas para calcular el índice BMWP/Col (Roldán, 2003), el cual permite acercarse a la determinación de la calidad del agua.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de muestreo

Se tomaron muestras de dos ecosistemas lénticos y tres lóticos localizados en el Suroccidente de Colombia, en el valle geográfico del río Cauca, entre las cordilleras Occidental y Central del departamento del Valle del Cauca. Se consideraron la laguna de Sonso y el embalse Calima, así como el río Calima y dos quebradas dentro de su cuenca. Las coordenadas geográficas de los sitios de muestreo se pueden consultar en la Tabla 1 de la Introducción General (página 5).

Muestreo

Los muestreos se hicieron los días 15 y 16 de octubre de 2016. Para la laguna de Sonso se tomaron muestras de macroinvertebrados asociados a las raíces de las micrófitas flotantes del litoral en tres puntos diferentes con el uso de una red Thieneman. En el caso del embalse Calima se tomaron tres muestras de los macroinvertebrados bentónicos con un corazonador y el sedimento obtenido se filtró en un tamiz de 400 μ . En los ecosistemas lóticos se utilizó una red Suber, la cual se colocó en tres puntos diferentes de cada sistema en contra de la corriente (3 tomas de 10 minutos por réplica). Las tres muestras de una misma réplica se depositaron en un mismo recipiente, en el que se fijaron con alcohol al 70 % y se guardaron en neveras de icopor hasta su traslado al laboratorio de Ecología, donde se realizó su posterior análisis.

Laboratorio y análisis de datos

Las muestras recolectadas se identificaron con ayuda de un estereoscopio electrónico hasta los niveles de Orden y Familia con base claves especializadas (Roldán, 1996). Con base en los datos obtenidos se calculó la abundancia relativa de cada Familia, el índice de calidad del agua BMWP-col (Roldan, 2003; Anexos 3.1 y 3.2) y los índices de dominancia y diversidad de Simpson, Shannon y Margalef.

RESULTADOS

En el muestreo con red Thieneman en la laguna Sonso se encontraron cuatro (4) órdenes de macroinvertebrados (Tabla 3.1), representados por una familia de odonatos (Libellulidae), una familia de hemípteros (Naucoridae), una familia de coleópteros sin identificar y cuatro (4) familias de gasteropodos (Hydobiidae, Physidae, Planorbidae y Ampullariidae). La familia Hydrobiidae fue la de mayor representación, con un 63,58% de abundancia relativa (Tabla 3.1).

Orden	Familia	N. Individuos	A. Relativa (%)	Puntaje BMWP/Col
Odonata	Libellulidae	9	4,89	10
Coleoptera	<i>Morfotipo 1</i>	1	0,54	-
Hemiptera	Naucoridae	2	1,08	7
Gasteropoda	Hydrobiidae	117	63,58	3
	Physidae	19	10,32	3
	Planorbidae	4	2,17	-
	Ampullariidae	32	17,39	-
BMWP / Col.				23 Clase IV

Tabla 3.1. Composición de macroinvertebrados encontrados en la laguna de Sonso, mediante red Thienneman.

Orden:	Familia	N. Individuos	A. Relativa (%)	Puntaje BMWP/Col
Decapoda	<i>Morfotipo 2</i>	3	37,5	-
Odonata	Coenagrionidae	1	12,5	7
Mesogastropoda	Thiaridae	4	50,0	5
BMWP / Col.				12 Clase V

Tabla 3.2. Composición de macroinvertebrados encontrados en el embalse Calima.

En el embalse Calima se registraron tres órdenes de macroinvertebrados por medio de muestreos con corazonador (Tabla 2.2). Se halló una familia de odonatos (Coenagrionidae), una familia de decápodos sin identificar, y una familia de mesogastropodos (Thiaridae), siendo esta última la de mayor abundancia relativa (50,0%) (Tabla 3.2).

En cuanto a los sistemas lóticos, se registraron siete órdenes de macroinvertebrados en el río Calima por medio de muestreos con la red Suber (Tabla 3.3). Se determinaron dos familias de dípteros (Tipulidae y Chironomidae), tres familias de efemerópteros (Baetidae, Leptophlebiidae y Oligoneuriidae), una familia de hemípteros (Naucoridae), una familia de Megaloptera sin identificar, tres familias de Odonata (Calopterygidae, Gomphidae y Libellulidae), una familia de Plecoptera (Perlidae), y dos familias de Trichoptera (Hydropsychidae y Glossosomatidae). La familia más importante fue Baetidae, con un 58,0% de abundancia relativa (Tabla 3.3).

Orden	Familia	N. Individuos	A. Relativa (%)	Puntaje BMWP/Col
Diptera	Tipulidae	1	0,9	3
	Chironomidae	2	1,8	2
Ephemeroptera	Baetidae	65	58,0	7
	Leptophlebiidae	10	8,9	9
	Oligoneuriidae	1	0,9	-
Hemiptera	Naucoridae	3	2,7	4
Megaloptera	<i>Morfotipo 3</i>	1	0,9	-
Odonata	Calopterygidae	18	16,1	4
	Gomphidae	3	2,7	10
	Libellulidae	3	2,7	6
Plecoptera	Perlidae	2	1,8	10
Trichoptera	Hydropsychidae	2	1,8	7
	Glossosomatidae	1	0,9	8
BMWP / Col.				70 Clase II

Tabla 3.3. Composición de macroinvertebrados encontrados en el río Calima.

Orden	Familia	N. Individuos	A. Relativa (%)	Puntaje BMWP/Col
Araneae	<i>Morfotipo 4</i>	2	1,7	-
Collembola	<i>Morfotipo 5</i>	1	0,8	-
Diptera	Chironomidae	2	1,7	2
	Simuliidae	28	23,3	8
Ephemeroptera	<i>Morfotipo 6</i>	2	1,7	-
	Baetidae	6	5,0	8
	Leptohyphidae	6	5,0	8
	Leptophlebiidae	5	4,2	8
	<i>Morfotipo 7</i>	11	9,2	-
Hemiptera	Gelastocoridae	2	1,7	-
	Gerridae	3	2,5	4
	Veliidae	9	7,5	8
Odonata	<i>Morfotipo 8</i>	2	1,7	-
Plecoptera	Perlidae	2	1,7	10

Trichoptera	Ecnomidae	1	0,8	-
	Glossosomatidae	2	1,7	8
	Hydropsychidae	30	25,0	5
	Leptoceridae	5	4,2	8
	Odontoceridae	1	0,8	10
BMWP / Col.				87 Clase II

Tabla 3.4. Composición de macroinvertebrados encontrados en la quebrada La Berreadora.

El muestreo con la red Suber en la quebrada La Berreadora permitió hallar ocho órdenes de macroinvertebrados (Tabla 3.4). Estos estuvieron representados por una familia de arañas sin identificar, una familia de colémbolos sin identificar, dos familias de dípteros (Chironomidae y Simuliidae), cinco familias de efemerópteros (Baetidae, Leptohyphidae, Leptophlebiidae y dos sin identificar), tres familias de hemípteros (Gelastocoridae, Gerridae y Veliidae), una familia de odonatos del suborden Zygoptera, una familia de plecópteros (Perlidae) y tres familias de tricópteros (Hydropsychidae, Ecnomidae y Glossosomatidae). Las familias Hydropsychidae y Simuliidae presentaron las mayores abundancias relativas, con el 25% y el 23,3% respectivamente (Tabla 3.4).

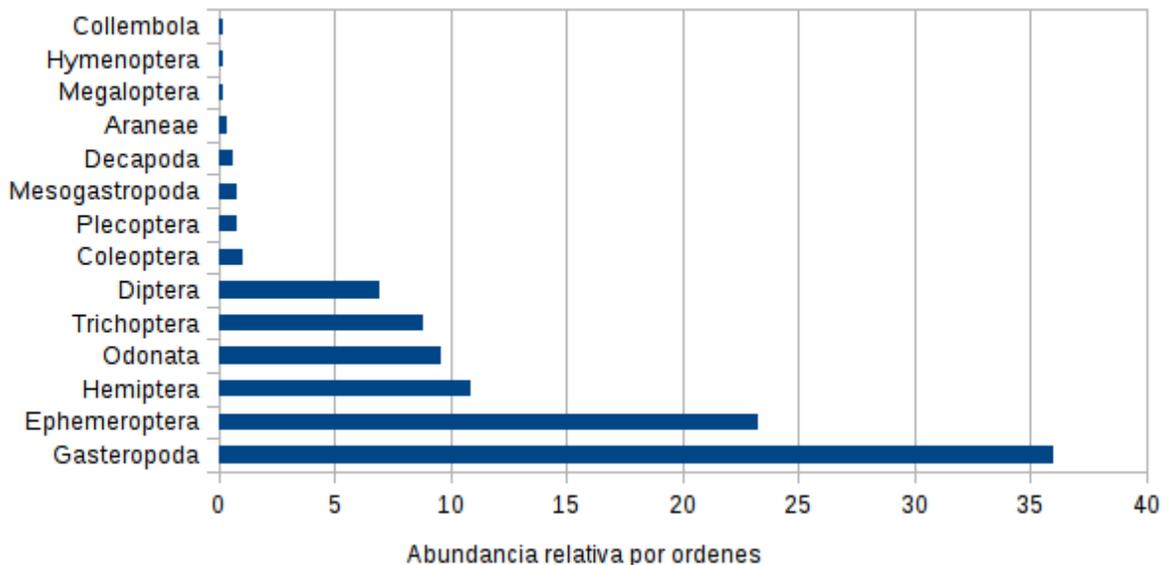
Orden	Familia	N. Individuos	A. Relativa (%)	Puntaje del BMWP/Col
Coleoptera	Elmidae	2	3,2	6
	Staphylinidae	1	1,6	6
	Morfotipo 9	1	1,6	-
Ephemeroptera	Leptohyphidae	5	8,1	7
Hemiptera	Veliidae	19	30,6	8
	Notonectidae	14	22,6	3
Hymenoptera	Formicidae	1	1,6	-
Odonata	Calopterygidae	10	16,1	8
Trichoptera	Hydropsychidae	9	14,5	7
BMWP / Col.				45 Clase III

Tabla 3.5. Composición de macroinvertebrados encontrados en la quebrada El Boleo.

Se encontraron seis órdenes de macroinvertebrados en la quebrada El Boleo mediante muestreos con la red Suber (Tabla 3.5). Se hallaron tres familias de coleópteros (Elmidae y Staphylinidae y una sin identificar), una familia de efemerópteros (Leptohyphidae), dos familias de hemípteros (Veliidae y Notonectidae), una familia de himenópteros (Formicidae), una familia de odonatos (Alopterygidae), y una familia de tricópteros (Hydropsychidae). Las familias de hemípteros Veliidae y Notonectidae fueron las más representativas, con un 30,6 y 22,6% de abundancia relativa, respectivamente.

En las Tablas 3.1 a 3.5 se incluyen los puntajes obtenidos con el BMWP. Los dos sistemas lénticos tuvieron calificaciones bajas, correspondientes a clases de mala calidad del agua. Los tres ambientes lóticos mostraron una mejor calidad, que fluctuó entre aceptable (río Calima, quebrada La Berreadora) y dudosa (quebrada El Boleo).

La Gráfica 3.1 resume la representatividad de los órdenes en todos los sitios muestreados. Los gasterópodos fueron los más abundantes, seguidos por los efemerópteros. Los hemípteros, odonatos, tricópteros y dípteros tuvieron también abundancias importantes.



Gráfica 3.1. Abundancia relativa por órdenes de los macroinvertebrados en algunos sistemas acuáticos de la región de Calima y Yotoco

Para el nivel de familia, la Gráfica 3.2 deja ver de manera comparativa las abundancias absolutas de los taxones hallados en todos los sitios visitados. Las familias Hydrobiidae (gasterópodo) en la laguna de Sonso, y Baetidae (efemeróptero) en el río Calima, fueron las más numerosas. Otras familias importantes fueron Ampullaridae (gasterópodo) en Sonso e Hydropsychidae (tricóptero) y Simuliidae (díptero) en la quebrada La Berreadora.

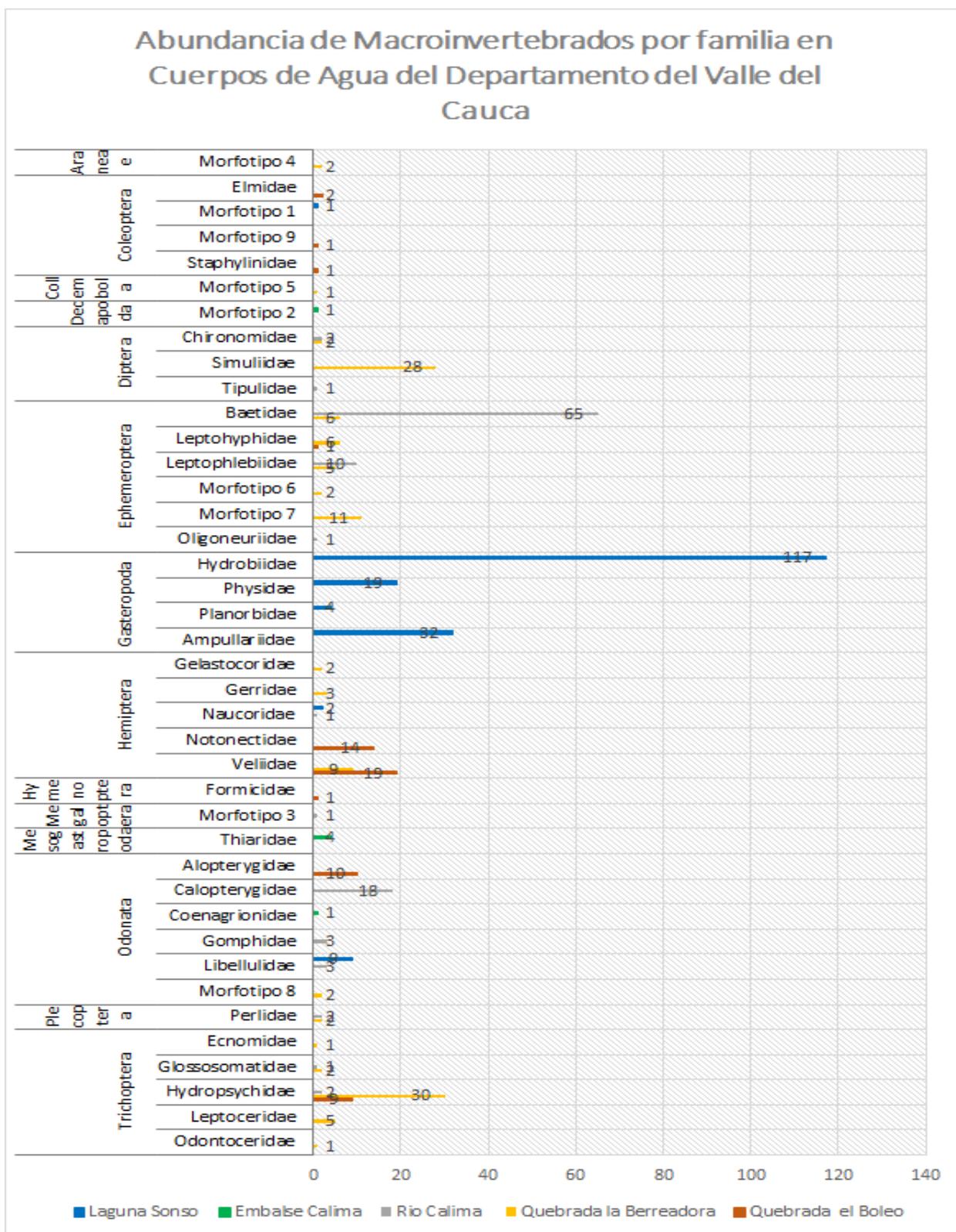


Gráfico 3.2. Abundancia de macroinvertebrados por familia en algunos cuerpos de agua del Departamento del Valle del Cauca

Muestra	Índice		
	Simpson	Shannon-Weiner	Margalef
L. Sonso	0,44825	1,63730	1,15054
E. Calima	0,40625	1,40564	0,96179
R. Calima	0,37404	2,16453	2,54318
Q. Berreadora	0,14222	3,39531	3,75979
Q. El Boleo	0,20031	2,57723	1,93839

Tabla 3.6. Índices de dominancia y diversidad de la comunidad de macroinvertebrados para las localidades muestreadas

Los ecosistemas más diversos en macroinvertebrados fueron las quebradas (El Boleo y La Berreadora). Consecuentemente, en estos dos sistemas lóticos la dominancia fue menor y la riqueza fue mayor. Por el contrario, el embalse Calima fue el menos diverso, de menor riqueza y con alta dominancia (Tabla 3.6).

DISCUSIÓN

En los cuerpos de agua visitados en los municipios de Buga, Sonso, Calima y Yotoco se encontraron 40 familias o morfotipos de macroinvertebrados, correspondientes a 14 órdenes. Sin embargo, no se evaluó la riqueza de especies de la región. En estudios similares en el Valle del Cauca (Longo *et. al.*, 2010) se han registrado hasta 37 familias o morfotipos, contenidas en 11 órdenes. Los órdenes más abundantes en el presente trabajo fueron Gasteropoda con el 36% y Ephemeroptera con el 23% del total. Los gasterópodos presentaron mayor abundancia posiblemente debido a que la metodología de muestreo fue más sensible a capturar animales sésiles que animales con movilidades altas.

La familia Hydrobiidae (Gasteropoda) tuvo la mayor abundancia a este nivel taxonómico, con un 24,52%, seguida por la familia Baetidae (Ephemeroptera) con el 13,62%. Las demás abundancias se presentaron en un rango entre 6,7% y 0,2%, correspondientes a las 38 familias restantes.

El progresivo deterioro de la laguna Sonso durante las últimas décadas se ve representado en la disminución de la diversidad y la abundancia de macroinvertebrados en este ecosistema léntico. Los estudios realizados por Mosquera *et al.* (2009) entre los años 1998 y 2006, evidencian este proceso gradual de pérdida de taxones, en el que familias de insectos como Limnichidae han desaparecido. En parte, esto podría deberse a la gran proliferación del buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) en el litoral de la laguna. Los datos obtenidos en la laguna de Sonso parecen confirmar este fenómeno, ya que se observó allí una baja diversidad y una reducida abundancia de macroinvertebrados, puesto

que solo se registraron siete (7) familias, correspondientes a cuatro (4) órdenes de macroinvertebrados (Tabla 3.1). Aun así, estos resultados están muy por debajo de lo esperado, en comparación con los 14 órdenes y las 46 familias encontradas por Mosquera *et al.* (2009) en registros de 1998, 2001, 2003 y 2006. Los reducidos resultados del presente estudio posiblemente pueden explicarse por la ausencia de réplicas y por los pocos puntos de muestro trabajados en dicha laguna.

En el caso del embalse Calima, el escaso registro de macroinvertebrados puede atribuirse tanto al bajo esfuerzo de muestreo como a la naturaleza del lugar. Es decir, debido al fuerte oleaje no se pudo determinar con certeza el límite entre el ecosistema acuático y el terrestre, dificultando los muestreos y la estandarización de los resultados.

En los ecosistemas lóticos se obtuvo una gran representación de los órdenes Ephemeroptera, Díptera y Trichoptera (Gráfica 3.2). La quebrada La Berreadora, siendo un cuerpo de agua relativamente pequeño, registró la mayor diversidad de organismos, situación que se debe posiblemente a que posee abundante vegetación, presencia de rocas, troncos, hojarasca y baja velocidad de corriente. Estas características son ideales para los organismos bentónicos (Vásquez & Reinoso, 2012), lo que pudo favorecer a los órdenes Díptera y Trichoptera, ubicándolos como los más abundantes.

En el orden Trichoptera, registrado para los tres ecosistemas lóticos, la familia Hydropsychidae fue la más abundante. Esta familia posee la capacidad de sobrevivir en diferentes tipos de hábitats como rocas, piedras, hojas, arena y grava, siendo organismos tolerantes a aguas ligeramente alteradas (Roldán, 1996), cualidad que explica la alta representación de esta familia los ríos muestreados.

El orden Ephemeroptera se caracteriza por tener adaptaciones morfológicas para habitar aguas con fuerte corriente, limpias y bien oxigenadas, por lo que se considera un indicador de buena calidad del agua (Zuñiga *et al.*, 1992). Se ha reportado que las familias Leptohyphidae y Leptophlebiidae, registradas en la quebrada La Berreadora, sólo están presentes cuando hay altas concentraciones de oxígeno y bajas conductividades (Holguin *et al.*, 2013), ya que que estos taxones son sensibles a la contaminación.

La presencia de las familias Leptophlebiidae y Oligoneuriidae (Ephemeroptera) en el río Calima y en la quebrada La Berreadora, así como la ocurrencia de la familia Chironomidae (Diptera), que se caracteriza por sobrevivir en diferentes tipos de hábitats y tolerar ambientes ricos en materia orgánica con concentraciones bajas de oxígeno (Roldán, 2003), demuestra que son ecosistemas en situaciones intermedias de polución. Cuando las aguas comienzan a presentar síntomas de contaminación es común encontrar organismos de baja tolerancia (indicadores de alta calidad del agua) junto con organismos muy tolerantes (indicadores de aguas contaminadas) (Roldán, 1999).

En el caso de la quebrada El Boleo, se presentaron las familias Staphylinidae y Elmidae pero con bajas abundancias (Gráfica 3.2). Estas familias tienen puntuaciones medias como indicadores de calidad del agua (Tabla 3.5) y se consideran taxones clave en las redes tróficas del sistema (Paetzold *et al.*,

2005; Vannucchi *et al.*, 2013). Este resultado coincide con la categorización de este ecosistema como “moderadamente contaminado” según el BMWP.

Los índices de dominancia, riqueza y diversidad (Tabla 3.6) se calcularon empleando las familias de macroinvertebrados, dado que no se conocen las riquezas específicas por sitio. Las localidades con mayores dominancias correspondieron a la laguna de Sonso y al embalse Calima (0,44 y 0,4 respectivamente), lo cual parece ser efecto del muestreo, al menos para el embalse. Sin embargo, se debe recordar que las comunidades que presentan dominancias altas suelen ser aquellas en las que las alteraciones ambientales del ecosistema favorecen a aquellas especies más tolerantes a los cambios, es decir, las que presentan mayor amplitud de nicho. Por tal motivo, las proporciones de individuos de estas especies se incrementan.

Por su parte, los índices de diversidad de Shannon y de riqueza de Margalef fueron muy bajos (inferiores a 1,5) para estos dos sistemas lénticos. Como se mencionó, esto puede estar sesgado por las técnicas de captura de los especímenes, así como por las escasas muestras obtenidas en este ejercicio investigativo. No obstante, si bien las fallas técnicas pueden generar ruido, cabe resaltar que estos ecosistemas son áreas de máxima intervención antrópica. De acuerdo a la teoría del disturbio intermedio formulada por Connell (1978), la cantidad de especies por localidad disminuirá en función del aumento en la frecuencia o intensidad de los disturbios, como lo es en particular la actividad humana agropecuaria y urbana en estos sitios.

El río Calima presentó una dominancia moderada ($D= 0,37$, Tabla 3.6) y un índice de diversidad relativamente alto. Esto puede significar que este río está siendo afectado de alguna manera por actividades humanas, si bien sus efectos no son tan pronunciados. Los demás cuerpos lóticos mostraron índices de dominancia menores. Las quebradas La Berreadora y El Boleo tuvieron las dominancias más bajas ($D<0,2$). Esto, junto con los valores de diversidad de Shannon mayores a 2,5, indican comunidades estructuradas en las que se presenta un gran número de taxones (para este caso familias). En las comunidades con bajas dominancias y diversidades altas las relaciones entre los niveles tróficos son intensas y en general puede indicar condiciones ambientales estables (tanto en espacio como en tiempo), que permiten un mayor grado de desarrollo. Finalmente, es importante recalcar que los cuerpos de agua de pequeño caudal (quebradas, caños, etc.) están menos afectados por descargas o intervenciones antrópicas, dado que tienen una escala y extensión restringidas, por lo cual no cuentan con las mismas intensidades de afectación que otros ríos de orden mayor y cuencas más extensas.

El índice BMWP/Col mostró que las distintas localidades estuvieron en clases de I a V (Anexo 3.2), siendo I la mejor calificación y V la peor. Las clasificaciones mediante este método coinciden con las evaluaciones realizadas a partir de los índices de diversidad y dominancia aplicados a las comunidades en cada localidad, lo que apoya la teoría de la respuesta de la diversidad en función de la estabilidad o calidad ambiental. Sin embargo, es importante considerar incluir datos de parámetros físico-químicos para realizar análisis más certeros en la evaluación de los ecosistemas lóticos de la región. Por otra parte, debe recordarse que este índice se desarrolló para sistemas lóticos, por lo cual

los resultados de los ambientes lénticos no necesariamente indican aguas de mala calidad, sino más bien la ausencia de familias propias de aguas corrientes.

REFERENCIAS

ASOYOTOCO. (2007). Plan de Manejo Ambiental Integral del Humedal Reserva Natural Laguna de Sonso, Municipio de Guadalajara de Buga. Asociación de Usuarios para la Protección y Mejoramiento de las Cuencas Hidrográficas de los Ríos Yotoco y Mediacanoa – ASOYOTOCO. Santiago de Cali, pp 23-25,110-115.

BAENA, L. (2009). Calidad de agua en los humedales. Págs. 49-59. En: Salazar, R. M., Carmona, T.M., Gómez, H. N., Muñoz A. L., Ossa, G. M., Ordóñez, E. L. (Eds.). Humedales del Valle Geográfico del Río Cauca: Génesis, Biodiversidad y Conservación. Santiago de Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

CONNELL, J.H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 1302-1310 pp.

FLÓREZ, B.P. & MONDRAGÓN, P.C. 2009. Plancton, Perifiton y Macroinvertebrados Acuáticos. pp. 61-69. En: Salazar, R. M., Carmona, T.M., Gómez, H. N., Muñoz A. L., Ossa, G. M., Ordóñez, E. L. (Eds.). Humedales del Valle Geográfico del Río Cauca: Génesis, Biodiversidad y Conservación. Santiago de Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC).

GIACOMETTI, J.C. & BERSOSSA, F. (2006). Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi. *Boletín Técnico 6, Serie Zoológica 2*, 17-32 pp .

GONZÁLEZ-CÓRDOBA, M., ZUÑIGA, M. & MANZO, V. (2015). Riqueza genérica y distribución de Elmidae (Insecta: Coleoptera, Byrrhoidea) en el departamento del Valle del Cauca, Colombia. *Biota Colombiana*, vol. 16, núm. 2, 51-74 pp.

HOLGUIN-GONZALEZ, J., EVERAERT, G., BOETS, P., GALVIS, A. & GOETHALS, P.L.M. (2013). Development and application of an integrated ecological modelling framework to analyze the impact of wastewater discharges on the ecological water quality of rivers. *Environmental Modelling & Software* 48: 27-36.

INFANTE-BETANCOURT, J., TIBOCHE-GARCÍA, A. & LÓPEZ-BOHORQUEZ, W. (2010). Plan de manejo y monitoreo de los humedales del municipio de Andalucía, Valle del Cauca- Colombia. Yoluka ONG-Fundación de investigación en biodiversidad y conservación, 223-235 pp.

LONGO, M., ZAMORA, H., GUISANDE, C. & RAMÍREZ, J. (2010). Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia): Respuesta a los cambios estacionales de caudal. *Limnetica*, 29 (2): 195-210 pp.

MOSQUERA, D., PALACIOS, M., MUÑOZ, E., SOTO, A., & PEÑA, S. (2009). Diversidad de los Macroinvertebrados Acuáticos de La laguna de Sonso, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Ciencias Universidad del Valle*.

PAETZOLD, A., SCHUBERT, C.J. & TOCKNER, K. (2005). Aquatic terrestrial linkages along a braided-river: riparian arthropods feeding on aquatic insects. *Ecosystems*, 8, 748–759.

ROLDÁN, G. (1996). Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia. Bogotá, Colombia: Fondo FEN. 218p.

ROLDÁN, G. (1999). Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua. *Revista Academia Colombiana de Ciencias*, 23(88), 375-387 pp.

ROLDÁN, G. (2003). Bioindicación de la Calidad del Agua en Colombia: Uso del Método BMWP/Col. Editorial Universidad de Antioquia. Primera Edición. Medellín. Colombia. 170 pp.

SÁNCHEZ, M. (2005). El índice biológico BMWP (Biological Monitoring Working Party score), modificado y adaptado al cauce principal del río Pamplonita, Norte de Santander. *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. Universidad de Pamplona*, vol. 3, 54-67 pp.

VANNUCCHI, P.E., LÓPEZ-RODRÍGUEZ, M.J., DE FIGUEROA, J.M.T. & GAINO, E. (2013). Structure and dynamics of a benthic trophic web in a Mediterranean seasonal stream. *Journal of Limnology* 72 (3): 51.

VÁSQUEZ, J & REINOSO, G. (2012). Estructura de la fauna béntica en corrientes de los Andes colombianos. *Revista Colombiana de Entomología* 38 (2): 351-358.

ZÚÑIGA, M., ROJAS, A. & SERRATO, C. (1992). Interrrelación de indicadores ambientales de calidad en cuerpos de aguas superficiales de Valle del Cauca. *Memorias Congreso Sociedad Colombiana de Entomología (SOCOLEN)*. Manizales, Colombia.

ANEXOS CAPITULO 3

Anexo 3.1. Puntajes de la Familias de Macroinvertebrados Acuáticos para el Índice BMWP/Col (Roldán, 2003)

Familias	Puntaje
Anomalopsychidae, Atriplectididae, Blepharoceridae, Calamoceratidae, Ptilodactylidae, Chordodidae, Gomphidae, Hydridae, Lampyridae, Lymnessiidae, Odontoceridae, Oligoneuriidae, Perlidae, Polythoridae, Psephenidae	10
Ampullariidae, Dytiscidae, Ephemeridae, Euthyplociidae, Gyrinidae, Hydraenidae, Hydrobiosidae, Leptophlebiidae, Philopotamidae, Polycentropodidae, Polymitarcydae, Xiphocentronidae.	9
Gerridae, Hebridae, Helicopsychidae, Hydrobiidae, Leptoceridae, Lestidae, Palaemonidae, Pleidae, Pseudothelpusidae, Saldidae, Simuliidae, Veliidae.	8
Baetidae, Caenidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Corixidae, Dixidae, Dryopidae, Glossosomatidae, Hyalellidae, Hydroptilidae, Hydropsychidae, Leptohiphidae, Naucoridae, Notonectidae, Planariidae, Psychodidae, Scirtidae.	7
Aeshnidae, Ancylidae, Corydalidae, Elmidae, Libellulidae, Limnichidae, Lutrochidae, Megapodagrionidae, Sialidae, Staphylinidae	6
Belostomatidae, Gelastocoridae, Mesoveliidae, Nepidae, Planorbiidae, Pyralidae, Tabanidae, Thiaridae	5
Chrysomelidae, Stratiomyidae, Haliplidae, Empididae, Dolichopodidae, Sphaeridae, Lymnaeidae, Hydrometridae, Noteridae	4
Ceratopogonidae, Glossiphoniidae, Cyclobdellidae, Hydrophilidae, Physidae, Tipulidae.	3
Culicidae, Chironomidae, Muscidae, Sciomyzidae, Syrphidae	2
Tubificidae	1

Anexo 3.2. Clases de calidad del agua asociados al método BMWP/Col (Roldán, 2003).

Clase	Calidad	BMWP/Col	Significado	Color
I	Buena	> 101	Aguas muy limpias a limpias	
II	Aceptable	61-100	Aguas ligeramente contaminadas	
III	Dudosa	36-60	Aguas moderadamente contaminadas	
IV	Crítica	16-35	Aguas muy contaminadas	
V	Muy crítica	<15	Aguas fuertemente contaminadas	

CAPÍTULO 4

MORFOLOGÍA Y MORFOMETRÍA DE ALGUNOS ECOSISTEMAS ACUÁTICOS DEL VALLE DEL CAUCA

Mayra Guerrero¹, Eduardo Wagner², Julián Rodríguez³, Carlos Chitivo⁴, Diego Aguilera⁵

¹Departamento de Biología, Facultad de ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá D.C., Colombia. mcguerrero1@unal.edu.co; ²ewagnerh@unal.edu.co; ³juldrodriguezrui@unal.edu.co; ⁴cachitivop@unal.edu.co; ⁵diaaguilerave@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

La morfología que presenta un cuerpo de agua varía dependiendo de las características físicas y químicas y en algunas ocasiones de parámetros biológicos. La forma de los ambientes acuáticos es variada y refleja su origen geológico. Además, varía con el tiempo de acuerdo al movimiento del agua y de los materiales que transporta. Desde hace mucho tiempo, diversos autores han reconocido las relaciones entre la morfología de un lago y su limnología. Ruttner (1931) observó que la profundidad del epilimnion en verano aumenta con el tamaño del lago. Rawson (1939) construyó un diagrama en el que expuso los múltiples factores que interactúan en un lago, incluida su morfología.

Actualmente, la laguna de Sonso presenta 14,1 km² de área. Se ubica en los municipios de Buga, Yotoco y Guacarí, en la margen derecha del río Cauca y mortigua las inundaciones de este río en época de lluvia. Hoy en día su capacidad de retención de agua se ha reducido, principalmente por la pérdida de profundidad, producto de su eutrofización ocasionada por actividades humanas, como la agricultura azucarera. Por otra parte, el embalse Calima posee una superficie de 70 km², lo cual lo convierte en uno de los embalses más grande de Colombia y Suramérica, con una capacidad de 581 millones de m³. Es un gran reservorio hídrico para la región y provee de energía hidroeléctrica al Valle del Cauca. Además, es uno de los atractivos turísticos de la región

Este estudio buscó valorar los parámetros hidrológicos y morfológicos de algunos ecosistemas acuáticos del departamento del Valle del Cauca, a saber, el río Calima, las quebradas La Berreadora y El Boleo, el embalse Calima y la laguna de Sonso, ecosistemas localizados principalmente en los municipios de Buga, Yotoco y Darien. Se desarrolló con base en los parámetros medidos durante la salida de campo, básicamente en los ríos, y en observaciones directas hechas en campo para el caso de los ambientes lénticos.

Este capítulo no busca dar una clasificación específica del estado en que se encuentran estos ecosistemas lénticos y lóuticos, pero si pretende aportar alguna información a nivel hidrológico de estos cuerpos de agua. Para los ecosistemas lénticos se revisó su origen, función, dinámica y estructura con base en la bibliografía disponible.

Caracterización de la región de estudio

Los ambientes acuáticos estudiados corresponde a cinco diferentes cuerpos de agua continentales, de los cuales se conocen las siguientes características generales:

Laguna de Sonso: se ubica a 5 km de Buga. Cuenta con un área de 1400 ha, incluyendo la zona de amortiguación. El espejo de agua tiene 745 ha. Se localiza en las coordenadas $3^{\circ} 51' 50,0''N$ y $76^{\circ} 21' 04,6''W$, sobre los 934 msnm, en la margen derecha del río Cauca, que en ocasiones se desborda y aporta sedimentos al interior de la laguna. Es un ecosistema de alta fragilidad debido a la poca profundidad media actual, que ronda los 0,8 m.

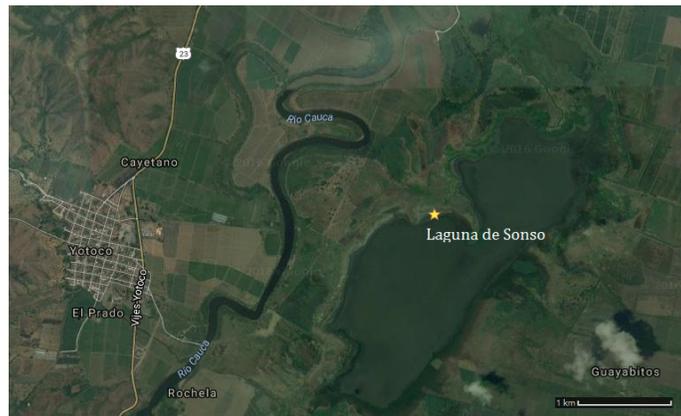


Figura. 4.1. Mapa geográfico de la laguna de sonso. **Fuente:** Gogle earth.

Embalse Calima: se localiza entre los municipios de Darién y Buga, a los $3^{\circ} 53' 01,3''N$ y $76^{\circ} 31' 41,5''W$. Su extensión es de 7000 ha aproximadamente. Es uno de los embalses más grandes del país. Está a una altitud de 1455 msnm y cuenta con un clima templado de $19^{\circ}C$ promedio. Es parte de un complejo hidroeléctrico que genera energía para la región.

Río Calima: es el afluente principal del embalse Calima. Se ubica en los $3^{\circ} 56' 46,6''N$ y $76^{\circ} 27' 32,0''W$, muy cerca del embalse. Su caudal es el mayor de la zona. Su altitud es de 1468 msnm.

Quebrada La Berreadora: se encuentra al norte del área estudiada. Es un afluente del río Calima y en el sitio de muestreo su ancho oscila alrededor de los 3 m. Sus coordenadas son $3^{\circ} 57' 55,8''N$ y $76^{\circ} 26' 55,0''W$, con una elevación de 1493 msnm.

Quebrada El Boleo: es un pequeño riachuelo, de apenas 2 m de ancho y escasos centímetros de profundidad. Se ubica en los $3^{\circ} 57' 30,9''N$ y $76^{\circ} 27' 49,0''W$, a 1514 msnm.

		Coordenadas			
	Laguna de Sonso	Embalse del Calima	Río Calima	Quebrada la Berreadora	Quebrada el Boleo:
N	3°51'50.0"	3°53'01.3"	3°56'46.6"	3°57'55.8"	3°57'30.9"
W	76°21'04.6"	76°31'41.5"	76°27'32.0"	76°26'55.0"	76°27'49.0"

Tabla 4.1: Coordenadas de los sitios muestreados para morfología

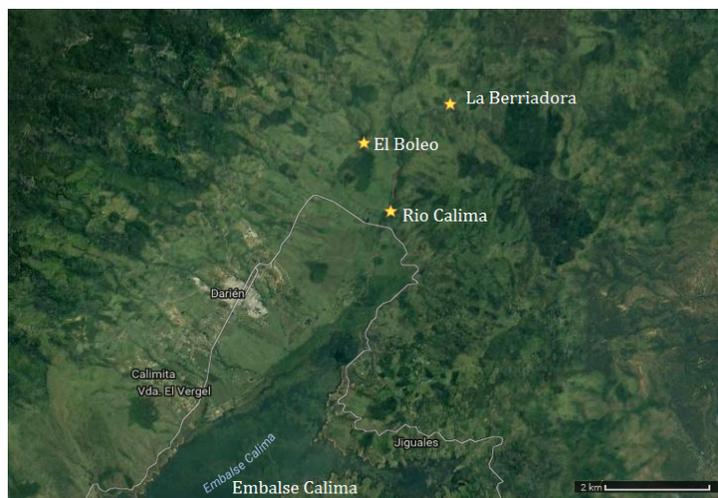


Figura.4.2. Mapa geográfico parte del embalse Calima y georeferenciación de los tres ecosistemas lóticos muestreados (Río Calima, El Boleo y La Berreadora). **Fuente:** Gogle earth.

MATERIALES Y MÉTODOS

Morfometría del canal y velocidad de la corriente (sistemas lóticos únicamente)

Las determinaciones se hicieron los días 15 y 16 de octubre de 2016. Se realizaron mediciones de pendiente del tramo, ancho del cauce y profundidad media del cauce. Para la velocidad superficial de la corriente se calculó el tiempo que tarda un frasco plástico atado a una cuerda en recorrer una distancia de 10 m (10 réplicas). Se descartaron las mediciones en las que el frasco interrumpió su recorrido al chocar con algún obstáculo. La velocidad de la corriente se calculó por medio de la ecuación $v = x/t$, en donde t es el tiempo promedio de las 10 réplicas tomadas. Los datos de velocidad y profundidad promedio del cauce se utilizaron para calcular el caudal aproximado del río, a través de la expresión:

$$Q \text{ (m}^3\text{/seg)} = \text{Ancho (m)} \times \text{Profundidad media (m)} \times \text{Velocidad media (m/seg)}$$

Caudal con marcador químico (salmuera)

Se aforó previamente (antes del viaje) el caudal de salida de agua de un bidón plástico (volumen/segundo). Esta velocidad de vertido del bidón sirvió para calcular el **factor K_s** (mg/segundo). En el sitio de muestreo se preparó con agua del río una solución salina de 500 mg/L de NaCl dentro del bidón plástico. Se vertió esta salmuera a través de la manguera de salida del bidón en el centro del río (escogiendo un sitio turbulento) y se registraron las lecturas de conductividad varios metros abajo del punto inicial (a la distancia de mezcla completa, calculada como se indica a continuación) cada 10 segundos, hasta que el valor se estabilizó.

La distancia de mezcla completa a la cual se hicieron las lecturas de conductividad se estableció mediante la ecuación de Yotsukura (1968, citado por Thomann 1994):

$$L_m = aUB^2/H$$

Donde:

L_m = distancia desde la fuente a la zona donde la descarga se ha mezclado bien lateralmente, m

U = velocidad promedio del río, m/s

B = ancho promedio del río, m

H = profundidad promedio del río, m

a = 8,5 para una descarga lateral y 4,3 para una descarga en medio del río

La diferencia entre la conductividad inicial (antes del vertido de la salmuera) y la conductividad final cuando se estabilizan los valores, permitió calcular el incremento de la salinidad o **factor A_s** . El paso de $\mu\text{S/cm}$ a concentración de sales en mg/L se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Salinidad (mg/L)} = 0,6679 [\text{Cond. Final } (\mu\text{S/cm}) - \text{Cond. Inicial } (\mu\text{S/cm})]$$

El caudal se calculó con la siguiente expresión:

$$Q \text{ (L/seg)} = K_s \text{ (mg NaCl / seg)} / A_s \text{ (mg NaCl / l)}$$

El caudal en L/seg se puede expresar en m^3/seg dividiendo el anterior resultado por 1000.

RESULTADOS

Los siguientes datos resumen las características hidrológicas de los ríos visitados:

➤ **Río Calima**

Velocidad (objeto flotante)

Distancia de medición de la velocidad: 21 m

	Borde izquierdo (s)	Centro (s)	Borde derecho (s)	Promedio total
	23,81	13,03	15,66	
	22,54	11,73	16,3	
	23,58	13,85	13,01	
Promedio	23,3	12,87	14,99	17,05

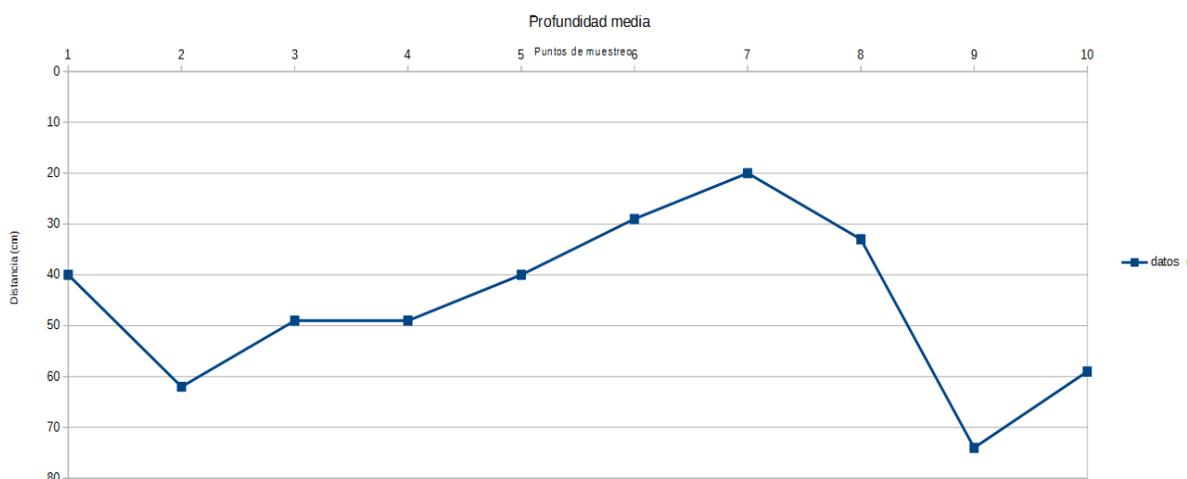
Tabla 4.2: Datos de tiempo para medir el caudal.

$$\text{Velocidad: } \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}} = \frac{21\text{m}}{17,05\text{ s}} = 1,23 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Profundidad media

Distancia (cm)	Profundidad (cm)
40	40
62	62
49	49
49	49
40	40
29	29
20	20
33	33
74	74
59	59

Tabla 3.3: Profundidad media de acuerdo a la distancia.



Gráfica 4.1. Perfil de profundidad del cauce en el río Calima

Promedio= 0,502 m

Ancho promedio= 26m

$$Q_{\text{caudal}} = 1,23 \text{ m/s} * 0,50 \text{ m} * 26 \text{ m} = 15,99 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pendiente: 0,22 grados

Incremento de la salinidad

Conductividad inicial: 37,0 μs

Salinidad inicial: 19,6 mg/L

Salinidad mg/L	Conductividad s
20,13	36,1
20,23	36,1
20,25	36,1
20,25	36,1
20,26	36,1
20,29	36,1
20,27	36,1
20,28	36,1
20,28	36,1
20,29	36,1
20,28	36,1

Tabla 4.4: Cambios en la conductividad del río Calima para efectuar el cálculo de caudal.

$$\text{Distancia de mezcla} = \frac{1,23 * 26 * 4,3}{0,50} = 7150 \text{ m} = 7,1 \text{ km}^1$$

- **Quebrada La Berreadora**

Velocidad (objeto flotante)

Distancia de medición de la velocidad: 5 m

Se tomó una distancia de 1 km

Borde izquierdo (s)	Centro (s)	Borde derecho (s)
11,76	7,87	9,19
10,37	7,58	10,69
10,73	6,95	9,77
9,55	8	9,08
9,39	8	10,01
11,77	8,76	9,85
11,48	7,79	10,72
9,29	7,18	10,18
10,41	7,52	9,31
8,89	6,42	9,72
Total: 103,5	Total: 76,07	Total: 98,56
Promedio Total 92.71		

Tabla 4.5: Datos de tiempo para medir el caudal en la quebrada La Berreadora.

Se toma el dato de caudal medido con la ecuación teórica:

$$\text{Velocidad: } \frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}} = \frac{5m}{9,27 s} = 0,539 \frac{m}{s}$$

Profundidad media

Punto 1 (m)	Punto 2 (m)	Punto 3 (m)	Punto 4 (m)
26	14	21	18
28	17	28,2	21,4
30	21	22,1	17
33	27,1	31,3	15,2
35,7	31	24,1	18,4

Tabla 4.6: Profundidad media en los diferentes puntos de la quebrada La Berreadora.

Profundidades en 5 puntos a lo ancho						
Profundidades en 5 puntos a lo largo	PUNTOS	0	0.9	1.8	2.7	3.6
	5	14	17	21	27.1	31
	10	21.3	25	24.2	28.9	21.1
	15	21	28.2	21.1	31.3	21.1
	20	18	21.4	17	15.2	18.4

Tabla 4.7: Comparación de los datos de profundidad en los diferentes puntos de la quebrada La Berreadora, largo y ancho.

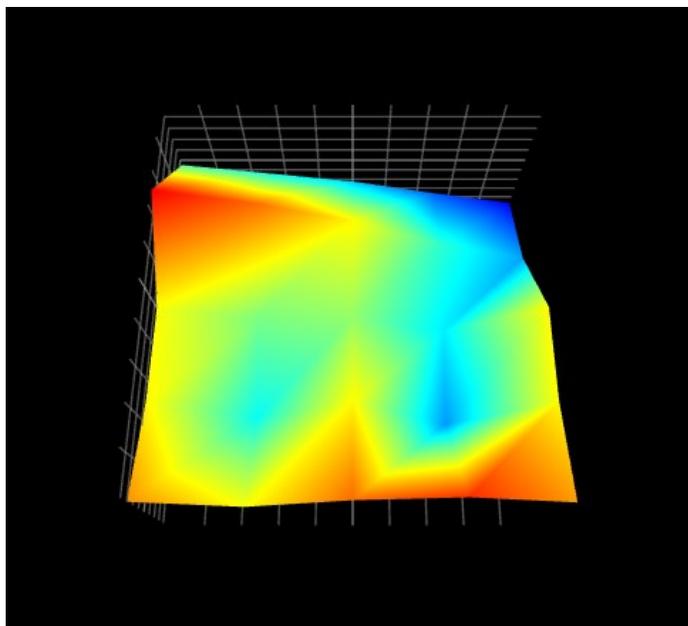


Figura.4 3. Perfil batimétrico de La Berreadora.

Promedio de profundidad= 0,24 m

Ancho promedio (se midió cada 3 m en un transecto de 15m):

	Distancia	Inclinación
Punto 1 al 2	15m	-1,50%
Punto 2 al 3	12m	-2,00%
Punto 4 al 4	9m	-2,00%

Tabla 4.8: Ancho y pendiente de la quebrada La Berreadora

Conductividad s/cm
76,6
76,6
76,6
76,8
76,8
76,8
76,8
76,8
76,8
76,8
76,8
76,8
76,8
76,8
76,8
76,7
76,7

Tabla 4.9: Incremento de la salinidad para obtener el cálculo del caudal en La Berreadora

Conductividad inicial: 75,7 $\mu\text{s}/\text{cm}$

$$\text{Distancia de mezcla} = \frac{4,31 * 0,54 * 13,19}{0,2404} = 127,735\text{m}^*$$

* Más adelante se midió otro punto y el valor fue de 77s/cm. Sin embargo, no se esperó el tiempo necesario, debido a la baja velocidad del río.

● **Quebrada El Boleo**

Velocidad del agua en superficie (objeto flotante)

Distancia de medición de la velocidad: 5 m

Caudal con objeto flotante= 0,42 m/s

Profundidad media

Promedio=0,1632m.

Ancho promedio = 2,2m

Distancia de mezcla:

$$\frac{4,31 \times 0,42 \times 2,2}{0,1632} = 54,75 \text{ m}$$

Ancho (m)	Velocidades (s)	Conductividad s/cm
1,96	9,37	112
3,2	15,69	117
1,7	10,14	119
Media: 2,2m	12,47	124
	11,67	131,9
	11,58	143,1
	15,96	148,2
	9,74	155,8
	11,11	169
	11,57	172
	Promedio Total 11,93	185
		191
		203
		208
		210,1
		207
		203
		198
		170

Tabla 4.10: (De izquierda a derecha) **A.** Ancho de la quebrada. **B.** Promedio en s de la velocidad de la quebrada. **C.** Incremento de la salinidad para obtener el cálculo del caudal en El Boleo.

DISCUSIÓN

Las mediciones de las distancias de mezcla tuvieron errores de procedimiento. En el río Calima no se logró aplicar correctamente la fórmula, dando un valor errado de 120 m de distancia. Para las mediciones de caudal con el marcador químico, en La Berreadora no hubo cambio en las lecturas de conductividad debido a que no se esperó el tiempo suficiente por la baja velocidad del río. Esto imposibilitó el cálculo del caudal con este método. El río con mayor profundidad fue el Calima, con un promedio de 0,5 m; a su vez fue el río con mayor ancho: 26 m. En un río con estas características la mezcla de una sustancia que caiga al río puede ocurrir entre 1 y 7 km. La velocidad de la corriente fue proporcional al tamaño del río. La mayor velocidad se midió en el río Calima ($1,23 \frac{m}{s}$) y la menor ($0,42 \frac{m}{s}$) en El Boleo. La pendiente para los sistemas lóticos visitados no fue pronunciada. La pendiente promedio de los tres ríos fue del 2%, por lo que en este aspecto morfológico se puede decir que los sitios trabajados fueron homogéneos.

Los ríos La Berreadora y El Boleo son de orden uno, ya que son de poca anchura, poco caudal y poca profundidad. Son sistemas jóvenes y pequeños que no tienen tributarios de mayor orden. Por su

parte, el río Calima es de orden 3, ya que es un río al que desembocan varias afluentes, y presenta un caudal elevado (Roldán & Ramirez, 2008).

Las características hidrológicas (velocidad de la corriente, caudal) de los cuerpos de agua evaluados dependen en gran parte de su morfología. De acuerdo a esto, podemos inferir que los tres ríos presentan un flujo turbulento, ya que este ocurre cuando la velocidad es alta y el movimiento del agua se vuelve irregular (Roldán & Ramirez, 2008).

Aunque no se hicieron medidas en campo para determinar la morfología de los sistemas lénticos (laguna de Sonso y embalse Calima), se puede decir, mediante datos bibliográficos de estudios previos y según lo visto durante la práctica, que la laguna de Sonso está en un proceso de reducción de tamaño y eutrofización. Esto parece ser consecuencia del aporte de sólidos del río Cauca y otros tributarios y por la sedimentación del buchón de agua, que en su proceso de extracción se saca a los bordes y se sedimenta con la consecuente disminución en la capacidad de almacenamiento de la laguna. El embalse Calima, por otro lado, está en constante intervención debido a que es una zona turística, por lo que los aspectos morfológicos muestran un cambio considerable, producto de las múltiples modificaciones antrópicas. Esto hace difícil determinar la morfología original del cuerpo de agua.

CONCLUSIONES

Con los datos morfológicos obtenidos de los ríos estudiados, se puede concluir que estos sistemas lóticos de la región son variados en cuanto a anchura, profundidad y velocidad de agua (en la época que se estudiaron), pero que también son similares en otros aspectos, como la pendiente. Se puede afirmar que para los cuerpos de agua estudiados la velocidad está directamente relacionada con el tamaño del río, siendo los de mayor tamaño aquellos que presentan una velocidad de corriente mayor. Sin embargo los tres ríos poseen el mismo tipo de flujo de agua, caracterizado por una considerable velocidad y por su movimiento turbulento (Roldán & Ramirez, 2008). Sin embargo, son fácilmente diferenciables por el orden hidrológico que presentan. De esta manera, el río Calima es de orden tres, mientras que las quebradas son de primer orden.

REFERENCIAS

- RAWSON, D. S. (1939). Some physical and chemical factors in the metabolism of lakes. In: E.R Moulton (Ed.) Problems of lake biology. Pub. 10, A.A.A.S., Washington, D.C, pp. 9-26.
- ROLDÁN, G. & RAMÍREZ, J.J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia.
- RUTTNER, F. (1931). Hydrographische und hydrochemische Beobachtungen auf Java, Sumatra und Bali. Arch. Hydrobiol. (Suppl.), 8: 197-454.

THOMANN, R. (1994). Manual de evaluación y manejo de sustancias tóxicas en aguas superficiales. CEPIS, Organización Panamericana de la Salud - División de Salud y Ambiente, Sección 3.3.2 - Descargas Dispersas. Perú.

CAPÍTULO 5

COMUNIDADES PLANCTÓNICAS DE LA LAGUNA DE SONSO Y EL EMBALSE CALIMA

Mayra Guerrero¹, Eduardo Wagner², Julián Rodríguez³, Carlos Chitivo⁴; Diego Aguilera⁵

¹Departamento de Biología, Facultad de ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá D.C., Colombia. mcguerrerol@unal.edu.co; ²ewagnerh@unal.edu.co; ³juldrodriguezrui@unal.edu.co; ⁴cachitivop@unal.edu.co; ⁵diaaguilerave@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

El estudio de la dinámica y la estructura planctónica en ambientes acuáticos lénticos es muy compleja debido a los múltiples factores que regulan este tipo de sistemas acuáticos y por ende, los efectos que estos tienen sobre dichas comunidades. Los lagos son sistemas generadores de nutrientes, alimentos y energía aprovechable para los organismos que allí habitan. Sus comunidades algales son el producto de las interacción climáticas, hidrológicas, químicas, geomorfológicas y bióticas que allí operan. Además, estas condiciones están atadas a cambios a lo largo del tiempo, el espacio y las características propias de la cuenca (Luque & Martínez, 2003; Roldán & Ramírez, 2008). El régimen hidrológico y el clima influyen la biota, y son factores determinantes en las variaciones de la abundancia y dominancia de las especies. Las comunidades algales están fuertemente determinadas por estos regímenes ambientales, que rigen la estructura y el funcionamiento de los ríos (Reynolds, 1993). Las comunidades zooplanctónicas se caracterizan por poseer especies de crecimiento menos rápido que las algas, lo que las hace menos susceptibles, mas no inmodificables, pues algunos grupos como los rotíferos tienden a requerir aguas menos contaminadas.

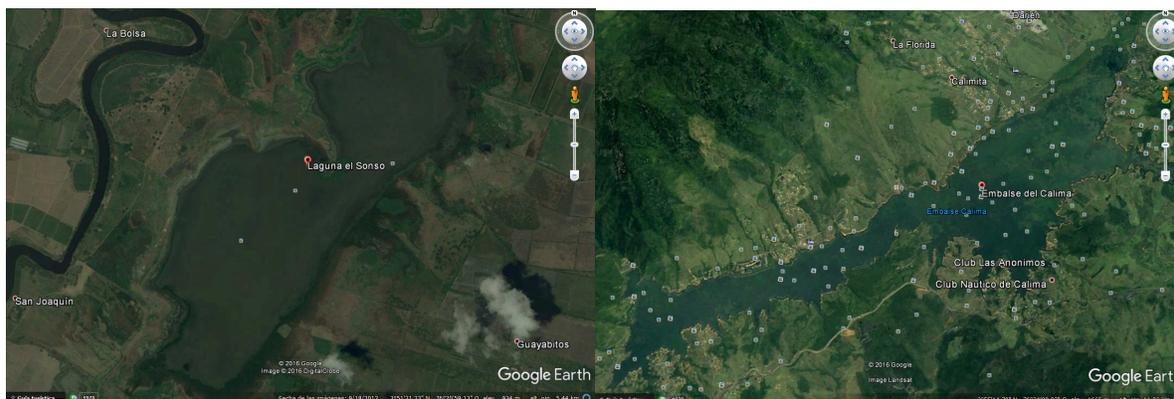
La degradación de las fuentes de agua como lagos, lagunas, estanques, etc. ha sido motivo de preocupación, debido a la contaminación y el estado crítico que se encuentran muchos ecosistemas fluviales. Esto se debe a los desechos antrópicos, tales como los residuos urbanos y rurales y los vertimientos provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias. Estos materiales contribuyen a la deposición de material residual y orgánico en los lagos, con efectos negativos para los peces y otros animales que allí habitan y con el incremento de organismos invasivos, como lo son las plantas acuáticas y los florecimientos algales, seguidos por lo general por un aumento de las bacterias que degradan materia orgánica. De acuerdo a lo anterior, estos efectos tienen impactos a nivel social y económico. De esta manera, la acuicultura, la pesca y el ecoturismo reciben impactos negativos. Por esta razón, existe un gran interés por conocer y proteger los ecosistemas fluviales y estudiar sus cambios en el tiempo, desarrollando criterios físicos, químicos y biológicos que permiten estimar el efecto y la magnitud de las interacciones humanas y una posible solución a este problema (Norris & Hawkins, 2000).

Tanto la laguna de Sonso, como el embalse Calima, están influenciados por las épocas de lluvia en los abril y noviembre y por las estaciones de sequía en agosto y enero, lo cual modifica sus comunidades planctónicas durante el año (ASOYOTOCO, 2007). En este capítulo se analizan los diferentes patrones de composición y abundancia algal y zooplanctónica de la laguna Sonso y del embalse Calima, Por otra parte, se analiza la riqueza específica de especies y la equidad en cada uno de los cuerpos de agua y se comparan los sitios de muestreo, reconociendo la relación con los factores fisicoquímicos que se mencionaron en el capítulo correspondiente. Estos factores abióticos determinan la composición y la estructura de las comunidades del plancton, cuya identificación taxonómica permite describir el estado general de estos ecosistemas, dado su uso como indicadores ecológicos (Vázquez-Hurtado *et al.*, 2007).

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción de los sitios

La laguna el Sonso es un cuerpo de agua situado en el departamento de Valle del Cauca, a unos 65 kilómetros al norte de la ciudad de Cali. La laguna abarca 14,1 km² en los municipios de Buga y Yotoco, en el margen derecho del río Cauca (Gráfica 5.1A). El embalse Calima es uno de los más grandes de Colombia, con 70 km² de área superficial. Está situado en el Valle del Cauca, entre los municipios del Darién y Restrepo (Gráfica 5.1B).



Gráfica 5.1: A. Laguna Sonso. B. Embalse del Calima **Fuente:** Google earth, 2016.

Metodología en campo

Los muestreos se hicieron los días 15 y 16 de octubre de 2016.

Fitoplancton

Se colectaron muestras de fitoplancton usando una red de fitoplancton con ojo de malla de 25 μ . Por el método de arrastre horizontal se recogieron las muestras del embalse Calima. Este método consistió en dejar llenar la red, aprovechando la corriente existente en el embalse Calima. De la

muestra obtenida se conservaron 250 mL aproximadamente, que se preservaron con lugol concentrado hasta obtener un color café oscuro (aproximadamente ¼ por cada mL de la muestra).

Zooplancton

Se tomaron muestras de agua de la laguna de Sonso usando una red de zooplancton de 150 µ. No se usó la técnica de arrastre vertical, del fondo hacia la superficie, dada la poca profundidad del agua (0,8 m). Se tomaron volúmenes de agua superficial con un balde y se pasaron a través de la red hasta obtener un concentrado de aproximadamente 250 mL, el cual se fijó con formol al 4%.

En el lago Calima la intensidad del viento en superficie formó corrientes que mezclaron las aguas del lago en su la línea de costa. Por este motivo se tomaron tres muestras con la red de zooplancton, usando la técnica de arrastre horizontal contracorriente, en límites de disco secchi (1,4 m) en tres puntos cerca a la costa. Las muestras se mezclaron en un solo recipiente de aproximadamente 250 mL y se preservaron en formol, al 4%. Las muestras se colocaron en neveras de icopor, para su posterior análisis cuantitativo.

Trabajo de laboratorio

Para la cuantificación del fitoplancton se utilizó el método de sedimentación. Para ello se empleó un portaobjetos de vidrio al cual se le pegó a un tubo de PVC, cuyas dimensiones fueron de 5 cm de alto con un diámetro aproximado de 1,27 cm. Dentro de la cámara se dejaron sedimentar durante 24 horas 5 mL de muestra fijada, siguiendo lo propuesto por Wetzel & Likens (2000). Para la determinación taxonómica de las algas del fitoplancton se utilizaron las claves Streble y Krauter (1987), Chaparro (2007) y Cox (1996) y con ayuda de un microscopio óptico se identificaron los tipos generales de algas. La cuantificación se realizó bajo un microscopio invertido a 400 aumento (40x10); se contaron taxones hasta llegar a 200 individuos de la morfoespecie (género) más abundante. Con estos datos se cuantificó el número de células por mL (cel/mL) con la ecuación 5.1.

Para el zooplancton se usaron las mismas cámaras de sedimentación, en las que se colocaron muestras diluidas de 5 mL debido a la excesiva turbidez. La cuantificación del zooplancton y su determinación taxonómica se realizaron con un microscopio invertido, en el cual se contaron campos aleatorios con el objetivo de 10x, para una amplificación de 100 veces. Cada campo visual tuvo un diámetro de 1,8 mm, es decir 1800 micras.

Análisis de datos de fitoplancton

Se calculó la abundancia de células/mL, tanto por especie como por clase a partir de los datos registrados para cada microalga, mediante la ecuación 5.1:

Ecuación 5.1:

$$N^{\circ} \text{ cel/ml} = \frac{N^{\circ} \text{ de células contadas} \cdot \text{área total de la cámara}}{\text{Área de un campo} \cdot N^{\circ} \text{ de campos contados} \cdot \text{volumen sedimentado}}$$

El área total de la cámara fue de 1,267 cm² y el área del campo fue de 0,00126 cm².

Se determinaron los índices ecológicos de riqueza específica, diversidad/dominancia de Simpson y equitabilidad de Shannon de cada muestra:

Índice de Shannon:

$$H = \sum \left(\frac{n_i}{n} \ln \frac{n_i}{n} \right)$$

Donde S= número de taxa, n= número total de individuos y n_i es el número de individuos del taxón i .

Índice de Simpson: 1-D

$$D = \sum \left(\frac{n_i^2}{n} \right)$$

El índice de Simpson (D) manifiesta la probabilidad de que dos individuos extraídos al azar de una muestra pertenezcan a la misma especie. Presenta entonces un valor inverso a la equidad, pero al calcular 1-D se pueden encontrar los valores de diversidad. Para el cálculo de los índices ecológicos se utilizó el software PAST 2.17.

Análisis de datos de zooplancton

La técnica de arrastre de la red en función de la ecuación de medición requiere cuantificar el volumen de agua filtrado. Para la laguna de Sonso se usó el volumen del balde, de aprox 10 L. El volumen filtrado por zona de muestreo fue de 3 veces esa cantidad, es decir 30 L por punto, para un total de 90 L filtrados. Para el embalse Calima se filtraron aproximadamente 50 L por punto, para un total de 150 L filtrados.

El cálculo de abundancia de individuos/L se hizo con la siguiente expresión:

$$\text{Densidad del zooplancton: } (N*(M/S))/(V)$$

Dónde: N: número de individuos contados en muestra; M: Volumen filtrado (250 mL); S: Muestra extraída (5 mL) y V: Volumen total filtrado (90-150 L).

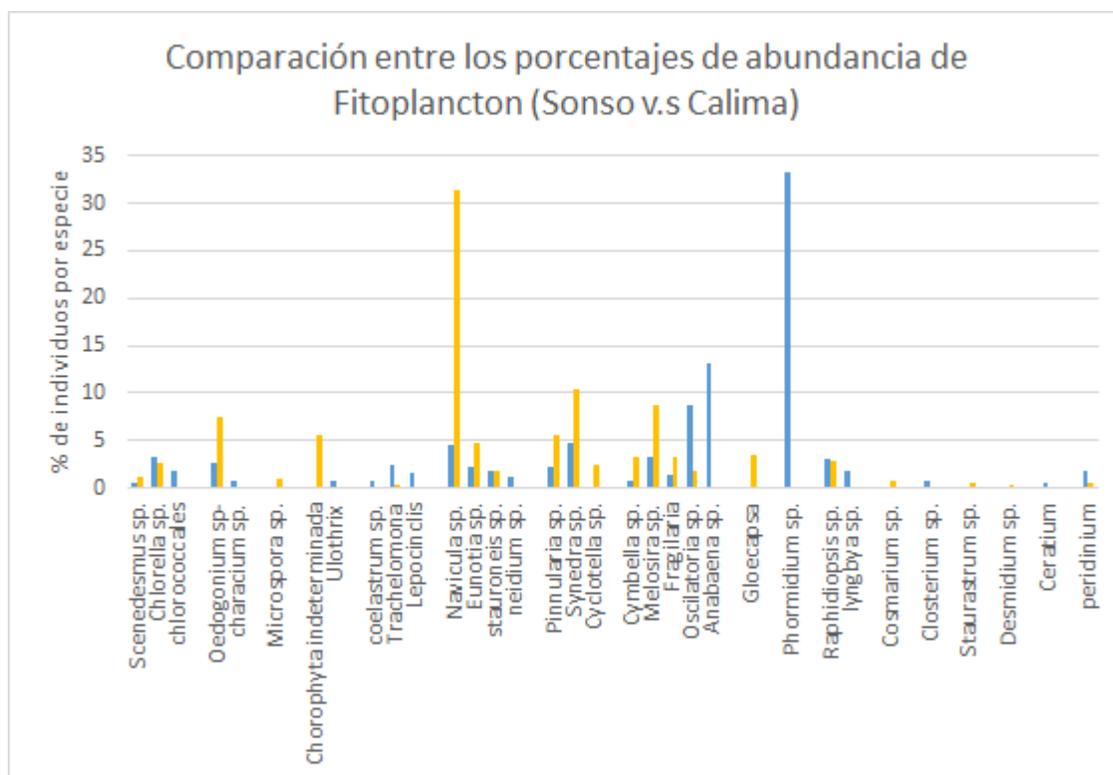
RESULTADOS

Fitoplancton

En la Tabla 5.1 se resume las morfoespecies encontradas y su abundancia. Se halló un total de 34 morfoespecies agrupadas en 6 grandes grupos, donde el mayor número de taxones correspondió a Cyanophyta y Bacillariofitae, para la laguna de Sonso y el embalse Calima, respectivamente. La morfoespecie más común en la laguna de Sonso fue *Phormidium* sp. con el 33,33 % del total de células observadas. Para el embalse de Calima fue *Navicula* sp., con un 31,45 % (Gráficas 5.2 y 5.3).

Morfoespecie	Laguna sonso	Embalse Calima	% Laguna sonso	% Embalse Calima
Scenedesmus sp.	3	7	0,5	1,1
Chlorella sp.	20	17	3,33	2,67
chlorococcales	11		1,83	0
Oedogonium sp.	16	47	2,67	7,39
characium sp.	4		0,67	0
Microspora sp.		6	0	0,94
Chorophyta indeterminada	0	35	0	5,5
Ulothrix	4		0,67	0
coelastrum sp.	4	1	0,67	0,16
Trachelomona	16	2	2,5	0,31
Lepocinclis	10		1,67	0
Navicula sp.	27	200	4,5	31,45
Eunotia sp.	13	30	2,17	4,72
stauroneis sp.	11	12	1,83	1,89
neidium sp.	7		1,17	0
Pinnularia sp.	14	35	2,33	5,5
Synedra sp.	29	66	4,83	10,38
Cyclotella sp.		16	0	2,36
Cymbella sp.	5	21	0,83	3,3
Melosira sp.	20	55	3,33	8,65
Fragilaria	8	21	1,33	3,3
Oscillatoria sp.	52	12	8,67	1,89
A nabaena sp.	79		13,17	0
Gloecapsa		22	0	3,46
Phormidium sp.	200		33,33	0
Raphidiopsis sp.	18	18	3	2,83
lyngbya sp.	11		1,83	0
Cosmarium sp.		5	0	0,79
Closterium sp.	5		0,83	0
Staurastrum sp.		3	0	0,47
Desmidium sp.		2	0	0,31
Ceratium	3		0,5	0
peridinium	11	4	1,83	0,63
Total	600	636	100	100

Tabla 5.1: Datos cuantitativos, frecuencia absoluta de individuos/célula por especie en cada punto muestreado. En rojo se presenta la especie más abundante por punto.



Gráfica 5.2: Comparación entre los porcentajes de abundancia del fitoplancton. En amarillo las algas de Calima y en azul las de Sonso.

La Tabla 5.2 muestra el índice de Shannon, tanto en la laguna de Sonso como en el embalse Calima. Se observa una diversidad mayor en el embalse Calima que en Sonso, sin embargo las dos presentan una diversidad media. Para el índice de Simpson (1-D), los valores muestran una diversidad relativamente alta. La equitabilidad fue moderada debido a que algunas especies fueron más frecuentes, como en el caso de las Cyanofitas en Sonso y las diatomeas en Calima

	Laguna Sonso	Embalse Calima
# Taxones	26	23
Índice Simpson 1-D	0.8519	0.8626
Índice Shannon	2.227	2.479
Equitabilidad	0.7755	0.7907

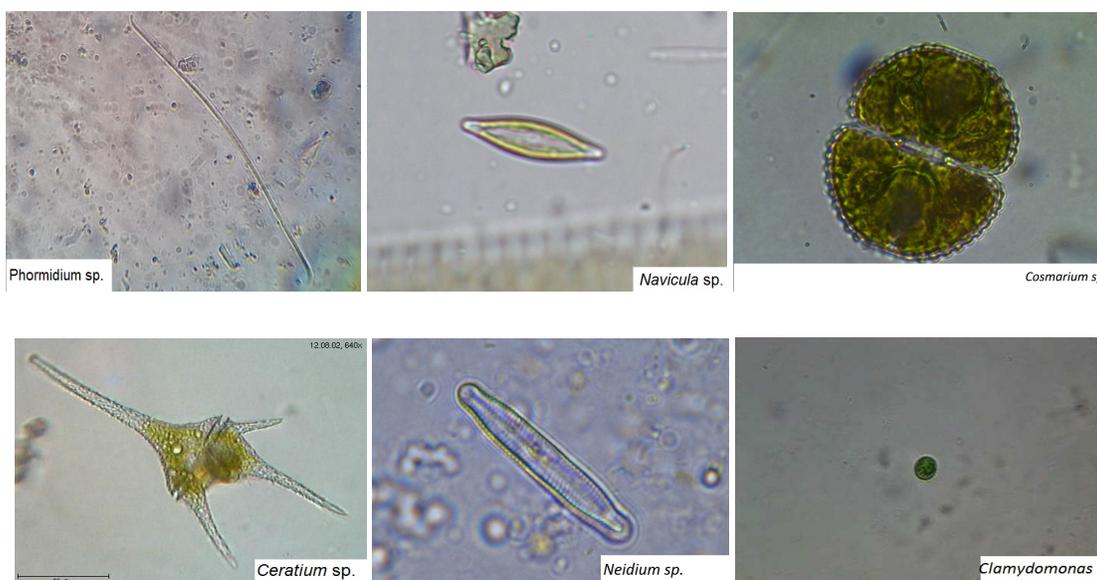
Tabla 5.2: Índices ecológicos para el fitoplancton de la laguna de Sonso y del embalse del Calima

Se observa en la Tabla 5.3 la abundancia de los morfotipos más frecuentes en términos de células por mL. Las Cyanophytas y las diatomeas (Bacillariophyceae) fueron los grupos más abundantes para la laguna Sonso y el Embalse del Calima, respectivamente. Por otra parte, la abundancia total (cel/mL) fue mayor en la Laguna de Sonso.

	Laguna Sonso	Embalse Calima
<i>Chlorophyceae</i>	283,383838	405,813492
<i>Euglenophyceae</i>	114,267677	7,18253968
<i>Bacillariophyceae</i>	612,474747	1634,02778
<i>Cyanophyta</i>	1645,45455	186,746032
<i>Desmidiaceae</i>	22,8535354	35,9126984
<i>Dinophyta</i>	63,989899	14,3650794
Abundancia total (cel/ml)	2742,42424	2284,04762

Tabla 5.3: Datos cuantitativo de las divisiones de fitoplancton más importantes en términos de densidad (cel/mL)

En la Tabla 5.4 se muestran los datos cualitativos de fitoplancton (cel/ml). Como se mencionó, la morfoespecie fitoplanctónica más abundante para la muestra la laguna de Sonso fue *Phormidium* sp. y para el embalse Calima fue *Navicula* sp.



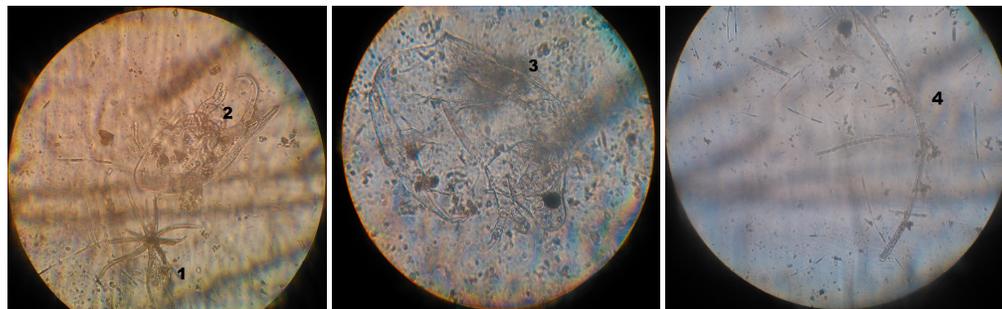
Gráfica 5.2: Imágenes de algunas algas fitoplanctónicas. *Phormidium* sp y *Navicula* sp abundantes para la laguna de Sonso y el embalse Calima, respectivamente. *Closterium* sp. y *Cosmarium* sp., morfoespecies poco abundantes en la laguna de Sonso y en el embalse Calima, respectivamente (40x)

	Laguna Sonso	Embalse Calima
Morfoespecie	Abundancia	Abundancia
<i>Scenedesmus sp.</i>	13,7121212	25,1388889
<i>Chlorella sp.</i>	91,4141414	61,0515873
<i>chlorococcales</i>	50,2777778	0
<i>Oedogonium sp-</i>	73,1313131	168,789683
<i>characium sp.</i>	18,2828283	0
<i>Microspora sp.</i>	0	21,547619
<i>Chorophyta indeterminada</i>	0	125,694444
<i>Ulothrix</i>	18,2828283	0
<i>coelastrum sp.</i>	18,2828283	3,59126984
<i>Trachelomona</i>	68,5606061	7,18253968
<i>Lepocinclis</i>	45,7070707	0
<i>Navicula sp.</i>	123,409091	718,253968
<i>Eunotia sp.</i>	59,4191919	107,738095
<i>Stauroneis sp.</i>	50,2777778	43,0952381
<i>Neidium sp.</i>	31,9949495	0
<i>Pinnularia sp.</i>	63,989899	125,694444
<i>Synedra sp.</i>	132,550505	237,02381
<i>Cyclotella sp.</i>	0	53,8690476
<i>Cymbella sp.</i>	22,8535354	75,4166667
<i>Melosira sp.</i>	91,4141414	197,519841
<i>Fragilaria</i>	36,5656566	75,4166667
<i>Oscillatoria sp.</i>	237,676768	43,0952381
<i>Anabaena sp.</i>	361,085859	0
<i>Gloeocapsa</i>	0	79,0079365
<i>Phormidium sp.</i>	914,141414	0
<i>Raphidiopsis sp.</i>	82,2727273	64,6428571
<i>lyngbya sp.</i>	50,2777778	0
<i>Cosmarium sp.</i>	0	17,9563492
<i>Closterium sp.</i>	22,8535354	0
<i>Staurastrum sp.</i>	0	10,7738095
<i>Desmodium sp.</i>	0	7,18253968
<i>Ceratium sp.</i>	13,7121212	0
<i>peridinium sp.</i>	50,2777778	14,3650794

Tabla 5.4: Densidades (cel/ml) de morfoespecies fitoplanctónicas en Sonso y Calima

Zooplancton

Las especies zooplanctónicas presentes en las muestras de zooplancton fueron pocas. En la Gráfica 5.3 se muestran algunos ejemplos. En las Tablas 5.5 y 5.6 se registran los datos de abundancia.



Gráfica. 5.3. 1. *Astramoeba radiosa*: Especie de cuerpo esférico. Se alimenta de ciliados y rotíferos y tiene una capa mucilaginosa. Esta presente en lagos y estanques. 2. *Alona quadrangularis*: pico y boca en posición orto, taxón más grande en cladocera. Generalmente bentónicos. 3. *Ceriodaphnia reticulata*: boca hacia abajo, sin pico ni pliegues branquiales. En litoral de estanques y aguas poco extensas. 4. Nemátodo indeterminado.

Tabla de individuos contados para: Muestra de 5mL diluida 5 veces (1 mL), extrapolación a 5mL.

En 1 mL diluidos		
Taxón	Laguna de Sonso	Embalse Calima
<i>Astramoeba radiosa</i>	58	24
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	3	1
<i>Alona quadrangularis</i>	0	1
<i>Nemátodo indet.</i>	1	0
En 5 mL de muestra		
Taxón	Laguna de Sonso	Embalse Calima
<i>Astramoeba radiosa</i>	290	120
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	15	5
<i>Alona quadrangularis</i>	0	5
<i>Nemátodo indet.</i>	5	0

Tabla 5.5: Datos de zooplancton en muestras diluidas (1 mL) y su correspondiente conversión a 5 mL.

Densidad de Ind/Litro		
Taxón	Laguna de Sonso	Embalse Calima
<i>Astramoeba radiosa</i>	161	40
<i>Ceriodaphnia reticulata</i>	8	2
<i>Alona quadrangularis</i>	0	2
<i>Nemátodo indet.</i>	3	0

Tabla 5.6: Datos finales de Zooplancton en individuos/L.

DISCUSIÓN

La laguna de Sonso tuvo más morfoespecies de fitoplancton (26) que el embalse del Calima (23). Sin embargo, de acuerdo a los índices de diversidad y dominancia (Tabla 5.2), los dos ecosistemas acuáticos son similares. No obstante, en el embalse Calima se registró un índice de diversidad de Shannon mayor, mientras que la dominancia (D) fue mayor en la laguna de Sonso. Esto indica que tienen una equitabilidad menor que la del embalse.

Se puede decir que en cada ecosistema léntico existe alguna especie que es más dominante que las demás. Al observar la Tabla 5.1 y la Gráfica 5.1 se deduce que la morfoespecie más dominante es *Phormidium* sp. (33,33% de abundancia) en la laguna de Sonso y *Navicula* sp. (31,45 %) en el embalse Calima.

Al analizar la dominancia de estos grupos fitoplanctónicos se puede inferir que la laguna de Sonso está en un estado eutrófico. Esto puede deberse a los nutrientes y fertilizantes (compuestos nitrogenados y fosfatos) que se aplican a los cultivos de la caña de azúcar, que por escorrentía u lixiviación pueden llegar a la laguna (ASOYOTOCO, 2007). La eutrofia debida a los aportes alóctonos de nutrientes ha sido confirmada por autores como Carlson (1977), Cole (1998) y Reynolds (1984). La abundancia de los grupos de fitoplancton parece responder positivamente al grado trófico en el que se encuentra cada ecosistema acuático. De acuerdo a los datos cuantitativos de densidades de células por mL, en la laguna de Sonso el grupo taxonómico más abundante correspondió a las cianobacterias, las cuales indican un estado eutrófico. Para el embalse Calima fueron las diatomeas (Bacillariophyceae) las más abundantes, lo que indica un estado oligotrófico. Sin embargo, los autores mencionados señalan que entre los diferentes géneros de diatomeas se puede presentar algunas que son más sensibles que otras de acuerdo a niveles de nutrientes, por lo que se puedan presentar diatomeas en aguas eutróficas.

En el zooplancton de Sonso las amebas alcanzaron 161 individuos/L. La ameba *A. radiosa* tiene hábitos depredadores-detritívoros y en la laguna tiene abundantes recursos alimenticios. Las otras especies como los cladóceros tienen hábitos más activos de filtración, consumiendo algas y bacterias. Se encuentran en mucha menor cantidad (2 individuos/L) en Calima, indicando también marcada competencia. En Calima parecen ser indicadores de un ambiente oligotrófico, en compañía con otros crustáceos macroinvertebrados. En el embalse no se hallaron nemátodos en la columna de agua, mientras que Sonso fueron abundantes, lo que confirma que ésta corresponde a un ambiente más eutrófico. La presencia de dos especies de cladóceros en Calima puede explicar en parte la menor abundancia de fitoplancton en ese embalse, ya que dichos microcrustáceos actúan como consumidores de algas (Conde-Porcuna *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

Se evidenciaron organismos específicos, tanto del fitoplancton como del zooplancton, en la laguna de Sonso y el embalse del Calima según su estado trófico. En Sonso el grupo fitoplanctónico más abundante fue el de las cianobacterias, con la morfoespecie *Phormidium* sp como la más representativa. En el zooplancton el taxón más abundante fue *Astramoeba radiosa*, un organismo que prospera cuando hay abundante fitoplancton y que es resistente a la contaminación del agua. Por otra parte, el embalse Calima mostró a las Bacilariofíceas (diatomeas), en especial a la morfoespecie *Navicula* sp., como el grupo fitoplanctónico más abundante. En el zooplancton de este embalse la especie más abundante fue también *Astramoeba radiosa*, pero no en la misma proporción que en la laguna de Sonso. En Calima se presentaron dos especies de cladóceros, lo que indican un ambiente con menos grado de trofía. Tanto *C. reticulata* como *A. quadranguaris* son organismos que se alimentan de fitoplancton y de dendritos, por lo cual limitan la abundancia de algas y esto puede ayuda a mantener un estado oligotrófico en el embalse.

REFERENCIAS

- ASOYOTOCO. (2007). Plan de Manejo Ambiental Integral Humedal Laguna de Sonso Municipio de Guadalajara de Buga. Santiago de Cali. pp:106-110.
- CARLSON, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 22. pp: 361-369.
- CHAPARRO, V. (2007). Plantas no vasculares: Módulo Algas. Bogotá. Universidad Nacional de Colombia.
- COLE, G. (1988). Manual de Limnología. Argentina. Editorial Hemisferio Sur S.A.
- CONDE-PORCUNA, J.M., RAMOS-RODRÍGUEZ, E. & MORALES-BAQUERO, R. (2004). El zooplancton como integrante en la estructura trófica de los sistemas acuáticos lénticos. *Ecosistemas* 2.
- COX, E. (1996). Identification of freshwater diatoms from live material. Oxford: Chapman & Hall.
- LUQUE, M. & MARTÍNEZ, A.L. (2003). Distribución temporal del fitoplancton y epilíton en el río Piedra Blanca (Córdoba, Argentina). *Limnetica* 22(3-4):19-34.
- MARGALEF, R. (1983). Limnología. Barcelona, Ed. Omega.
- NEEDHAM, G. & NEEDHAM P.R. (1978). Guía para el estudio de los seres vivos de las aguas dulces. Edit. Reverté.
- NORRIS, R. & HAWKINS, C. (2000). Monitoring river health. *Hydrobiologia.* 435:5-17.

REYNOLDS, C.S. (1993). Scales of disturbance and their role in phytoplankton ecology. *Hydrobiologia*. 249:157-171.

REYNOLDS, C.S. (1984). The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge Univ. Press, Cambridge and New York.

ROLDÁN, G. & RAMÍREZ, J. (2008). Fundamentos De Limnología Tropical. Academia Colombiana De Ciencias Exactas Físicas Y Naturales. Ed. Universidad De Antioquia. 2da Edición.

STREBLE, H. & KRAUTER, D. (1987). Atlas de los Microorganismos de Agua Dulce. Barcelona: Ediciones Omega.

VÁZQUEZ-HURTADO, G., CABALLERO, M., LOZANO, S. & RODRÍGUEZ, L. (2007). Lagos cráter de la región de Los Tuxtlas: limnología, flora algal y estudio paleolimnológico de la deforestación reciente. En: Las aguas Interiores de México. Conceptos y Casos. De la Lanza-Espino, G. (ed.). AGT Editor, S.A. pp. 214-232.

WETZEL, R.G. & LIKENS, G.E. (2000). Limnological analyses. New York: Springer.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE MACRÓFITAS Y VEGETACIÓN RIPARIA EN VARIOS SISTEMAS LÓTICOS Y LÉNTICOS ALEDAÑOS A LA RESERVA YOTOCO- VALLE DEL CAUCA

Laura Quinche¹, Juliana Valencia², Alejandra Andrade³ y Angela Trujillo⁴

¹Departamento de Biología, Facultad de ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Apartado 7495, Bogotá D.C., Colombia. Bogotá; lquincheb@unal.edu.co; ²juvalencia@unal.edu.co;

³aandradesi@unal.edu.co; ⁴aptrujilloyu@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

Unas comunidades muy importantes en los ecosistemas acuáticos son las macrófitas y la vegetación ribereña, pues pueden constituir una gran parte de los organismos productores (Roldán & Ramírez, 2008). Son también responsables de suministrar nichos para otros niveles tróficos, reciclar los nutrientes y estabilizar sedimentos. Durante la fotosíntesis son capaces de incorporar energía en forma de materia orgánica y durante este proceso toman nutrientes del agua y, de manera importante, fósforo y nitrógeno.

Las condiciones ambientales y del agua son clave para el entendimiento de la biodiversidad de la vegetación mencionada, pues existen diversas formas de adaptación a las distintas zonas del ecosistema acuático (Margalef, 1983). Esto se debe a que su forma de crecimiento se relaciona principalmente con la concentración de nutrientes en el agua y su distribución espacial varía en la columna de agua (Margalef, R., 1983). Además, las macrófitas muestran una gran plasticidad en su estructura y morfología, en relación con el cambio de las condiciones medioambientales. Además, integran aspectos como profundidad, velocidad de las corrientes, intensidad lumínica y temperatura (Wetzel, 2001).

Las plantas acuáticas y palustres pueden absorber nutrientes por toda su superficie, lo que les permite crecer rápidamente. Algunas pueden incluso crecer hasta 1 cm al día (Vila, 2006). Cuando las aguas se contaminan con nutrientes, principalmente nitratos y fosfatos, es decir, aguas eutrofizadas, las macrófitas adquieren un desarrollo exuberante (Vila, 2006).

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinación de la presencia de macrófitas (Kiersch *et al.*, 2004):

En cada uno de los lugares se establecieron dos puntos de muestreo en zonas estratégicas que permitieran tener datos lo más preciso posible, respecto a la composición de macrófitas dominantes en dichos sitios.

En cada punto de muestreo se definieron transectos dirigidos desde la orilla hacia el centro del cuerpo de agua en sitios clave tales como afluentes, efluentes, litoral poco profundo y litoral profundo. También se realizó un transecto de 20 m paralelo al litoral del lago. Se utilizaron un decámetro y cuadrantes de 0,5m x 0,5 m. Los cuadrantes se colocaron sobre la vegetación y dentro de ellos se contó el porcentaje del área cubierto por cada taxón vegetal. Dichos datos se ingresaron posteriormente a una base de datos. Adicionalmente, se hicieron observación de la estructura y composición general de árboles y arbustos cercanos al lugar de muestreo de las macrófitas.

Para el análisis de los datos se usó un índice de abundancia relativa, basado en los modelos de presencia-ausencia, para reconocer el tipo vegetal más abundante en todos los cuadrantes. También se calculó la cobertura total de cada tipo vegetal, sabiendo que cada cuadrante tenía 0,25 m² y que estaba dividido en 100 partes; por lo tanto, el número de partes indicó el porcentaje ocupado en el cuadrante. Se hicieron los cálculos necesarios para determinar a que área en m² corresponde dicho porcentaje.

Vegetación ribereña

Para la vegetación ribereña se realizaron transectos de 30 m paralelos al margen del río y se describieron las familias de la vegetación predominante a cada orilla. Posteriormente se hicieron transectos de 10 m paralelos a los anteriores y se desarrolló un perfil gráfico de la vegetación del río. Todas las plantas que componían la vegetación riparia del lugar muestreado se identificaron a nivel de familia.

RESULTADOS

Laguna de Sonso

Fecha: 15 de octubre de 2016

Hora: 8 - 11 am

Ubicación geográfica: 3° 51' 42" N, 72° 21' 29"W

En la laguna de Sonso se observó el dominio del lirio de agua (*Eichhornia crassipes*) y el pasto gramalote (*Paspalum dilatatum*). También estuvieron presentes una rubiaceae y otras plantas cuyas abundancias no fueron significativas. Por ende, se incluyeron en el grupo denominado "otras" (Tablas 6.1 a 6.3). En cada cuadrante la sumatoria de los porcentajes de individuos debería dar un total de 100%. Sin embargo, aquellos cuadrantes que están por debajo de este porcentaje es porque dentro del cuadrante evaluado existían claros o áreas en los que no se encontró ningún individuo de las especies antes mencionada.

Cuadrante	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Pistia estratiotes</i>	Rubiacea	Otras	Cuadrante	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Pistia estratiotes</i>	Rubiaceae	Otras
1	92%	8%				32	95%	5%			
2		100%				33	99%			1%	
3	96%	4%				34	99%	1%			
4		100%				35	100%				
5	96%	4%				36	100%				
6	97,50%	2,50%				37	96%			4%	
7	98%	2%				38	98%	1%		1%	
8	95,50%	4,50%				39	96,50%			2,50%	
9	97,50%	2,50%				40	96,50%	0,50%		0,50%	1,50%
10	94%	6%				41	96,50%	1%		1,50%	
11	100%					42	99,50%	0,50%			
12	99%	1%				43	98%	2%			
13	100%					44	99%	1%			
14	100%					45	98%	2%			
15	98%	2%				46	85%				15%
16	99%			1%		47	97%	3%			
17	97%			3%		48	80%				20%
18	93,50%	3%		3,50%		49	90%				10%
19	70%	30%				50	70%				30%
20	90%	10%				51	50%				50%
21	95%	5%				52	100%				
22	95%	5%				53	100%				
23	95%	5%				54	85%				15%
24	95%	5%				55	100%				
25	99%			1%		56	100%				
26	95%	5%				57	100%				
27	94%				6%	58	100%				
28	90%				10%	59	100%				
29	100%					60	100%				
30	99,05%	0,50%				61	100%				
31	98%	2%				62	75%				

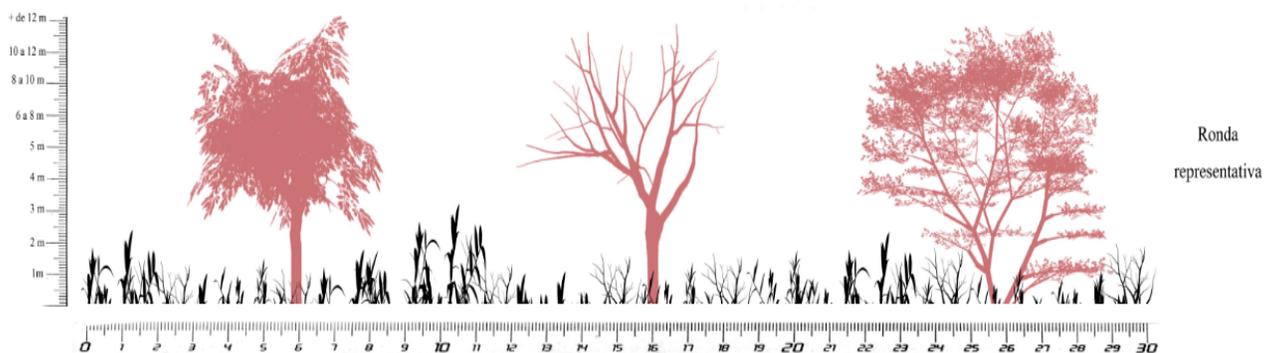
Tabla 6.1. Porcentaje de cobertura en cada uno de los cuadrantes en el punto 1 longitudinal a la orilla del lago

Cuadrante	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Pistia estratiotes</i>	Rubiacea	otras	Cuadrante	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Paspalum dilatatum</i>	<i>Pistia estratiotes</i>	Rubiaceae	otras
1	94%	6%				27		100%			
2	75%	25%				28		100%			
3	77%	33%				29		100%			
4	37%	63%				30		100%			
5	99%	1%				31		5%			
6	97%	3%				32		25%			
7	10%	90%				33	97%	3%			
8	10%	90%				34	98%	2%			
9	10%	90%				35	80%	20%			
10		100%				36	90%	10%			
11	5%	95%				37	80%	20%			
12	20%	80%				38	65%	35%			
13	20%	80%				39	2%	9%			
14	50%	50%				40	75%	25%			
15	70%	30%				41	82%	13%			
16	30%	70%				42	37%	62%			
17	100%					43	90%	10%			
18		100%				44	100%				
19	5%	95%				45	100%				
20		100%				46	100%				
21		100%				47	100%				
22		100%				48	100%				
23		100%				49	100%				
24		100%				50	100%				
25		100%				51	80%	20%			
26		100%				52	100%				

Tabla 6.2. Porcentaje de cobertura en cada uno de los cuadrantes en el punto 1 perpendicular a la orilla del lago.

Cuadrante	Eichhornia crassipes	Marantacea	Paspalum dilatatum	Pistia estratiotes	Rubiaceae	Otras	cuadrante	Eichhornia crassipes	Marantacea	Paspalum dilatatum	Pistia estratiotes	Rubiaceae	Otras
1		100%					24	99%		1%			
2	98%		2%				25	90%		10%			
3	100%						26	90%		10%			
4	98,50%		1,50%				27	95%		5%			
5	100%						28	97%		3%			
6	98,50%		1,50%				29	99,50%		0,50%			
7	75%	25%					30	98%		2%			
8	95%			5%			31	96%		4%			
9	100%						32	98%		2%			
10	100%						33	98%		2%			
11	85%		15%				34	50%		50%			
12	90%		10%				35	65%		35%			
13	74%		1%			15%	36		claro				
14	97%		3%				37	75%					15%
15	97%		3%				38	50%		50%			
16	99%		1%				39	50%		50%			
17	100%						40	95%		5%			
18	96%		3%			1	41	100%					
19	97%		3%				42	95%		2%		3%	
20	90%		10%				43	82%		3%		15%	
21	30%		90%				44	90%		5%		5%	
22	50%		50%				45	95%		5%			
23	70%		30%				46	95%		5%			

Tabla 6.3. Porcentaje de cobertura en cada uno de los cuadrantes en el punto 2 paralelo a la orilla del lago.



Gráfica 6.1. Perfil de vegetación ribereña de la laguna de Sonso.

En la vegetación ribereña de la laguna de Sonso predominan las poaceas y algunas pocas familias de plantas angiospermas como las leguminosas (Gráfica 6.1).

Lago Calima

Fecha: 15 de octubre de 2016

Hora: 2 - 4 pm

En este embalse se realizaron dos transectos de 20 m cada uno, paralelos a la costa, en la zona turística del lago Calima. Se utilizaron los cuadrantes de 0,5X0,5 m y se hizo un transecto perpendicular al espejo de agua de 20 m, entre los dos transectos paralelos.

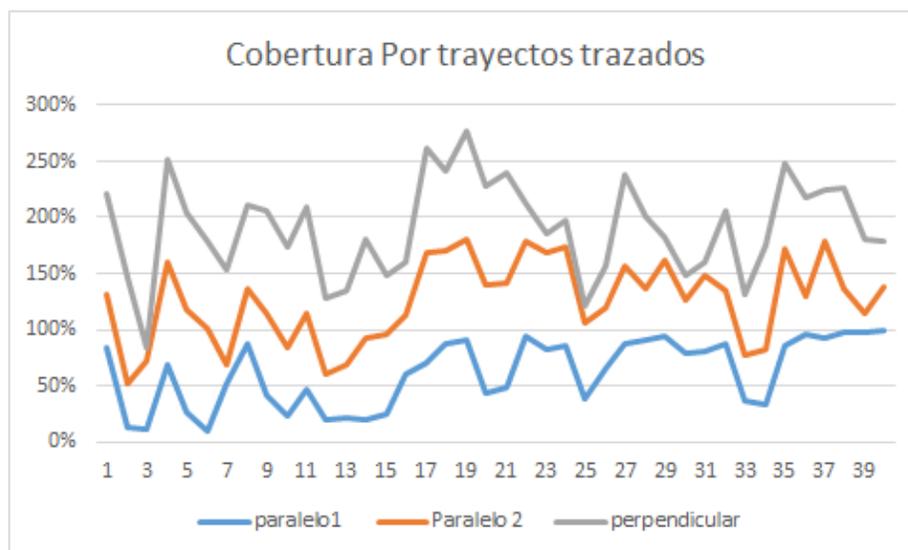
Debido a que es un área turística, la presencia constante de personas hace que la biomasa asociada a la zona litoral sea mínima. Por ende, evaluar por transectos la cantidad de individuos por familia era redundante ya que los valores eran mínimos y aportaban poca información. En consecuencia, se tomaron solo los datos correspondientes a presencia a nivel general, y el porcentaje de biomasa dentro de cada cuadrante (Tabla 6.4 y Gráfica 6.2).

Con respecto a la presencia, las familias que se encontraron en los alrededores y en el litoral del lago Calima fueron: Poaceae, Fabaceae, Malvaceae, Asteraceae, Melastomataceae (Gráfica 6.3).

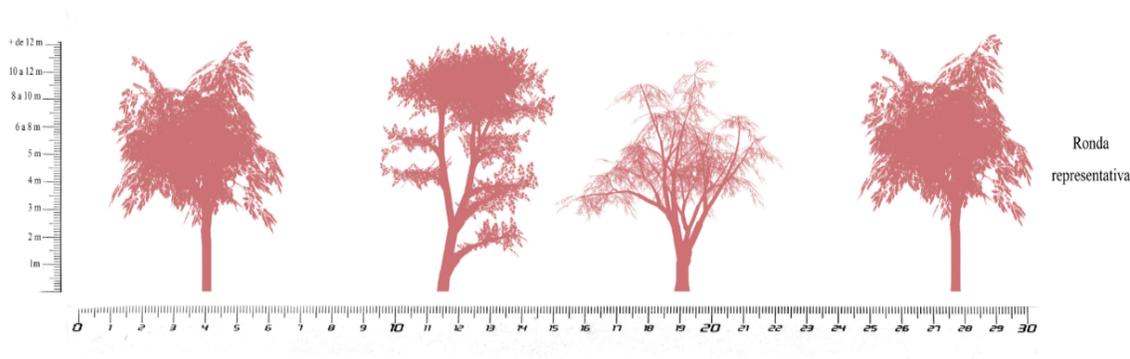
Metros	Paralelo	Paralelo	Perpendicular	Metros	Paralelo	Paralelo	Perpendicular
0,5	84%	48%	90%	10,5	48%	94%	97%
1	12%	40%	94%	11,0	94%	85%	34%
1,5	11%	61%	12%	11,5	83%	86%	17%
2	68%	92%	91%	12,0	86%	87%	25%
2,5	26%	91%	87%	12,5	38%	68%	16%
3	9%	92%	78%	13,0	65%	54%	37%
3,5	52%	17%	84%	13,5	87%	70%	81%
4	87%	49%	75%	14,0	91%	46%	63%
4,5	42%	73%	91%	14,5	94%	68%	20%
5	23%	61%	90%	15,0	79%	48%	22%
5,5	46%	69%	94%	15,5	81%	67%	13%
6	20%	40%	68%	16,0	88%	46%	72%
6,5	22%	46%	66%	16,5	37%	40%	54%
7	19%	74%	87%	17,0	33%	49%	93%
7,5	25%	70%	53%	17,5	85%	87%	76%
8	60%	53%	48%	18,0	96%	33%	88%
8,5	71%	97%	93%	18,5	93%	85%	47%

9	88%	83%	70%	19,0	97%	40%	89%
9,5	90%	91%	96%	19,5	98%	17%	66%
10	44%	96%	88%	20,0	100%	38%	41%

Tabla 6.4. Porcentaje total de abundancia de la vegetación ribereña y las macrófitas en el embalse Calima.



Gráfica 6.2. Cobertura de cada transecto realizado en el embalse Calima



Gráfica 6.3 Perfil de vegetación ribereña del embalse Calima

Río Calima

Fecha: 16 de octubre de 2016

Hora: 7:40 - 10:30 am

Ubicación geográfica: 3°53'30"N, 76°29'30"W

Familias representativas

Se hicieron transectos de 50 m, paralelos a cada orilla del río. En ellos se determinaron las familias representativas (Tabla 6.5) y el perfil de vegetación (Gráfica 6.4).

Transecto	Familias abundantes
Transecto 1	Lauraceae · Fabaceae · Malvaceae · Euphorbiaceae · Verbenaceae · Anagraceae · Ranuvulaceae · Asteraceae · Melastonamateceae · Apiaceae · Poaceae · Rubiaceae · Rosaceae · Liptraceae
Transecto 2	· Poaceae · Jolanaceae · Fabaceae · Asteraceae

Tabla 6.5 Familias abundantes por transecto en la vegetación riparia del río Calima.

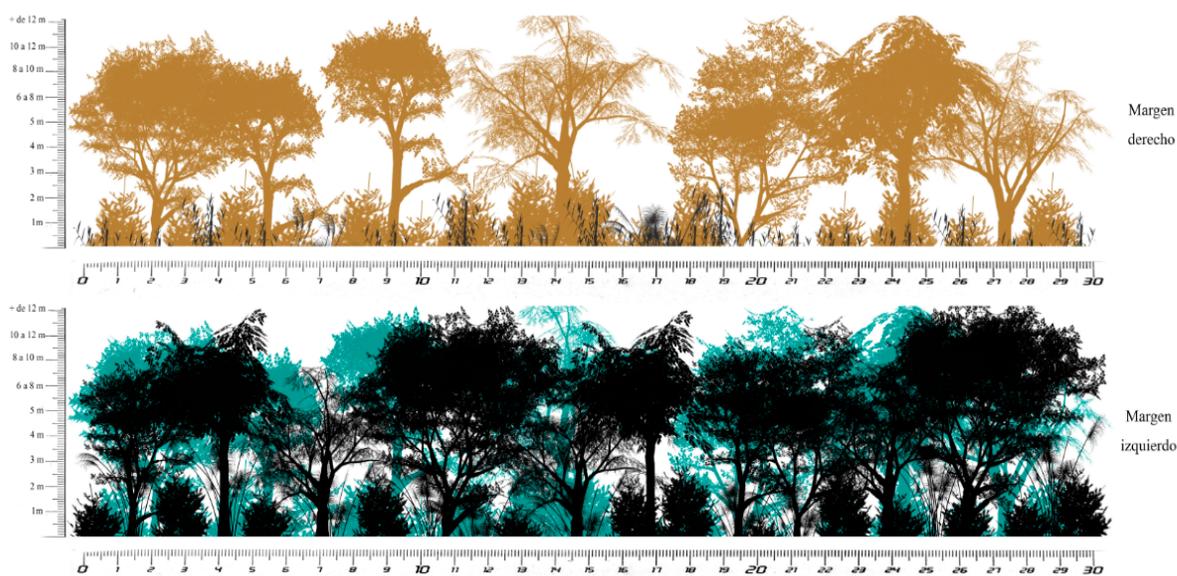


Figura 6.4. Perfiles de vegetación ribereña del río Calima.

Quebrada La Berreadora

Fecha: 16 de octubre de 2016

Hora: 7:40 - 10:30 am

Se tomaron los datos de las familias presentes a cada lado del puente que cruza la quebrada La Berreadora a una distancia de 20 m, partiendo desde el puente como punto cero (Tabla 6.6 y Gráfica 6.5).

Lado de la quebrada	Familia	Distancia del punto 0 (Puente)
Izquierdo	poaceae	6m
Derecho	zingiberaceae	1m
Derecho	Cyrtantaceae	1m
Derecho e Izquierdo	Astaraceae	0,30 m
Izquierdo	Melastomatacea	2m
Derecho	Cyateae	5m
Derecho	Pipereraceae	5m
Izquierdo	Myrtaceae	+10m

Derecho	Zyngiberaceae	5m
Derecho	Inga	2m
Izquierdo	Poaceae	1m
Izquierdo	Araceae	10m

Tabla 6.6 Datos de composición de la vegetación ribereña de la quebrada La Berreadora

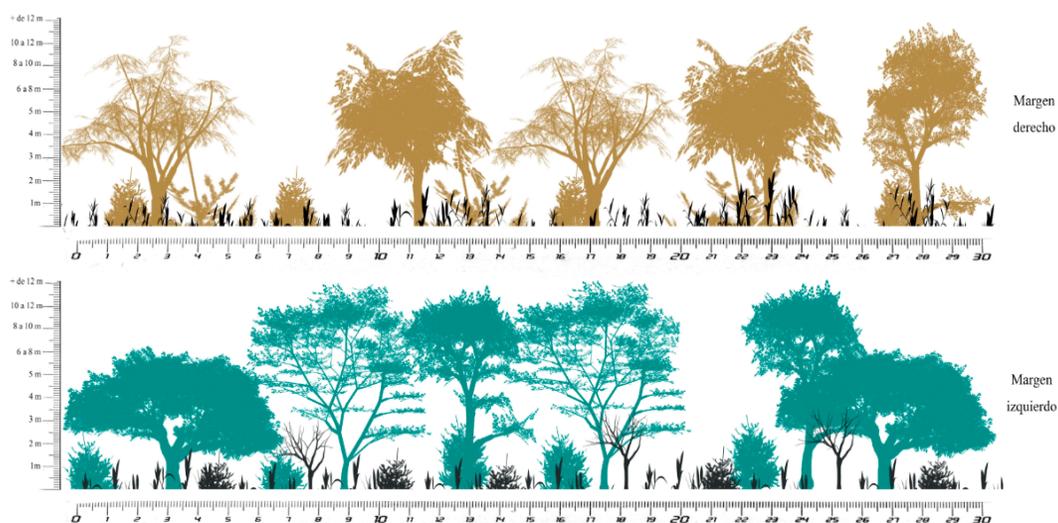


Figura 6.5. Perfiles de vegetación ribereña de la quebrada la Berreadora

Quebrada El Boleo

Fecha: 16 de octubre de 2016

Hora: 2:00 - 3:30 pm

Ubicación geográfica: 3° 57' 30,9''N, 76° 27' 49''W

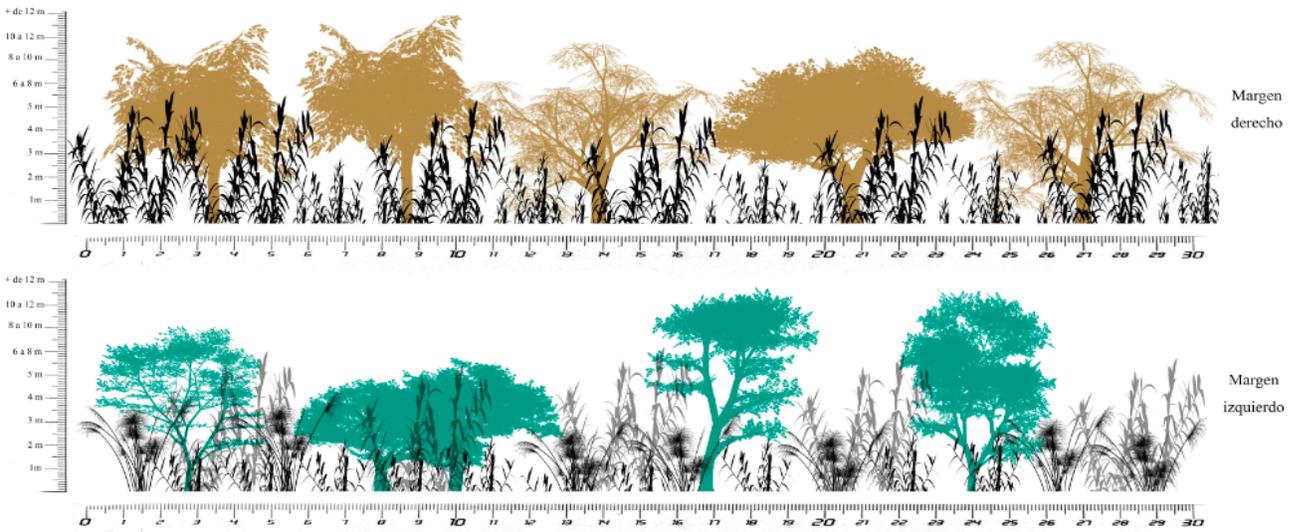
Altitud: 1514 m

Se realizó un transecto de 30 m a lo largo del río describiendo las familias predominantes a cada orilla. Posteriormente, se hizo un transecto perpendicular al primero de 10 m (Tabla 6.7). Finalmente se desarrolló un perfil gráfico la vegetación ribereña (Gráfica 6.6).

Lado derecho del río	Lado izquierdo del río	Perpendicular 10 m
Commelinaceae	Polygonaceae	Rubiaceae
Poaceae (cortadera)	Solanaceae	Polygonaceae
Onagraceae (Iudwina)	Piperaceae	Fabaceae
Astecaceae sp 1	Cyperaceae	Asteraceae
Fabaceae (Martin Galvis)	Poaceae	Piperaceae (Pyper)

Piperaceae (Piper sp)	Juncaceae	Malvaceae
Melastomataceae	Equicetum	Verbenaceae (Rabo de Zorro)
Asteraceae sp 2	Mytaceae	Lamiaceae (Salvia)
Helecho	Fabaceae	Fabaceae (Guama)
Rubiaceae sp 1		Piperaceae
Malvaceae		Zingiberaceae
Verbenaceae		Selaginella (briofito)
Lamiaceae		
Rubiaceae sp 2		

Tabla 6.7 Familias predominantes (paralelas al río) 30m



Gráfica 6.6. Perfil de vegetación predominante alrededor de la quebrada El Boleo

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos en la laguna de Sonso (Tablas 6.1 a 6.3), se puede decir que la especie más abundante fue *Eichhornia crassipes*, la cual estuvo presente y fue dominante en todos los cuadrantes. Su éxito en Sonso puede deberse a no contar con depredadores que la consuman o simplemente a que es la macrófita que se adaptata mejor a las condiciones eutróficas de esta laguna.

En los datos de la Tabla 6.2 la especie con mayor presencia fue *Paspalum dilatatum*, seguida de *Eichhornia crassipes*. Lo anterior indica que estas dos especies vegetales fueron las de mayor dominancia en el sitio muestreado. El gramalote también resulta tener un gran éxito adaptativo en el área de estudio.

El lirio o buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) fue la macrófita dominante en la laguna de Sonso, lo cual repercute de forma negativa en el sistema léntico, dado que disminuye los niveles de oxígeno

del lago, impidiendo que vertebrados como peces puedan vivir allí. Además, conlleva a que haya mayor sedimentación de sólidos en suspensión provocando que la laguna vaya perdiendo profundidad.

Para el lago Calima (Tabla 6.4) se evidencia que en el transecto perpendicular tubo mayor cobertura vegetal. A este le siguió el transecto paralelo 2. El que tuvo menos abundancia vegetal fue el transecto paralelo 1. De lo anterior podemos inferir que, además de que la cobertura no era uniforme en los transectos evaluados, la que menos disturbio presentó fue perpendicular a la orilla del embalse. En estos resultados pueden existir errores de muestreo, pero es más probable que en el área visitada haya una fuerte intervención humana (turismo).

También cabe mencionar que el embalse Calima, a diferencia de la laguna de Sonso, es un lago artificial, formado por el represamiento del río Calima. Presenta fuertes vientos en todos los meses del año, lo que genera corrientes de agua de fuerte intensidad, lo que impide que las macrófitas subsistan y prosperen (Mejía, 2015). Por otro lado, el embalse Calima es un lugar con mucha intervención antrópica, dado que es turístico, lo cual también es un limitante para que se pueda apreciar diversidad en la vegetación.

En lo que respecta a los datos obtenidos del río Calima (Tabla 6.5), la familia que mayor representación tuvo en los 50 m estudiados fue Poaceae. Contrastado con la literatura, observamos que en general en ambientes de ribera es la que mejor se adapta y mejor se dispersa. Además, aunque cuenta con competidores, las demás especies pueden ser depredadas por organismos que habitan cerca de los ríos y esto les representa una ventaja.

Para la quebrada La Berreadora se vió que las familias más representativas fueron Poaceae y Zingiberaceae, en contraste con las demás familias encontradas, lo que demuestra que estas dos familias tienen mayor éxito a borde de quebrada. La quebrada no altera con su crecida el terreno por el que transita, lo cual no lleva a un impacto natural que merme la población de dichas familias. Poaceae es la familia más resistente y con mayor éxito adaptativo a este tipo de zonas.

En la quebrada El Boleo la familia con mayor representación fue Piperaceae. Esta es una familia de angiospermas del orden Piperales que suele ser polinizada por abejas y sus frutos maduros son consumidos por murciélagos (Jaramillo & Manos, 2001). Lo que resulta interesante, pues en un futuro se podría estudiar estas relaciones y cómo se ven afectadas con la presencia de un cuerpo de agua cercano. Otras familias representativas fueron Fabaceae y Rubiaceae. Con menos representantes estuvieron Asteraceae, Malvaceae, Poaceae, Polygonaceae y Verbenaceae. En este sitio observamos la incorporación de más familias y mayor codominancia con otras familias distintas a Poaceae.

CONCLUSIONES

En la laguna de Sonso la especie más abundante fue *Eichhornia crassipes* (buchón de agua), con un alto potencial colonizador, lo que repercute de forma negativa en el sistema léntico, dado que disminuye los niveles de oxígeno del lago y por consiguiente reduce la diversidad de fauna de la laguna.

Debido a su ubicación, el embalse Calima presenta fuertes vientos todo el año. Además, hay mucha intervención antrópica, lo que afecta significativamente la diversidad y la abundancia de las especies vegetales.

En la quebrada La Berreadora se encontraron principalmente familias como Poaceae y Zingiberaceae, que son cosmopolitas y capaces de adaptarse a diferentes ambientes, como el borde de una quebrada. En el río Calima se encontró que la familia Poaceae también fue la más abundante. En la quebrada El Boleo las familias con mayor representación fueron Piperaceae y Fabaceae.

La zona ribereña es una estrecha franja que se ubica adyacente a los ríos, lagos, embalses y humedales, desempeñando importantes funciones ecológicas, como el amortiguamiento de los ingresos de contaminantes derivados de las actividades productivas que generan contaminación difusa y que son las más difíciles de controlar.

Las condiciones en que se encuentren la vegetación riparia y las macrófitas de los sistemas lóuticos y lénticos dan una idea del estado de conservación de los mismos. Entre más diversidad y más estructura haya en la vegetación riparia, mejor responderá a los cambios ambientales y podrá de cierta forma ser más resistente a las modificaciones ocasionadas por las actividades humanas.

REFERENCIAS

JARAMILLO, M.A. & MANOS, P.S. (2001). Phylogeny and patterns of floral diversity in the genus *Piper* (Piperaceae). *American Journal of Botany*, 88(4), 706-716.

KIERSCH, B., MÜHLECK, R. & GUNKEL, G. (2004). Las macrófitas de algunos lagos alto-andinos del Ecuador y su bajo potencial como bioindicadores de eutrofización. *Revista de Biología Tropical*, 52(4), 829-837

MARGALEF, R. (1983). Algas del bentos y macrófitos. En: *Limnología*. Universidad de Michigan. Ediciones Omega, pp. 426 - 469.

MEJÍA SÁNCHEZ, J.F. (2015). Velas y vientos refugio deportivo de inclusión social en el lago Calima (Tesis Arquitectura). Pontificia Unviersidad Javeriana, Bogotá.

ROLDÁN, G. & RAMÍREZ, J. (2008). El ecosistema acuático; Plantas acuáticas. En: *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad Católica de Oriente. Editorial Universidad de Antioquia, pp. 15 - 39; 308 - 323.

VILA, I. (2006). Macrófitas y vertebrados de los sistemas límnicos de Chile. Editorial Universitaria.

WETZEL, R. (2001). Land-water interfaces: larger plants. En: *Limnology: Lake and river ecosystems*. Academic Press, pp. 527 - 575.

CONCLUSIONES GENERALES

FISICOQUÍMICOS

Ecosistemas Lénticos

En cuanto a las variables fisicoquímicas (oxígeno disuelto y temperatura) los cuerpos de agua lénticos (laguna de Sonso y embalse Calima) presentaron, en primer lugar, rangos de temperaturas muy similares, cercanos a los 25°. En el caso de la laguna de Sonso, no se detectó estratificación térmica alguna, mientras que el embalse Calima mostró cierta tendencia a estratificarse. Sin embargo, la diferencia de temperatura fue de 0,4 °C, de manera que no se puede considerar una estratificación real. En el primer caso (Sonso), es posible que se de el comportamiento descrito debido a que la toma de datos se hizo en horas de la mañana, de forma que de haber una estratificación térmica, se habría roto en la noche y se estaría iniciando un nuevo proceso de estratificación. Sin embargo la laguna de Sonso tiene poca profundidad, que tal vez no sea suficiente para la formación de capas térmicas diferenciales. Por otro lado, el embalse Calima tiene mayor profundidad, pero la toma de datos se hizo a una profundidad máxima de 1 metro, lo cual no es representativo de toda la columna de agua; puede que más profundo se presenten cambios de temperatura más significativos. Además, este embalse se caracteriza por la acción de fuertes vientos, de manera que es posible que exista una mezcla continua, especialmente en aguas superficiales, lo que evitaría la formación del gradiente térmico. Estos valores no muestran relación con la cantidad de oxígeno disuelto, ya que el embalse Calima presentó una mayor concentración, probablemente debido a la oxigenación causada por el viento. La transparencia no se pudo contrastar debido a que no se midió en los dos ecosistemas.

Con respecto a las variables químicas, los dos sistemas presentaron un pH dentro de los valores normales para sistemas naturales (Roldán, 1992). Sin embargo, la laguna de Sonso se encontró ligeramente básica, debido posiblemente a bajas concentraciones de CO₂ (consumido por el proceso fotosintético) o a la presencia de sales disueltas. El pH depende normalmente de las características propias de cada lugar (origen, tipo de sedimento, etc). La laguna de Sonso presentó mayores niveles de alcalinidad, lo que posiblemente se deba también a factores antrópicos, como las prácticas agrícolas que suceden sus cercanías. La escorrentía puede aportar una gran cantidad de iones, contribuyendo así a la proliferación de malezas y algas superficiales y acelerando el proceso de eutrofización, el cual es evidente en este ecosistema. Por su parte, la conductividad (que suele verse incrementada por presencia de sales) presentó valores considerados altos para ambos ambientes lénticos, aunque el agua de la laguna de Sonso tuvo mayor dureza que el embalse Calima. Esto sugiere un aporte exógeno de sustancias con altos contenidos de sales en la laguna. Los sólidos suspendidos indican para ambos sistemas aguas claras, pues presentan valores muy bajos. En cuanto a los nutrientes, las concentraciones de nitrógeno y fósforo indican un estado hipereutrófico, en el que, debido a la cantidad de fósforo encontrado, se hace evidente la influencia antrópica sobre estos dos ecosistemas. Otro factor relevante en el aporte de ortofosfatos (como se ha caracterizado en otros sistemas similares) son las quemas. El ion amonio tuvo un menor valor en el embalse Calima, lo cual pudo deberse a su oxigenación, pues este ión pasa rápidamente a formas oxidadas en presencia del

oxígeno. En general, para lagos contaminados la concentración de nitritos suele ser mayor en comparación con los nitratos y el nitrógeno amoniacal, caso que no corresponde a lo hallado ni en la laguna de Sonso ni en el embalse Calima, de manera que estos lugares no presentan este tipo de polución.

Ecosistemas Lóticos

En los tres sistemas lóticos se midieron la temperatura y el oxígeno en un perfil horizontal y en ningún caso se encontraron diferencias significativas, es decir, presentaron una homotermia transversal, de manera que factores como el viento y las corrientes pueden ser responsables de este efecto. El cuerpo de agua con mayor temperatura fue la quebrada El Boleo, seguida del río Calima y de la quebrada La Berreadora respectivamente. Inversamente proporcional se encontraron los valores de oxígeno disuelto, como era de esperarse. Los tres sistemas lóticos evaluados estuvieron dentro de los valores de pH reportados en sistemas naturales. El río Calima y la quebrada El Boleo presentaron altos niveles de sólidos suspendidos, de manera que se consideran aguas turbias, mientras que la quebrada La Berreadora tuvo los valores más bajos, considerándose un sistema de aguas claras. Esto puede deberse a las características propias de cada sistema. Una mayor cantidad de partículas finas provenientes del sustrato y una menor profundidad permitirá un mayor efecto de agentes externos como el viento para provocar mezcla y resuspensión, o una elevada velocidad de la corriente se encargará también de la alta suspensión de partículas ya sedimentadas. Esto explicaría la turbidez de la quebrada El Boleo y el Río Calima respectivamente. La conductividad en ambas quebradas fue mayor a 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando alta productividad o un aporte grande de sustancias disueltas que estarían aportando iones, mientras que el río Calima presenta valores dentro de los calificados como normales. En concordancia, el río Calima mostró el agua con menor dureza mientras que las quebradas tuvieron valores mayores. Ya que el río Calima tiene un mayor caudal y la posibilidad de erosionar, estos datos pueden ser un reflejo del sustrato de cada uno de los sistemas. En cuanto a la alcalinidad, la quebrada La Berreadora fue la de mayor valor (en una categorización media), en comparación con el río Calima y la quebrada El Boleo, que tuvieron registros bajos.

Co respecto a los nutrientes, a diferencia de los sistemas lénticos, en los lóticos se hallaron niveles que indican un estado ultraoligotrófico en la quebrada El Boleo y en el río Calima. En la quebrada La Berreadora no fueron tan bajos, pero contrastaron con el estado hipereutrófico que reflejan El embalse Calima y la laguna de Sonso. Para el río Calima y la quebrada La Berreadora la concentración de fósforo disponible para la actividad de los organismos fue normal. Los valores obtenidos de nitratos y nitritos en los tres casos no indican la presencia de actividad humana significativa, pues las concentraciones fueron cercanas a las referenciadas para sistemas naturales sin intervención.

A manera de conclusión, los parámetros fisicoquímicos en los sistemas lénticos pueden estar evidenciando su proceso de eutrofización, así como también el impacto de actividades humanas que están aportando diversas sustancias alóctonas, conduciendo a que los valores hallados de dureza, alcalinidad y nutrientes sean superiores a los esperados en sistemas naturales. Por otro lado, en los

sistemas lóticos, en caso de existir tal intervención, no fue evidente y las variables encontradas como altas en comparación con otros sistemas (como los sólidos en suspensión y conductividad) pueden deberse principalmente a aportes del sustrato por procesos de erosión o resuspensión de partículas debido a mezcla por corrientes o vientos.

PERIFITON

En los muestreos de perifiton se encontraron diferencias significativas entre los sitios de muestreo, lo que se atribuye a que estos organismos son muy sensibles a cambios espaciales y temporales y a las características propias de cada ecosistema, como la velocidad de la corriente, la exposición al viento, la ubicación geográfica y el tipo de sustrato al que se fijan, entre otras. La mayor abundancia de algas se presentó en las quebradas, lo que se atribuye a la poca profundidad y a la transparencia del agua, ya que permite la entrada de luz que favorece el proceso de fotosíntesis y el crecimiento algal. Al comparar las muestras según el tipo de sustrato, en las provenientes de rocas y de estrujado de raíces fueron más abundantes las bacilariofíceas, mientras que en las de hojas no se observó ninguna prevalencia marcada de algún tipo de alga.

Los géneros más representativo de la laguna de Sonso fueron *Navicula* y *Surirella*. Esta última indica oligotrofia y baja conductividad y *Navicula* señala mesotrofia (en ambientes lóticos). Según la composición de la comunidad perifítica, la laguna de Sonso es un ecosistema mesotrófico, aunque teniendo en cuenta la gran abundancia de macrofitas y la turbidez del agua, se pensaría que se trata de un sistema eutrófico. En cuanto al embalse Calima, allí predominaron los géneros *Synedra* y *Navicula*, indicando de igual forma que este es un sistema mesotrófico. Cabe resaltar que se trata de un ecosistema altamente modificado, por lo que la comunidad de perifiton no puede ser un buen indicador de su estado trófico. Pasando a los sistemas lóticos, en el río Calima predominaron *Navicula* y *Gomphonema*. La presencia de *Gomphonema* indica que se puede tratar de un sistema eutrófico. En cuanto a las quebradas, la información obtenida no concuerda con lo encontrado en la literatura, ya que nuestros datos indican que la quebrada La Berreadora es un ambiente poco diverso y estable, mientras que la quebrada El Boleo se trata de un sistema en sucesión.

MACROINVERTEBRADOS

Establecer la riqueza de las comunidades biológicas es bastante complejo, sobre todo para una región tan amplia como la de Yotoco o para ecosistemas lénticos tan grandes como la laguna de Sonso y el embalse de Calima. Sin embargo, se encontraron 40 familias o morfotipos de macroinvertebrados, correspondientes a 14 órdenes, para esta región. En estudios similares en el Valle del Cauca (Longo *et. al.*, 2010) se han registrado 37 familias o morfotipos, de 11 órdenes. Los órdenes más abundantes en el presente trabajo fueron Gasterópoda (36%) y Ephemeroptera (23%). En el caso de los gasterópodos, estos presentaron mayor abundancia posiblemente debido a que en la metodología de muestreo es más fácil capturar animales sésiles que animales con tasas de movilidad altas. El

orden Trichoptera, representado por la familia Hydropsychidae, fue el más abundante en los tres ecosistemas lóticos. En parte, esto se puede deber a que posee la capacidad de sobrevivir en diferentes tipos de hábitats como rocas, piedras, hojas, arena y grava, siendo organismos tolerantes a aguas con mediano grado de perturbación (Roldán, 1996). Las demás abundancias se presentan en un rango entre 6,7% y 0,2%, representando las 38 familias restantes.

Por otra parte, con base en la bibliografía, se identificó el progresivo deterioro que ha tenido la laguna Sonso durante las últimas décadas, el cual se ve representado en la disminución de la diversidad y abundancia de macroinvertebrados en este ecosistema. Estudios realizados por Mosquera *et al.* (2009) entre los años 1998 y 2006, evidencian esta pérdida de taxones, donde familias de insectos como Limnichidae se han extinguido por completo. Al relacionar los datos obtenidos en los muestreos de la laguna de Sonso con este fenómeno se encontraron correspondencias al observar muy poca diversidad y abundancia de macroinvertebrados, donde solo se registraron siete (7) familias, correspondientes a cuatro (4) órdenes de macroinvertebrados. Aun así, son resultados por debajo de lo esperado, en comparación con los catorce (14) órdenes y las cuarenta y seis (46) familias encontradas por Mosquera *et al.* (2009) en registros de 1998, 2001, 2003 y 2006, hecho que posiblemente puede ser explicado por la ausencia de réplicas y pocos puntos de muestro en la metodología usada en nuestro trabajo.

Se encontró que las localidades con mayores dominancias correspondieron a Sonso y al embalse Calima (0,44 y 0,4 respectivamente). Debemos recordar que las comunidades que presentan dominancias altas suelen ser aquellas en las que alteraciones ambientales de los ecosistemas favorecen a las especies que son más tolerantes a los cambios y por tal motivo las proporciones de individuos de estas especies suelen aumentar. En el caso del embalse Calima, el escaso registro de macroinvertebrados puede atribuirse tanto al bajo esfuerzo de muestreo como a la naturaleza del lugar, es decir, que debido a las subidas y bajadas en el nivel del agua no se puede determinar con certeza el límite entre el ecosistema acuático y terrestre, dificultando los muestreos y estandarización de los resultados. Sin embargo, si bien las fallas técnicas pueden generar ruido, cabe resaltar que estas son áreas de máxima intervención antrópica y de acuerdo a la teoría de disturbio intermedio formulada por Connell (1978), el conteo de especies por localidad disminuirá en función del aumento de la frecuencia o intensidad de los disturbios, como lo es en particular la actividad humana agropecuaria y habitacional en estas localidades.

MORFOMETRÍA

Según la ubicación geográfica y los tributarios que tiene cada ría, las quebradas La Berreadora y El Boleo pertenecen al orden uno, ya que son ríos con poco caudal y poca profundidad, sin tributarios. Por el contrario, el río Calima es de orden tres, ya que es un río que agrupa varios afluentes y presenta un caudal elevado. Además, el caudal de estos cuerpos de agua depende en gran parte de su morfología y de la velocidad de la corriente (Roldán & Ramírez, 2008).

Se evidenciaron errores metodológicos, ya que en el río Calima no se logró aplicar correctamente la ecuación de distancia de mezcla, la cual dio un valor errado de 120 m. Al intentar medir el caudal por el método del marcados químico, la medición de la conductividas se hizo sin que la sal se hubiera mezclado completamente. El caudal se evaluó entonces con el método del objeto flotante, que permitió medir el caudal de manera aproximada. En el caso de La Berreadora no hubo un cambio en la conductividad debido a que no se esperó el tiempo suficiente por la baja velocidad del río. El método de flotador fue ineficiente en esta quebrada debido a la forma del río y la abundante presencia de elementos que obstruían el movimiento del objeto.

El río con mayor profundidad fue el Calima, con un promedio de 0,5 m. A su vez, fue el río con mayor ancho (26 m). Por otra parte, el sustrato corresponde a rocas sedimentarias. La pendiente de este sistema arrojó un promedio de 2%, lo que corresponde a una mínima variación en su inclinación.

Aunque no se hicieron medidas en campo para determinar la morfología de los sistemas lénticos, se puede decir, mediante datos bibliográficos y según lo visto durante la práctica, que la laguna de Sonso está en un proceso de reducción de tamaño y eutrofización como consecuencia del aporte de sólidos del río Cauca y por la sedimentación favorecida por el buchón, que en su proceso de extracción se saca a los bordes y se sedimenta, con la consecuente disminución en la capacidad de almacenamiento de la laguna. El embalse Calima, por otro lado, está en constante intervención debido a que es una zona turística, por lo que los aspectos morfológicos muestran un cambio considerable, producto de las múltiples intervenciones antrópicas, haciendo difícil determinar la morfología original del cuerpo de agua.

COMUNIDADES PLANCTÓNICAS

Se logró identificar parte de la riqueza planctónica de los ecosistemas lénticos que se analizaron. La laguna de Sonso posee mayor número de especies (26) que el embalse del Calima (23), y de acuerdo a los índices de diversidad y dominancia, los dos ecosistemas son similares. Sin embargo, el embalse tuvo un índice de diversidad un poco mayor que Sonso. También se logró identificar que las morfoespecies más dominantes fueron *Phormidium* sp. con el 33,33% y *Navicula* sp. con 31,45 % en Sonso y en Calima, respectivamente. La dominancia de estos grupos fitoplanctónicos permiten inferir que la laguna de Sonso está en un estado eutrófico, al poseer muchos compuestos nitrogenados y fosfatos, probablemente debido a las fertilizantes que se les aplican a los cultivos de la caña de azúcar, que por escorrentía o lixiviación pueden estar llegando a la laguna (ASOYOTOCO, 2007). En de Sonso el grupo taxonómico más abundante fue el de las cianobacterias, las cuales indican un estado eutrófico. Para el embalse Calima fueron las diatomeas (Bacilliarophyceae) las más abundantes, lo que señala un estado oligotrófico. Sin embargo se sabe que entre los diferentes géneros de diatomeas se puede presentar algunas que son más sensibles que otras a los diferentes niveles de nutrientes, por lo que las diatomeas tambien pueden prosperar en aguas eutróficas.

Por otro lado, se vió que Sonso posee una cantidad aproximada de 161 individuos/L de amebas. La ameba (*A. radiosa*) tiene un hábito depredador-detritívoro. Otras especies como los cladóceros, tienen hábitos filtradores, consumiendo algas y bacterias. Estos cladóceros se encontraron en baja cantidad (2 individuos/L en Calima). En Calima son indicadores de un ambiente oligotrófico en compañía con otros crustáceos macroinvertebrados. La presencia de nemátodos en la columna de agua en Sonso indica un ambiente más eutrófico. Hay que tener en cuenta que tanto *C. daphnia* como *A. quadranguaris* son organismos que se alimentan de fitoplancton y dendritos, lo cual limita la abundancia y el crecimiento algal, ayudando a mantener un estado oligotrófico en el sistema.

MACRÓFITAS Y VEGETACIÓN RIBEREÑA

En cuanto a los sistemas lénticos, en la laguna de Sonso la especie más abundante fue la macrófita *Eichhornia crassipes*, conocida como buchón o lirio de agua. Esta planta tiene un alto potencial colonizador, lo que repercute de forma negativa en el sistema léntico, dado que disminuye los niveles de oxígeno del lago. Esto se evidenció en los registros de las variables fisicoquímicas, pues fue el sitio con los menores niveles de oxígeno. En estas condiciones, la fauna (vertebrados y macroinvertebrados) puede ser menos diversa. En el embalse Calima hubo mayor diversidad de plantas, pero menor abundancia, debido a que es un sistema más dinámico y por la alta intervención antrópica. En el embalse Calima la presencia de fuertes vientos y la intervención dada por el turismo, limita el crecimiento y la diversificación de las macrófitas acuáticas.

La vegetación ribereña juega un papel muy importante en proporcionar sombra al cuerpo de agua, reduciendo así la temperatura, por lo que puede disminuir la temperatura en los ecosistemas con una banda densa de vegetación, cercana al cuerpo de agua. Las dos quebradas visitadas se encontraban más cubiertas por la vegetación en comparación con el río y los lagos, lo que puede explicar que la quebrada La Berreadora haya presentado temperaturas más bajas que el río Calima. La composición de la vegetación riparia depende de factores como la intensidad lumínica, el contenido de agua y la granulometría del suelo. Los resultados de abundancia en los diferentes sitios muestran la capacidad de ciertas especies para adaptarse a estas condiciones propias de cada ecosistema. En la quebrada La Berreadora y en el río Calima la familia Poaceae fue muy abundante. Esta es una familia que se adapta y se dispersa muy bien en la ribera. En la quebrada El Boleo la familia con mayor representación fue Piperaceae.

Bibliografía

- ASOYOTOCO. 2007. Plan de manejo ambiental integral humedal laguna de Sonso municipio de Guadalajara de Buga. Convenio 136 del 2005.
- CONNELL, J.H. (1978). Diversity in tropical rain forests and coral reefs. Science 199: 1302-1310 pp.

LONGO, M., ZAMORA, H., GUISANDE, C. & RAMÍREZ, J. (2010). Dinámica de la comunidad de macroinvertebrados en la quebrada Potrerillos (Colombia): Respuesta a los cambios estacionales de caudal. *Limnetica*, 29 (2): 195-210 pp.

MOSQUERA, D., PALACIOS, M., MUÑOZ, E., SOTO, A., & PEÑA, S. (2009). Diversidad de los Macroinvertebrados Acuáticos de La laguna de Sonso, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Ciencias Universidad del Valle*.

ROLDÁN, G. (1992). *Fundamentos de limnología neotropical*. Colección Ciencia y Tecnología. Editorial Universidad de Antioquia.

ROLDÁN, G. (1996). *Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquía*. Bogotá, Colombia: Fondo FEN. 218p.

ROLDÁN, G. & RAMÍREZ, J.J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. Universidad de Antioquia.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Universidad Nacional de Colombia por brindarnos un espacio de trabajo adecuado y las herramientas básicas para la realización de la fase campo y fase laboratorio del presente análisis, al docente Gabriel Pinilla por la asesoría brindada en la realización de los experimentos ejecutados, a todos los miembros encargados de la Reserva Yotoco por su gentil acogida, a nuestro guía de campo en el Valle del Cauca, Darío Dávila, y al laboratorista de Ecología, Gustavo Torres, por su amable ayuda en el uso de los materiales del laboratorio.