

## **DIATOMEAS PERIFÍTICAS DE LAGOS CON DIFERENTE ESTADO TRÓFICO EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA (COLOMBIA)<sup>1</sup>**

SANDRA MORALES VELASCO<sup>2</sup>  
MARGARITA SALAZAR SÁNCHEZ<sup>3</sup>

**Recibido el 20 de febrero de 2012 y aprobado el 8 de septiembre de 2012**

### **RESUMEN**

La presencia y ausencia de especies fitoperifíticas han sido utilizadas como indicadores de estado trófico de los sistemas acuáticos, entre las que se destacan las diatomeas, tal situación y la carencia de información para el departamento del Cauca, llevó a que en tres lagos con diferentes estado trófico, se evaluara y realizara un raspado del perifiton adherido a las placas plásticas establecidas. Se muestreó de las partes externas, medias e internas de cada placa. La muestra colectada fue preservada en Lugol-acético. Los lagos presentaron diferencias en cuanto a las características fisicoquímicas del agua, que determinaron el estado trófico de cada uno, de acuerdo a esto los rangos establecidos para nitritos, nitratos y fósforo total, tipificaron al lago 1 como oligotrófico; el lago 2 meso-oligotrófico y el lago 3 eutrófico. En los tres lagos predominaron las diatomeas, sin embargo, el lago 3 difiere de los otros lagos por la alta dominancia del número de especies y la mayor abundancia de Gomphonema, condición que se refleja en valores bajos para el índice de equidad de Pielou.

### **PALABRAS CLAVE**

Diatomeas perifíticas, lagos, estado trófico, estructura, composición

### **PERIPHYTIC DIATOMS OF LAKES WITH DIFFERENT TROPHIC STATE IN THE DEPARTMENT OF CAUCA (COLOMBIA)**

The presence and absence of Phyto-periphytic species have been used as indicators of trophic state of the aquatic systems, among which diatoms are emphasized. That situation and the lack of information for the department of Cauca, brought to the evaluation of three lakes with different trophic state and the performance of a adhered periphyton scrape in the plates established .. Samples were taken form the internal, medium and outer parts of each plate. The collected sample was preserved in Lugol-acetic acid. The lakes showed differences in the physicochemical

characteristics of water, which determined the trophic state of each. According to this, the established ranges for nitrites, nitrates and total phosphorus, typified Lake 1 as oligotrophic, Lake 2 as meso-oligotrophic and Lake 3 as eutrophic. Diatoms predominated in all lakes but the Lake 3 differs from the other lakes in the high dominance of the number of species and greater abundance of *Gomphonema*, a condition that is reflected in low values for Pielou equitability index.

## KEY WORDS

Phyto-Periphytic, lakes, Trophic state, Structure, Composition

---

## INTRODUCCIÓN

La evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos, se ha desarrollado tradicionalmente en Colombia con base en las características físicas y químicas del agua, a pesar de las ventajas comparativas que ofrece la utilización de indicadores biológicos, que permiten cuantificar y cualificar los impactos generados por las actividades antropogénicas. Para tales efectos se han consolidado diferentes técnicas, divididas en cuatro categorías: índices bióticos, análisis multivariados, índices de diversidad y el análisis de la relación abundancia-especies (Lobo *et al*, 1999); los cuales muestran por ejemplo, una alta correspondencia entre las concentraciones de nutrientes (fosfatos y carga orgánica) como ocurrió en el Arroio Sampaio (Brasil) y la composición de la comunidad de diatomeas (*Bacillariophyta*), de acuerdo al estado trófico de las estaciones donde se realizaron los muestreos (Rodríguez & Lobo, 2000).

En Colombia, particularmente en el departamento del Cauca, se practican aplicaciones de agroquímicos al suelo, que por diferentes razones se depositan en el agua, lo que ocasiona fluctuaciones en la evolución y funcionamiento de las poblaciones fitoplanctónicas (Modesto-Iregui, 2002), las cuales proliferan bajo determinados aportes de elementos o desaparecen de la totalidad, o de parte de la comunidad inicial, dando origen a comunidades típicas o especies indicadoras, las cuales dependen de factores específicos para cada grupo taxonómico (Viña *et al*, 1991). Condición que expone a las comunidades algales, como grupos potenciales para evaluar impactos temporales en el medio, puesto que presentan ciclos de vida cortos y están influenciados por variables, que no tienen efecto sobre organismos heterotróficos, como en el caso de los herbicidas (Reynolds, 1984).

Algunos estudios realizados en el departamento del Cauca documentan la variación de las comunidades fitoplanctónicas en aguas azufradas (Salazar-Sánchez, Naundorf y Medina-Tombé, 2011), otros autores documentan ensamblajes algales y la funcionalidad dentro del sistema (Naundorf, 1990) y se han generado inventario de diatomeas en humedales; sin embargo este tipo de información es escasa, y dada la relevancia que tienen las Bacillariophitas en la bioindicación, se identificaron las diatomeas perifíticas presentes en tres lagos del departamento del Cauca asociadas a placas artificiales, durante un período de lluvia y otro de sequía; evidenciando diferencias a nivel biótico y la influencia de variables fisicoquímicas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se eligieron tres lagos presentes en la formación “Meseta de Popayán” (Figura 1); constituida por suelos poco evolucionados geológicamente y ácidos, que contienen una alta cantidad de aluminio y bajos porcentajes de calcio y fósforo (Negret y Torres, 1997).

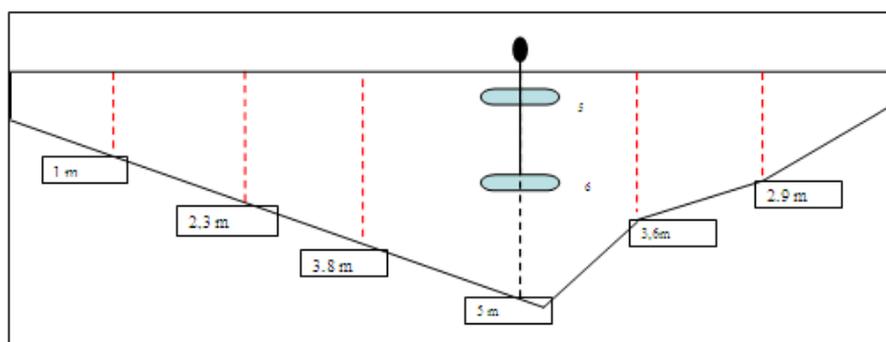


**FIGURA 1.** Mapa de Localización de los tres lagos estudiados.

El área de estudio es de topografía ondulada, con fuertes pendientes correspondientes al sistema de colinas, caracterizada por estar integrados por los materiales propios de la formación Popayán que se formaron a partir de erupciones volcánicas que dieron origen al piso y posteriormente una serie de erupciones

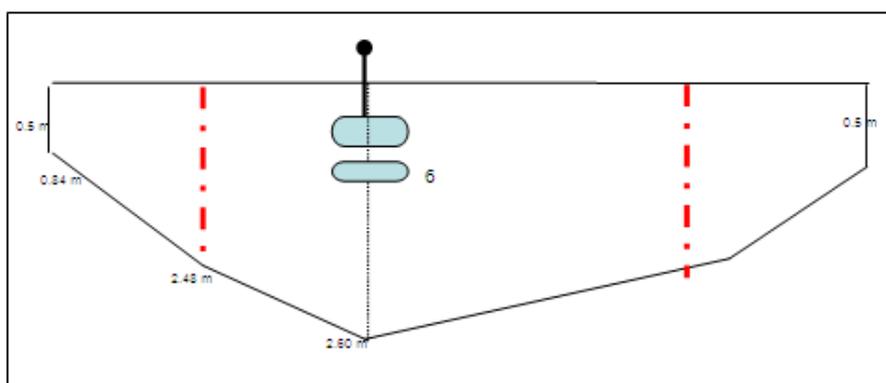
menores recubrieron la meseta con ceniza volcánica, alcanzando profundidades de más de 30 metros, Los rasgos más sobresalientes de los suelos son la ceniza volcánica, el alto contenido orgánico y un pH que varía entre 5.3 y 5.5 (Negret y Torres, 1997).

**El lago 1.** El origen es fluvial y estuvo conectado con el río Cauca, por medio de flujo subterráneo y superficial, formaba humedales continuos, pero la construcción del anillo vial de la variante fragmentó el sistema, en lagos que se encuentran en las márgenes de la carretera (Negret y Torres, 1997). La profundidad varía entre 0.3 y 5.05 m, el valor de Secchi es de 1.8 m, coeficiente de atenuación de Luz de 3.06 m y una zona fótica de 4.86 m (Figura 2).



**Figura 2. Perfil del lago 1**

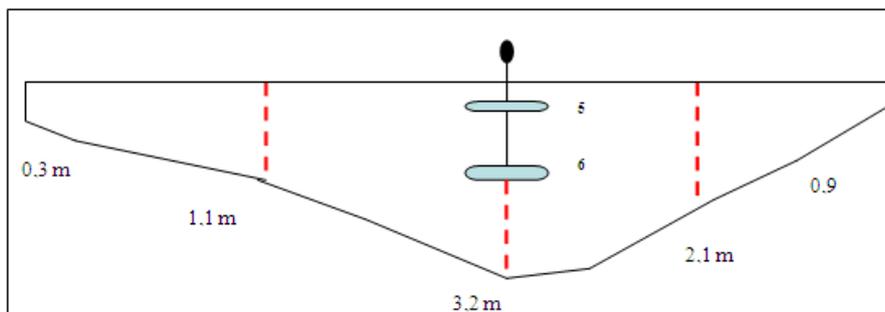
**Lago 2.** Formado por un humedal de la quebrada Piedras y sumado a los procesos de percolación, escorrentía y lixiviación formaron el espejo de agua, de color oscuro y frías, similares a las de turbera (Valencia, 2004). La profundidad total es de 2.6 m, valor de Secchi de 0.4 m, coeficiente de atenuación de 0.68 m y una zona fótica de 1.08 m (Figura 3).



**FIGURA 3. Perfil del lago 2**

**Lago 3.** Se formó por deslizamientos de masas de tierra y un

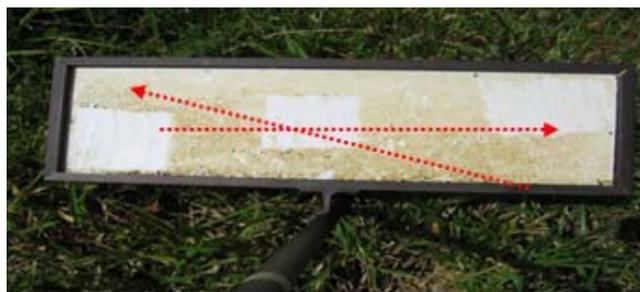
represamiento; es frecuente en el trópico, donde las precipitaciones son altas y el terreno ha sido desestabilizado por la erosión y construcción de vías (Valencia, 2004). En la **figura 4** se muestra la profundidad total es de 3.2 m, valor de Secchi de 0.74 m, coeficiente de atenuación de 1.25 m y una zona fótica de 1.9 m.



**FIGURA 4.** Perfil del lago 3

**Recolección y tratamiento de muestras.** En cada lago se realizaron 6 muestreos cada quince días, 3 en época seca y 3 en la de lluvia; teniendo en cuenta la penetración de luz se colocaron 6 placas de acrílico (20 x 60 cm) en cada uno de los lagos (6), las placas 1 y 2: entrada del flujo de agua, 3 y 4 salida; y 5 a 20 cm de la superficie del agua y 6 en el punto de mayor profundidad.

Se realizó un raspado del perifiton de las partes externas y medias de las placas, variando para obtener un raspado total (**Figura 5**). El muestreo se enfocó sobre la dinámica de las diatomeas, ya que, al ser totalmente dependientes del medio acuático responden a las condiciones en las cuales se encuentran. Además, sus respuestas varían según los requerimientos o reacciones que presenten ante las condiciones particulares de cada ambiente (Castro, 2009; Roldan, 1988 y 1992). La muestra se colocó en un recipiente de 50 ml, al que se le adicionó Lugol-acético para la fijación de las especies (Ferreiro & Sala, 1995), para posterior limpieza de los frústulos de diatomeas (Simonsen, 1974; Carlson, 1984). Para la identificación, se tomaron fotografías en la unidad de microscopía electrónica de la Universidad del Cauca, donde se trabajaron técnicas de contraste de fase y MET; se tomaron como base diferentes claves y guías para la identificación de las algas (Cox, 1996; Rivera, 1981; Rivera, 1983; Blanco y Sánchez, 1993) entre otros.



**FIGURA 5.** Recolección de Diatomeas perifíticas

**Parámetros Físicoquímicos.** Con el fin de establecer el estado trófico de los lagos, se midieron nitritos (NO<sub>2</sub>-), nitratos (NO<sub>3</sub>-), amonio (NH<sub>4</sub>), aluminio (Al-), hierro (Fe-), cloruros (Cl-), fósforo Total–ortofosfato PMB (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-) y turbidez (UNT).

**Estructura y composición de la comunidad.** Se desarrollaron los parámetros estructurales de la comunidad perifítica a través de su abundancia, riqueza, diversidad y uniformidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Estado Trófico.** Describe la cantidad de nutrientes que llegan a un ecosistema acuático (Margalef, 1974), depende de las características batimétricas, biológicas (biomasa, bioindicadores, etc.) y químicas (oxígeno, nutrientes) del agua (Roldan, 1992). De acuerdo con lo anterior, se registró lo siguiente:

**Lago 1.** De acuerdo a los valores promedios para nitritos (0.028 mg/l), nitratos (0.28 mg/l) y fósforo total (0.017 mg/l) muestran una oligotrofia, ya que estos valores oscilan entre 0.0 –0.5 para Nitritos (mg/L), 0.0 – 1.0 Nitratos (mg/L) y < 0.027 fósforo Total (mg/L) (Vollenweider, 1968; Toledo, 1992), con una relación directa con la turbidez (11.7 UNT) puesto que a menor concentración de nutrientes mayor penetración de luz (96.3 % de la columna de agua) y zona fótica de 4.6 m de profundidad. El oxígeno varió en la columna de agua (6.8 mg/l superficie –6.5 mg/l fondo), el porcentaje de saturación fue del 70% y del 96%, registro alto porque no son evidentes procesos de descomposición de materia orgánica (Melao & Rocha, 1999). Es un lago poco productivo, debido a que elementos como el N y P son escasos, convirtiéndose en limitantes del desarrollo de la comunidad acuática (Begon & Townsend, 1999), razón por la cual, el desarrollo de macrofitas acuáticas se limitó a la entrada de flujo de agua y no presentó sucesión durante el período del estudio, concentrándose en la zona del litoral, donde existen más aportes procedentes de los ecosistemas terrestres aledaños (Norris & Hawkins, 2000). Se identificó un macroinvertebrado del generó *Moribaetis* sp. (Ephemeroptera: Baetidae) asociada a la vegetación del talud del lago y es considerado como bioindicador de lagos oligotróficos (Roldan, 1988).

**Lago 2.** Los valores promedios para nitritos (0.062mg/l), nitratos (0.35 mg/l) y fósforo total (0.028 mg/l) indican un sistema oligo-mesotrófico, debido posiblemente a los aportes de nutrientes procedentes de la actividad agropecuaria, ya que, alrededor se caracteriza por ser una pradera de kikiuyo (*Pennisetum clandestinum*) y presencia de ganado. Algunos estudios registran que gran cantidad del nitrógeno (N) y fósforo (P) llegan al agua por efecto del pastoreo y son transferidos por procesos como lixiviación y escorrentía a través de las heces fecales, fertilización y destrucción de praderas (Heathwaite & Trudgill, 1990; Jarvis, 2002). Las altas precipitaciones presentadas durante Septiembre y Octubre incrementaron la cantidad de nitritos (0.027 mg/l a 0.053 mg/l), nitratos (0.0248 mg/l a 1.26 mg/l) y cloruros (1mg/l a 4.66 mg/l), este último como resultado de la aplicación de plaguicidas químicos (Carpenter & Cottingham, 1998; Alfaro, Gregory And Jarvis, 2004). Se identificaron tres especies de macrófitas acuáticas; *Azolla sp.*, *Rhynchospora corymbosa* y *Cyper sp.*, asociadas a macroinvertebrados del género *Macrothemis sp.* y *Tramea sp.* (Odonata: Libellulidae) y *Dasythemis sp.* (Odonata: Gomphidae) indicadores de aguas con riberas cenagosas cubiertas con lodo y oligo-mesotróficas (Roldan, 1988). El oxígeno disuelto fue menor con respecto al lago 1 (6.48 mg/l < 3.93 mg/l), debido probablemente a la degradación de la materia orgánica y descomposición bacteriana, que extraen el oxígeno disuelto a un ritmo mayor que el de reposición a partir de la atmósfera (Mazzeo *et al*, 2003). La temperatura (13.2 oC) fue la menor entre los lagos, particularidad unida a la coloración oscura, propia de viejas turberas con suelos ácidos (pH 4-5) y saturados de agua, condición dada por las altas concentraciones de hierro (1.55 mg/l) y aluminio (0.33 mg/l) que provienen del humedal palustre que forma este lago (Valencia, 2004).

**Lago 3.** Los valores promedios para fósforo total (0.357 mg/l) corresponden a condiciones de eutrófico. Condición que pudo darse por el aumento de la carga de nutrientes, dada por vertimientos procedentes de la cría y sacrificio de cerdos, ya que, un alto porcentaje del fosfato ingerido por estos animales es excretado (70 % al 90%) y cuando éste llega al agua, su solubilidad aumenta, estimulando la actividad biológica (Trujillo, 2002). No obstante, las concentraciones de nitritos (0.425 mg/l) y nitratos (1.8 mg/l) indican un sistema mesotrófico. Se registró un incremento considerable de tales nutrientes durante el tercer y cuarto muestreo ( $\text{NO}^3$ , 0.04 mg/l-0.56 mg/l y  $\text{NO}^2$ , 1.28mg/l-2.4 mg/l) que corresponden al final del período de sequía e inicio de las lluvias, condición dada por la movilización del nitrógeno por medio de la lixiviación y del drenaje en exceso durante la época de lluvias (Jarvis, 2002).

La presencia de macrófitas acuáticas es un reflejo de incremento de la eutroficación, dado que el proceso de la descomposición de la materia orgánica es potenciado por la influencia del Sol que acelera la mineralización de la materia orgánica medio descompuesta y la

liberación de nutrientes que son aprovechados por la flora acuática. Se desarrollan por el incremento de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo procedentes de los desechos orgánicos (Ferreira, 2001), se registraron *Typha sp.*, *Cyrtus sp.*, *Salvinia sp.* y *Sagitaria latifolia*, que colonizan la zona de entrada y salida del flujo de agua, donde existe mayor acumulación de nutrientes (Rodríguez, 2002) y constituyen mesohábitats para especies de macrobentos que se alimentan de detritos y sedimentos (Raffaini, Gualdoni, y Oberto, 2003). Se encontraron invertebrados de los géneros *Tubifex sp.* (Tubificidae), *Tipula sp.* (Tipulidae), *Farrodes sp.* (Leptophlebiidae), *Chelifera sp.* (Impidiidae), *Dugesia sp.* (Glossiphoniidae) y *Physa sp.* (Physidae).

### **Composición y abundancia de Bacillariophytas.**

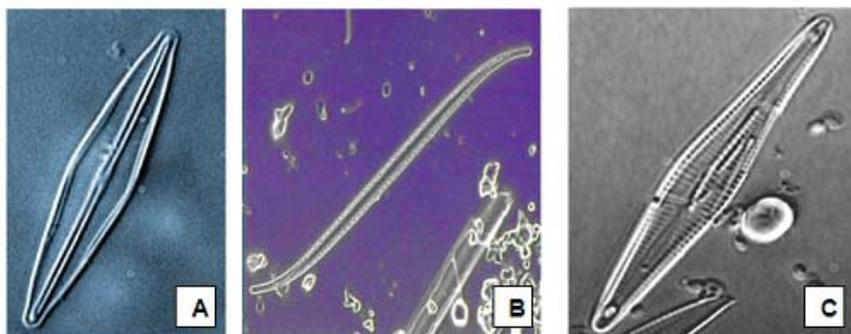
**Variación espacial.** Se registraron 43 especies agrupadas en 9 familias de las cuales 29 se observaron en el lago 1, 32 en lago 2 y 33 en lago 3 (Tabla 1). Estructura y composición de la comunidad de Bacillariophytas.

**TABLA 1.** Composición de la Comunidad de Diatomeas Perifíticas presentes en 3 lagos del departamento del Cauca

TAXON	Lago 1	Lago 2	Lago 3
<i>Coscinodiscus perforatus</i>	0	0	108
<i>Schroderella</i> sp	153	43	25
<i>Cymbella lunata</i>	1804	59	748
<i>Cymbella naviculiformis</i>	0	49	1242
<i>Cocconeis</i> sp	84	27	0
<i>Eunotia bilunaris</i>	40	118	148
<i>Eunotia camelus</i>	0	105	12
<i>Eunotia flexulosa</i>	96	21	449
<i>Eunotia maior</i>	321	82	0
<i>Eunotia pectinalis</i>	62	89	297
<i>Eunotia serra</i>	0	76	3
<i>Eunotia sudetica</i>	28	53	747
<i>Eunotia zygodon</i>	0	62	20
<i>Fragilaria ulna</i>	1086	308	397
<i>Frustulia rhomboides</i>	2800	1059	1224
<i>Gomphonema gracile</i>	0	0	2423
<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	0	0	1894
<i>Gomphonema angustatum</i> var <i>angustatum</i>	0	0	1008
<i>Gomphonema parvalum</i>	0	0	1160
<i>Navicula cryptocephala</i>	815	1447	81
<i>Navicula gregaria</i>	1240	525	183
<i>Nitzschia filiformis</i>	127	333	127
<i>Nitzschia linearis</i>	23	109	3
<i>Nitzschia intermedia</i>	61	185	0
<i>Pinnularia maior</i>	291	853	253
<i>Pinnularia viridis</i>	294	461	57
<i>Pinnularia gibba</i>	293	306	0
<i>Pinnularia divergens</i> var. <i>Ondulata</i>	487	694	36
<i>Pinnularia braunaii</i>	684	814	375
<i>Pinnularia graciloides</i>	309	40	0
<i>Pinnularia abaujensis</i>	151	99	262
<i>Pinnularia mesolepta</i>	112	24	0
<i>Rhopalodia gibba</i>	134	21	0
<i>Stenopterobia curvula</i>	509	1764	79
<i>Surirella</i> sp	84	77	0
<i>Surirella dydima</i>	0	91	83
<i>Synedra ulna</i>	160	77	48
<i>Ulnaria</i> sp	70	0	0
<i>Tabellaria fenestrata</i>	57	33	264
<i>Stauroneis</i> sp	0	42	90
<i>Brachisira</i> sp	0	778	211
<i>Encyonema mesianum</i>	0	68	146
<b>ABUNDANCIA : ni/cm<sup>2</sup></b>	<b>12375</b>	<b>10992</b>	<b>14203</b>
<b>Shannon H' Log Base 2,718</b>	<b>2,67</b>	<b>2,864</b>	<b>2,802</b>
<b>PIELOU: J</b>	<b>0,793</b>	<b>0,799</b>	<b>0,801</b>
<b>RIQUEZA: S</b>	<b>29</b>	<b>32</b>	<b>33</b>

La especie *Frustulia rhomboides* fue predominante en el lago 1 (22.63 %), probablemente por su carácter cosmopolita, asimismo por ser tolerantes a las fluctuaciones de conductividad, temperatura y concentración de nutrientes, situación que se dio en este lago, ocasionado por los cambios en los regímenes pluviométricos, durante el cuarto y quinto muestreo que variaron de 20 mm a 80 mm entre período de muestreo (Trobajo, Cox & Quintana, 2004; Giorgio, Vinocur, Lombardo, Tell, 1991). En el lago 2 la dominancia fue de *Stenopterobia curvula* (16.052 %) característica de lagos con

deficiencia de nutrientes ácidos o húmicas. Para el lago 3, *Gomphonema gracile* (16.06 %) fue la dominante y típica de este lugar. Diferentes autores (Lobo, Ben Da Costa, Kirst, 1999; Duque y Donato, 1992; Ramírez, 1992) registraron dicha especie en lagos eutróficos, siendo más tolerantes a la polución y eutroficación, ocasionada por la característica nitrófila que éstas presentan (Donato, Duque, Monsejo, 2005).



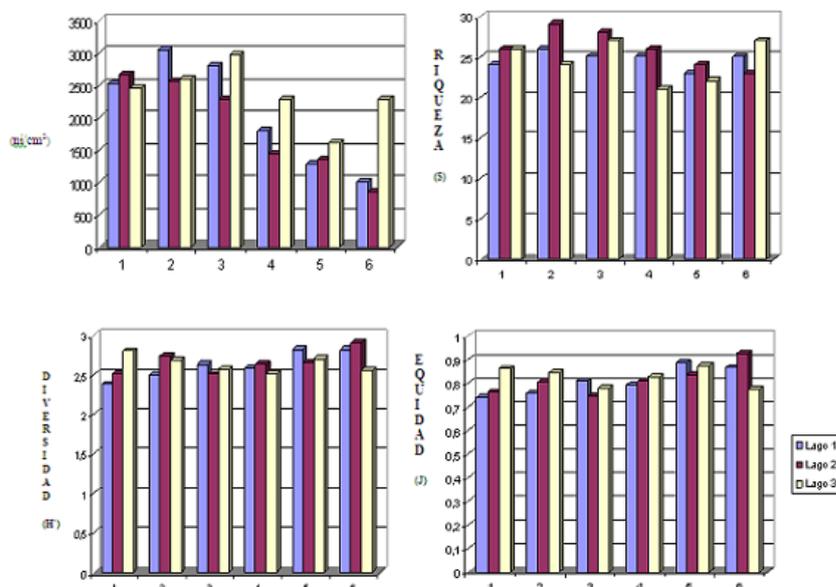
**FIGURA 6.** Especies más abundantes en los lagos muestreados. **A.** *Frustulia rhomboides*, **B.** *Stenopterobia curvula*, **C.** *Gomphonema gracile*

*Ulnaria* sp, fue exclusiva del lago oligotrófico, debido a que éste presenta estabilidad a lo largo de la columna de agua y los cambios en la temperatura no influyen en la solubilidad y la disponibilidad de los componentes químicos que limitan el desarrollo de la especie (Oliva *et al*, 2005). El lago 2 no presentó especies típicas, pero las abundancias de las especies *Eunotia zygodon*, *E. camelus*, *E. serra*, *Encyonema mesianum*, *Stauroneis* sp., *Cymbella naviculiformis* y *Brachisira* sp decrecieron debido al incremento del pH (Agbeti *et al*, 1997), puesto que la deposición ácida ha tenido efectos significativos en comunidades acuáticas, incrementando las especies ácido tolerantes como diatomeas (Duque, 1992; Donato, 2005), registradas en ambientes con enriquecimiento de actividades agropecuarias (Charles, 2002). Las especies *Cocconodiscus perforatus*, *Gomphonema gracile*, *G. parvalum*, *G. pseudoaugur*, *G. angustum* sólo se observaron en el lago eutrófico, especializadas en aguas con altos contenidos de materia orgánica proveniente de la descarga de efluentes que contienen heces fecales y sangre producto del sacrificio de cerdos (Duque y Donato, 1992), ya que tienen la capacidad de tomar rápidamente el P en grandes cantidades y lo convierten en polifosfatos (Ramírez, 1992, Oliva *et al*, 2005).

Estudios recientes sobre la estructura de la comunidad planctónica ponen de manifiesto que la diversidad de especies suele ser mayor en situaciones de transición y tiende a disminuir con la estabilidad (Charles, 2002), ello se refleja en los valores obtenidos para el lago 2 ( $H'$ : 2.9, S: 32, Ni: 10992, J: 0.8) que presenta un estado Oligo-Mesotrófico, debido a que la entrada de agua y de nutrientes, induce a una colonización de nuevas especies creándose espacios para la

colonización, crecimiento y desarrollo de la comunidad inicial con especies pioneras, de vida corta y tasas reproductivas altas, que preparan el ambiente para la llegada de especies intermedias y termina con la entrada de especies tardías de ciclos de vida más complejos con tasas reproductivas más lentas (Donato, 2005; Reynolds, 1984). En Colombia, se observó la colonización de diatomeas alargadas posterior a las primeras etapas de colonización (Morales – Velasco S, 2006), condición que permite el incremento de la riqueza y la diversidad en el lago 2. En cuanto al lago 1 ( $H'$ : 2.6 S: 29, Ni: 12375, J: 0.75) y lago 3 ( $H'$ : 2.7 S: 33, Ni: 14203, J: 0.8), por la condición trófica, registran diversidades un poco más bajas, por ser ambientes más estables, las especies son mucho más intensas y favorecen la exclusión competitiva, lleva a la dominancia de una especie (Brucet, 2003), como fue el caso de *Frustulia rhomboides* (13.52 %)

**Variación temporal de la abundancia, riqueza, diversidad y equitatividad de la comunidad de *Bacillariophytas*.** El lago 1, presentó altos valores durante el segundo muestreo (S: 26, Ni: 3049,  $H'$ : 2.5, J': 0.75) época de sequía, en el cual no se registró *Eunotia sudetica*, probablemente por un incremento en la concentración de cloruros (2mg/L), los cuales determinan la mineralización del hierro, disminuyendo la movilidad del mismo (redisolución-precipitación) lo que podría limitar el crecimiento de esta especie (Martínez & Donato, 2003; García- Vargas, Rivera- Rendón & Zapata, 2005). Las especies *Nitzchia filiformes*, *N. linearis* son típicas de lagos con deficiencia de nutrientes y también en aguas ácidas o húmicas, catalogadas dentro de la asociación N (Aláez y Rodríguez, 2002 Aláez y Rodríguez, 2002), que se asocian con diferentes grupos de diatomeas, pero que se limitaron debido a un enriquecimiento por fosfatos (0.56 mg/L). Contrario a lo anterior, durante la quinta observación se registraron datos bajos (S: 23, Ni: 1282,  $H'$ : 2.819, J': 0.887; **Figura 7**) donde fueron ausentes las especies *N. filiformes*, *N. intermedia*, *N. linearis*, *Tabellaria fenestrata*, *Eunotia binularis* y *E. pectinalis*, situación causada posiblemente por una disminución en las variables fisicoquímicas del agua ( T: 11.66oC, OD: 6.5 mg/L, pH: 6, nitritos: 0.03 mg/L, nitratos: 0.29 mg/L, Amonio: 0.01 mg/L, Aluminio: 0.02 mg/L, Hierro: 0.8 mg/L, Cloruros: 0.3mg/L, Fosfatos: 0.01mg/L y NTU: 10) (Pinilla, 2000).

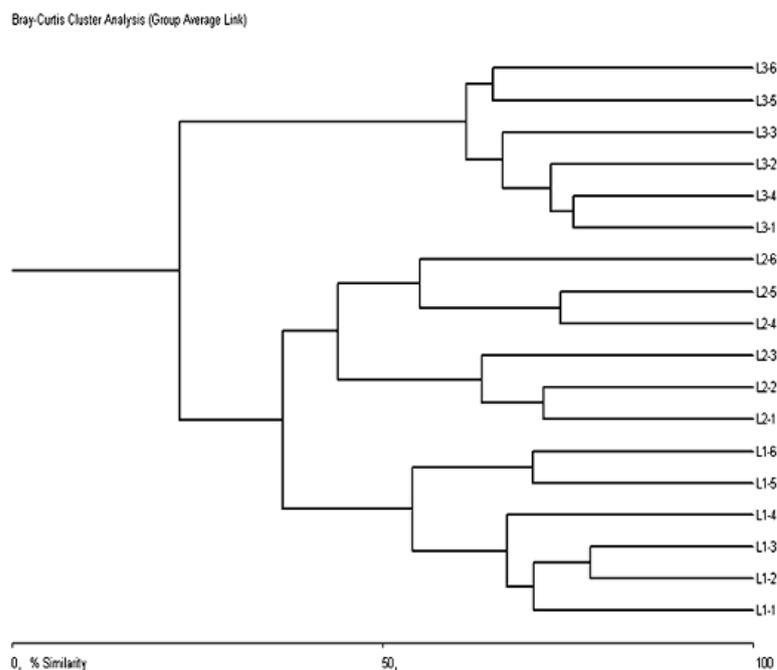


**FIGURA 7.** Variación de los índices de Riqueza (S), Uniformidad de Pielou (J'), Diversidad (H') y Número de individuos (Ni) presentes en 3 lagos del departamento del Cauca.

El lago 2, durante el segundo muestreo presentó valores altos (S: 29, Ni: 2562, H': 2.73, J': 0.8), no se observó *Nitzchia intermedia*, *Schroderella* sp, *Rhopalodia gibba*, *Ulnaria* sp, *Stauroneis* sp. Algunas investigaciones muestran que la depositación ácida tiene efectos significativos en comunidades acuáticas, pero pueden ocasionar decrecimiento de las especies cuando los valores del pH (5.5 a 6.1) varían junto con las concentraciones de nutrientes, mostrando limitante a este parámetro (pH: 4.63) (Oliva et al, 2005; Morales – Velasco S, 2006; Martínez & Donato, 2003), que unido al aluminio (0.14 mg/L) y fósforo (0.28 mg/L) ocasionan alteraciones del hábitat, a los cuales las especies son sensibles y lo reflejan en el decrecimiento de las poblaciones (Roldan, 1988). El último censo muestra una disminución en la riqueza de especies y abundancia de individuos (S: 23, ni: 848, H': 2.906, J': 0.927) aunque exhibió incremento en la diversidad y el índice de equidad de Pielou (Figura 7), puesto que la dominancia disminuye, por lo tanto, los recursos están más finamente distribuidos.

El lago 3, presentó mayor estabilidad en cuanto a la comunidad registrada, condición dada por la alta concentración de organismos en sistemas eutróficos, compitiendo por recursos y presión de predadores, lo que ocasiona una difícil supervivencia de los organismos, dando como resultado poblaciones numerosas de los individuos de *Gomphonema*, durante los muestreos 1, 5 y 6, fechas en las cuales se registraron máximos valores para el fósforo en lago 3, por lo cual, incrementan su abundancia en relación a fósforo y nitrógeno presentes en el agua (Reynolds, 1984), similar a la encontrada en la Sabana de Bogotá, donde el fósforo reactivo soluble cambió de forma directa con los individuos registrados para las especies de *Gomphonema* sp. (Taba, Murphy & Frost, 2003).

**Similaridad.** Como se observa en la **Figura 8**, existe una similitud entre los muestreos, pero es baja la presentada a nivel de lagos, debido a las variaciones de la comunidad entre cada uno de los mismos



**FIGURA 8.** Similaridad espacio temporal de las diatomeas perifíticas

La afinidad entre ellos está dada por especies cosmopolitas o tipo generalistas, que presentan una gran amplitud ecológica, sin seguir una estructura o patrón estacional, sino que responden a la irregularidad hidrológica (Sierra- Arango & Parra- Sánchez, 2003).

Es así como las diatomeas *Pinnularia sp.*, *P. divergens*, *P. abaujensis*, *P. braunaii* *Navicula gregaria*, *N. cryptocephala*, *Nitzchia filiformes*, *Frustulia rhomboides*, y *Eunotia binularis*, *Schroderella sp.*, fueron los taxones más abundantes y pueden considerarse como diatomeas heterotróficas facultativas, permitiéndoles de tal modo su reproducción en ecosistemas extremos, que en muchos de los casos presentan variabilidad morfológica muy acusada, lo que dificulta en gran medida su determinación taxonómica (Díaz-Quiroz & Rivera- Rendón 2004).

## CONCLUSIONES

Los lagos analizados presentaron diferencias en cuanto a las características fisicoquímicas del agua, que determinaron el estado trófico de cada uno, así los rangos establecidos para nitritos, nitratos y fósforo total, indican que el lago 1 es oligotrófico, el lago 2 meso-oligotrófico y el lago 3 eutrófico.

El lago tres, difiere de los otros lagos por la alta dominancia (número de individuos) con relación al número de especies registradas, principalmente del género *Gomphonema*, condición que se refleja en valores bajos para el índice de equidad de Pielou.

Las especies estenoicas indicadoras de eutroficación fueron *Coccolodiscus perforatus*, *Gomphonema gracile*, *G. parvulum*, *G. pseudoaugur*, *G. angustum*.

Los parámetros fisicoquímicos del agua, presentaron una relación directa con los cambios en las variables climáticas, lo que pudo depender de las actividades y características de los ecosistemas terrestres aledaños.

---

## AGRADECIMIENTOS

Las autoras agradecen a la Universidad del Cauca por la colaboración prestada y en particular a la Unidad de Microscopía Electrónica.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- Agbeti M. D.; Kington J.C.; Smol, J.P.; Waters, C. (1997). Comparison of phytoplankton succession in two lakes of different mixing regimes. *Arch fur Hydrobiologie* 140: 37-69.
- Aláez, C. & Rodríguez, S. (2002). Seasonal changes in biomass of charophytes in shallow lakes in the northwest of Spain. *Aquatic Botany* 72: 335-348.
- Alfaro, M.A.; Gregory, P.J.; and Jarvis S.C. (2004). Dynamics of potassium leaching on a hillslope grassland soil. *J. Environ. Qual.* 33:192-200.
- Begon, M.; Harper, J.L. & Townsend, C.R. (1999). La influencia de la depredación y de la perturbación en la estructura de las comunidades. En: Begon, M. *et al* (ed.), *Ecología: Individuos, poblaciones y comunidades*. Omega, Barcelona.
- Blanco, J.L.; Sánchez L. (1993). Contribución al Estudio Taxonómico de las Diatomeas del Orinoco Medio, Bajo, Caroni y Algunas Lagunas de Inundación. Fundación la Salle de Ciencias Naturales. Estación Hidrobiológica de Guayana Ciudad de Guayana-Venezuela. p. 80.

- Brucet, S. (2003). Zooplankton structure and dynamics in Mediterranean marshes (Empordà Wetlands): a size-based approach. Tesis Doctoral. Universidad de Girona, España.
- Carlson, R.E. (1984). Proceeding of 3rd Annual Conf. North American Lake Management Society. EPA. 44015184-001. The trophic condition concept: A lake management perspective. Lake and reservoir management. USA.
- Carpenter, S. & Cottingham, K. (1998). Resilience and Restoration of Lakes. *Conservation Ecology*. 1, art 2.
- Castro, R. D. (2009). Desarrollo De Un Índice De Diatomeas Perifíticas Para Evaluar El Estado De Los Humedales De Bogotá. Trabajo de Maestría. Universidad Nacional De Colombia.
- Charles, D. (2002). Diatomeas de agua dulce: Indicadores del cambio del ecosistema. Academia de ciencias naturales, Philadelphia. Academia de ciencias. San Francisco de California.
- Cox, E. (1996). Identification of Freshwater Diatoms From Live Material. Ed. Chapman & Hall. London.
- Díaz-Quiroz, K & Rivera-Rendón, C. (2004). Diatomeas De Pequeños Ríos Andinos Y Su Utilización Como Indicadoras De Condiciones Ambientales. *Caldasia* 26(2): 381-394.
- Donato, Ch; Duque S.; Monsejo, L. (2005). Estructura y Dinámica del Fitoplancton de la laguna de Fúquene (Cundinamarca, Colombia). *Revista Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. Volumen\_16 (62): 113-144.
- Duque; S.R & Donato, J.CH. (1992). Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. Cuadernos Divulgativos No. 35, Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias. p. 21.
- Ferreira, A. (2001). Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluente de esgoto tratado. MSc., Universidade de São Paulo, São Paulo: 126.
- Ferreiro, M.; Sar, E. & Sala, S. (1995). MANUAL DE MÉTODOS FICOLÓGICOS. Metodología Básica para el estudio de Fitoplancton con especial referencia a las Diatomeas. Universidad de Concepción. Chile.
- García-Vargas, R.; Rivera-Rendón, C., & Zapata. A. (2005). Heterogeneidad Espacial y Modelos De sucesión de la Comunidad del Perifitón En un Humedal Urbano. Tesis de Pregrado. Universidad de Los Andes.
- Giorgio, P.; Vinocur, A.L.; Lombardo, R.J.; Tell, H.G. (1991). Progressive changes in the structure and dynamics of the phytoplankton community along a pollution gradient in a lowland river-A multivariate approach. *Hydrobiologia* 224: 129-154.
- Heatwaite, A.T.; Burt & S, Trudgill. (1990). The effect of land use on nitrogen, phosphorus and suspended sediment delivery to streams in a small catchment in southwest England. In: Thornes JW vegetation and erosion. Processes

- and environments. pp.161-177 in Chile between 18°28'S and 58°S. *Bibliotheca Diatomologica* Vol. (3) pp. 386.
- Jarvis, S.C. (2002). Environmental impacts of cattle housing and grazing. p. 10-23. *In* Kaske, M., H. Scholz and M. Höltershinken (eds.) Recent developments and perspectives in bovine medicine. Keynotes lectures of the 22<sup>nd</sup> *World Buiatrics Cong. (WBC), Hannover, Germany. 18-23 August. WBC.*
  - Lobo, E.A.; Ben Da Costa, A.; Kirst, A. (1999). Avaliacao da qualidade da agua dos arroios Sampaio, Bonito e Grande, Municipio de Mato Leitao. RS. Brasil. Segundo a resolucao do CONAMA 20/86. *Revista Redes. Santa Cruz do Sul, v. 4. n. 2, p. 129-146.*
  - Margalef, R. (1974). *Ecología*. Omega Barcelona.
  - Martínez, L. & J. Donato. (2003). Efectos del caudal sobre la colonización de algas en un río de alta montaña tropical (Boyacá, Colombia). *Caldasia* 25 (2): 337-354.
  - Mazzeo, N.; Meerhoff, M.; Rodríguez-Gallego, L.; Kruk, C.; Clemente, J.; Larrea, D.; Scasso, F.; Boccardi, L.; Lacerot, G. & F. Quintans. (2003). Predominio de fitoplancton o vegetación sumergida en lagos someros de la costa Atlántica del Uruguay. *Encuentro de Ecología del Uruguay. X/2003, Uruguay.*
  - Melao, M., & Rocha, O. (1999). Biomass and productivity of the freshwater sponge *Metania spinata* (Carter, 1991) (Demospongie: Metaniidae) in a Brazilian reservoir. *Hydrobiologia* 390: 1-10.
  - Modesto-Iregui, M.; G. Guillot-M, R.; Donato, M.T. Ortegón. (2002). Dimensión fractal y relación área Superficial/volumen de algas del fitoplancton de Lagos colombianos Universidad de los Llanos, Instituto e Acuicultura de los Llanos. *Caldasia* 24 (1): 121-134 *Limnología.*
  - Morales-Velasco, S. (2006). Caracterización De Las Comunidades Del Perifiton En Tres Lagos De La Meseta De Popayán Y Su Uso Como Indicadores De Estado Trópico. Tesis de Maestría. pp.190.
  - Naudorf-Sanz Gerardo. (1990). "Caracterización de la comunidad ficológica y determinación de la productividad primaria del embalse La Salvajina y su área de influencia". *En: Colombia Revista De La Asociación Colombiana De Ciencias Biológicas ISSN: 0120-4173 Biológicas v.4 fasc 2. pp.154 – 163.*
  - Negret, A.J. & Torres, P. (1997). Caracterización Climática del Altiplano de Popayán. Museo de Historia Natural-UNICAUCA-C.R.C.
  - Norris, R. & C, Hawkins. (2000). Monitoring river health. *Hydrobiología* 435: 5-17.
  - Oliva, G.; Martínez, M<sup>a</sup>.; Ramírez-Martínez, G.; Garduno-Solorzano, J.; Canetas-Ortega & Martha, M. Ortega. (2005). Caracterización diatomológica en tres cuerpos de

- agua de los humedales de Jilotepec-Ixtahuaca, Estado de México. *Hidrobiológica* 15 (1): 1:26.
- Pinilla, G. (2000). Indicadores Biológicos En Ecosistemas Acuáticos Continentales de Colombia. Compilación Bibliográfica. Centros de Investigaciones Científicas. Fundación Universitaria Jorge Tadeo Lozano. ISBN: 958-9029-15-9.
  - Quintana, X. D.; Suñer, L.; Trobajo, R.; Gascón, S.; & Moreno-Amich, R. (2004). Nutrientes y renovación del agua en aiguamolls de l'Empordà (NE de la Península Ibérica). Uso potencial de agua residual para la inundación de zonas húmedas. *Limnetica* 16: 49-59.
  - Raffaini, G.; Gualdoni, C.; Oberto, A. (2003). Valoración de la calidad del agua de la subcuenca del río de talamuchita (Tercero), Córdoba, Argentina. Tucumán. *Tankay*, 1: 157-159.
  - Ramírez, J.J. (1992). Contribución al conocimiento ecológico y taxonómico del fitoplancton de algunos cuerpos de agua importantes para el sector eléctrico colombiano. Universidad de Antioquia., Fondo FEN, ISA, Medellín, p. 77 figuras.
  - Reynolds, C.S. (1984). The ecology of fresh water phytoplankton. Cambridge University Press. Nueva York.
  - Rivera, P. (1981). Beiträge zur Taxonomie und Verbreitung der Gattung *Thalassiosira* Cleve (Bacillariophyceae) in den Küstengewässern Chiles. *Bibliotheca Phycologica* 56: 1-222, 9 Abb., 71 Taf.
  - Rivera, P. (1983). A Guide for References and Distribution for the Class Bacillariophyceae.
  - Rodríguez, J.A. (2002). ¿Cuál es la flora característica de un proceso eutrófico? Sierra de Baza.
  - Rodríguez, L.M. & Lobo, E.A. (2000). Análise da estrutura de comunidades de diatomáceas epilíticas no Arroio Sampaio, Município de Mato Leitao, RS, Brasil. *Caderno de Pesquisa Seie Botanica, Santa Cruz do sul*, 12: 5 -27.
  - Roldan, G. (1992) Fundamentos de Limnología Neotropical. Editorial Universidad de Antioquia.
  - Roldan, G. (1988). Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Bogotá-Colombia. Fondo FEN Colombia, COLCIENCIAS, Universidad de Antioquia.
  - Salazar-Sánchez, M; Naundorf, G & Medina-Tombé, M. (2011). Composición, Dinámica Y Abundancia De La Comunidad Fitoplanctónica De Una Laguna Con Aguas De Origen Volcánico. *Revista Luna Azul Manizales*.
  - Sierra- Arango, O. & Parra- Sánchez, L. N. (2003). Variación Espacio Temporal de la familia Bacillariophyceae (Diatomeas) en 500 años de Evolución del Humedal Jaboque, Engativa, Cundinamarca, Colombia.
  - Simonsen, R. (1974). The diatom plankton of the Ndian Ocean Expedition of R/V "Meteor" 1964 –1965. *Meteor Forsch. Ergebnisse Reihe D*. 19: 1-107.

- Taba, S.S.; Murphy, J.R. & Frost, H.H. (2003). Notes the Colorado River near Moab, Utah. *Proceedings of the Utah Academy of Science, Arts, Letters* 42:280-283.
- Toledo, I. L. (1992). Bacillariophyceae de Isla de la Juventud, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 85:1-32.
- Trobajo, R.; Cox, E. J. & Quintana, X. D. (2004). The effects of some environmental variables on the morphology of *Nitzschia frustulum* (Bacillariophyta), in relation its use as a bioindicator.
- Trujillo, J. (2002). Spatial simulations of Hong Kong's marine ecosystem: ecological and economic forecasting of marine protected areas with human-made reefs. *Fish. Cent. Res. Rep.* 10(3):1-168.
- Valencia, R. M. (2004). Caracterización y Modelación del Mesohábitat De una Comunidad de Anfibios (Anura), En un Humedal de La Meseta de Popayán. Proyecto de Grado. Universidad del Cauca. pp.130.
- Viña, G. R.; Mojica, J.I.; Pabón, M.; Contreras, M. & Santos, S. (1991). Estudio ecológico de las zonas afectadas por derrame de petróleo durante 1998 en el área de influencia del oleoducto Caño Limón-Coveñas. ECOPETROL DCC-ICP, Cúcuta.
- Vollenweider, R. A. (1968). Scientific fundamentals of lake and stream eutrophication, with particular reference to phosphorus and nitrogen as eutrophication factors. *Technical Report DAS/DSI/ 68.27. OECD. Paris, Francia.* pp.274.

- 
1. Artículo derivado de investigación.
  2. Ecóloga. M.Sc. Profesora Titular, adscrita a la Facultad de Ciencias Agropecuarias –Departamento de Ciencias Agropecuarias, Grupo de Investigación Nutrición Agropecuaria. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca. Calle 5 No. 4-70–Popayán–Cauca. TEL: 8234598, (fax) 8245976. [samorales@unicauca.edu.co](mailto:samorales@unicauca.edu.co).
  3. Bióloga. C. M.Sc. Grupo de Estudios Ambientales. Universidad del Cauca. [mdsalazar@unicauca.edu.co](mailto:mdsalazar@unicauca.edu.co).