

PERIFITON DE TRES LAGOS DE LA MESETA DE POPAYÁN, COLOMBIA Y SU USO COMO INDICADORES DE ESTADO TRÓFICO

Sandra Morales Velasco
Universidad del Cauca

Enrique Javier Peña S.
Universidad del Valle

Recibido: abril 6, 2009 Aceptado: septiembre 29, 2009

Resumen

En tres lagos con diferentes características tróficas, se realizó un raspado del perifiton adherido a las placas establecidas, se muestreó de las partes externas, medias e internas. La muestra colectada de cada una de las placas fue colocada en un recipiente de 50 ml., se le adicionó Lugol-acético para preservar la muestras (Ferreiro et. al 1995). 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, indican que el lago 1 presenta un estado trófico oligotrófico, el lago 2 meso – oligotrófico y el lago 3 eutrófico, de acuerdo a Vollenweider (1968) y Toledo et al (en Henao 1987). El lago tres, difiere de los otros lagos por la alta dominancia (número de individuos) en relación con el número de especies registradas, donde el predominio es del género *Gomphonema*.

Palabras clave: Diatomeas, perifíticas, lagos, estado trófico, estructura.

Abstract

In three lakes with different trophic characteristics a scraping of periphyton adhered to the established plates where sampled. The sample collected of each one of the plates was placed in a container of 50 milliliter, added with Lugol-acetic to preserve the samples (Ferreiro ET. To 1995). The lakes displayed differences as far as the characteristics of the water, that determined the trophic state of each one. According to the ranks established for NO₂, NO₃ and total Phosphorus, the lake 1 showed a oligotrophic state, lake 2 oligo-mesotrophic and 3 lake an eutrophic state, in agreement Vollenweider (1968) and Toledo ET to (in Henao 1987). Lake three, differs from the other lakes by the high dominance (number of individuals) in relation to the number of registered species. Species of the genus *Gomphonema* dominated the 3 environments.

Keywords: Diatoms, Periphytic, Lakes, Trophic state, Structure

1 Introducción

La evaluación de la calidad de los ecosistemas acuáticos se ha desarrollado en base a las características físicas y químicas del agua, pero la utilización de indicadores biológicos permite cuantificar y cualificar los impactos generados por las actividades del hombre. 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 [1]; los cuales muestran una alta correspondencia entre las concentraciones de nutrientes (fosfatos y carga orgánica) como los encontrados en Arroio Sampaio (Brasil) y la composición de la comunidad de diatomeas, mostrando grupos diferenciados, de acuerdo al estado trófico de las estaciones donde se realizaron los muestreos [2]. Basándose en lo anterior se identificó la comunidad perifítica de tres lagos en el departamento del Cauca, durante un período de lluvia y otro de sequía; evidenciando diferencias a nivel biótico y consolidando las variables influyentes en la comunidad registrada.

2 Materiales y Métodos

En tres lagos de la región llamada formación meseta de Popayán, constituida por suelos poco evolucionados y ácidos, que contienen alta cantidad de aluminio y bajos porcentajes de calcio y fósforo [3], se realizaron 6 muestreos quincenales (3: sequía; 3: lluvia) para lo cual se utilizaron los registros de temperatura y precipitación suministrados por la estación meteorológica del IDEAM, ubicada en el aeropuerto GUILLERMO LEÓN VALENCIA de la ciudad de Popayán (Ver figura 1).

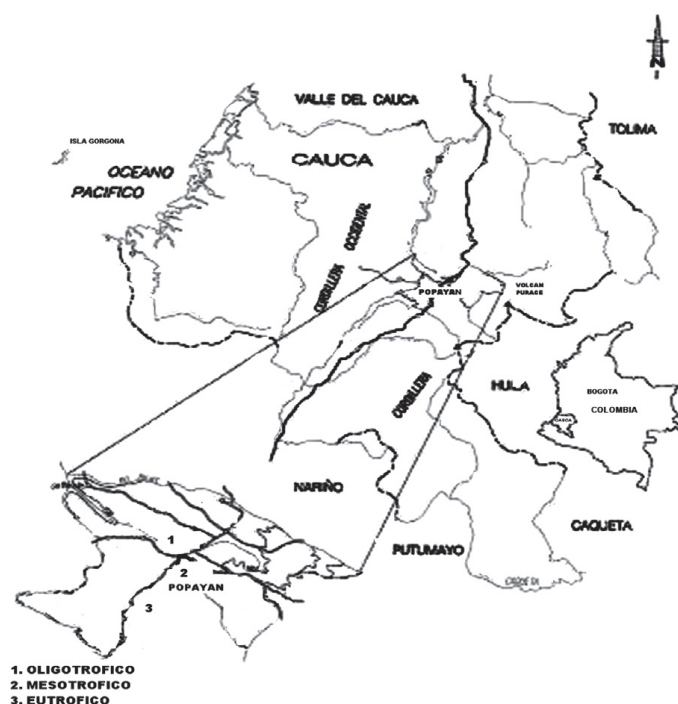


Figura 1. Localización del área de estudio.

Teniendo en cuenta la penetración de luz [4], se colocaron 6 placas de acrílico por cada lago (20 cm por 60 cm). Se raspó el perifiton adherido a las placas, variando de lugar entre muestreo y muestreo para obtener un raspado total al final del estudio. Las muestras colectadas se fijaron con Lugol-acético [5] y por medio de digestión ácida se limpiaron los frústulos de diatomeas [6].

Las células fueron contadas e identificadas, para lo cual se tomaron fotografías en la unidad de microscopia electrónica de la Universidad del Cauca, donde se trabajaron técnicas de Contraste de fase y MET. Se aplicó **TWISPAN** (*Two- Way Indicator Species Analysis*) [7] y para la correlación bivariada el programa estadístico SPSS 11.5., que permitió definir asociaciones perifíticas bajo las características físicas y químicas del agua monitoreada [nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-), amonio (NH_4^+), aluminio (Al^+), hierro (Fe^+), cloruros (Cl^-), fósforo Total – ortofosfato PMB (P_2O_5^-), turbidez (NTU)].

3 Resultados

3.1 Estado trófico de los lagos

De acuerdo al origen, profundidad y registros fisicoquímicos del agua el estado trófico de cada lago se describe a continuación [8, 9].

El lago 1: De origen fluvial, estuvo conectado con el río Cauca por medio de flujo subterráneo y superficial, formando 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 [10].

La profundidad varía entre 0.3 m y 5,05 m, Secchi: 1,8 m, Coeficiente de Atenuación de Luz: 3,06 m, Zona Fótica: 4,86 m.

Los valores promedios para nitritos (0,028 mg/l), nitratos (0,28 mg/l) y fósforo total (0,017 mg/l) muestran una oligotrofia. Las bajas concentraciones presentan una relación con la turbidez (11.7 NTU) puesto que a menor concentración de nutrientes mayor penetración de luz (4,86 m) registro que corresponde a un 96,3 % de la columna de agua, condición a lo mejor debida a la ausencia de una capa de algas definida como tal, que produzca y consuma oxígeno en los procesos de descomposición de materia orgánica [11].

Asociado a la vegetación del talud del lago, fue identificado un macroinvertebrado del generó *Moribaetis* sp. (Familia: Baetidae, Orden: Ephemeroptera) bioindicador de lagos oligoproductivos [12], registro originado por la acumulación de insumos provenientes de los ecosistemas terrestres que permiten el desarrollo de diferentes organismos [13].

Lago 2: Originado por un humedal de la quebrada Piedras y a los procesos de percolación, escorrentía y lixiviación que formaron el espejo de agua; de color oscuro y frías, similares a las de turbera [10].

La profundidad total: 2,6 m, Secchi: 0,4 m, Coeficiente de atenuación: 0,68 m y zona fótica: 1,08 m. La temperatura fue la menor (13,2 °C) entre los tres lagos, particularidad unida a la coloración oscura, propia de viejas turberas con suelos ácidos (pH 4-5), condición dada por las altas concentraciones de hierro (1,55 mg/l) y aluminio (0,33 mg/l) que provienen de un humedal palustre que forma este lago [10].

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, nutrientes provenientes de la actividad agropecuaria (heces, fertilización y destrucción de la pradera) que son transferidos al ecosistema por procesos de lixiviación y escorrentía [14].

Es así, como entre el periodo de sequía y de lluvia (septiembre: 90 mm; octubre: 120 mm) se encontraron diferencias (significancia < 0,01) en las cantidades 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 [15].

En consecuencia a lo anterior aumenta la productividad y la sedimentación va gradualmente disminuyendo la profundidad de los lagos, convirtiéndose en sistemas con vegetación sumergida en el interior y vegetación flotante en las zonas más someras [16]. Se identificaron tres especies de macrófitas acuáticas *Azolla sp*, *Rhynchospora corymbosa* y *Cyper sp.*, a las cuales se encontraron asociados macroinvertebrados (Orden: Odonata) del género *Macrothemis sp.* y *Tramea sp.* (Familia: *Libellulidae*) y *Dasythemis sp.* (Familia: *Gomphidae*) indicadores de aguas con riberas cenagosas cubiertas con lodo y de carácter oligo – mesotróficas [12].

Lago 3: Se formó por deslizamientos de masas de tierra y represamiento.

La profundidad total fue de 3,2 m, Secchi: 0,74 m, Coeficiente de atenuación: 1,25 m y zona fótica: 1,9 m.

Los valores promedios para fósforo total (0,357 mg/l) corresponden a condiciones de eutrofia. El aumento de la carga de nutrientes se ocasiona por vertimientos provenientes 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 llega al agua, la solubilidad aumenta, estimulando la actividad biológica y se produce un acelerado crecimiento de algas y vegetación acuática [17].

Aunque las concentraciones promedio para nitritos (0,425 mg/l) y nitratos (1,8 mg/l) indican un sistema mesotrófico, es de anotar el incremento considerable (significancia < 0,01) entre el final del periodo de sequía e inicio de las lluvias (NO_3^- 0,04 mg/l - 0,56 mg/l y NO_2^- 1,28mg/l y 2,4 mg/l) dado por la movilización del nitrógeno por medio de la lixiviación y del drenaje del exceso de agua que ocurre durante la época de lluvias [18].

Como reflejo del incremento de carbono, nitrógeno y fósforo provenientes de los desechos orgánicos hay presencia de macrófitas [19], predominando *Typha sp*, *Cyrpus sp*, *Salvinia sp* y *Sagitaria latifolia*, que colonizan la zona de entrada y salida del flujo de agua, donde hay mayor acumulación de nutrientes, típicas de procesos de eutroficación [20] normalmente invasoras y constituyen mesohábitats para macrobentos que se alimentan de detritos y sedimentos ahí depositados [21]. En relación a esto se encontraron individuos de los géneros *Tubifex sp* (Familia: *Tubificidae*), *Tipula sp* (Familia: *Tipulidae*), *Farrodes sp* (Familia *Leptophlebiidae*), *Chelifera sp* (Familia: *Impidiidae*), *Dugesia sp* (Familia: *Glossiphoniidae*) y *Physa sp* (Familia: *Physidae*), indicadores de enriquecimiento orgánico, tolerancia a bajas concentraciones de oxígeno y hábitat aguas quietas y poco profundas [12].

Lo anterior evidencia que los sistemas de producción y la variación e intensidad de la precipitación se convierten en factores determinantes en los procesos de eutroficación y en las pérdidas totales por lixiviación de N y otros nutrientes [22].

3.2 Clasificación de la comunidad perifítica de acuerdo a las características fisicoquímicas

Para efectos del análisis TWISPAN se enumeraron los muestreos del 1 al 18; para el lago 1 del 1 – 6, lago 2 del 7-12 y lago 3 del 13 al 18. Como resultado se obtuvieron 7 niveles de afinidad mostrados en la figura 1:

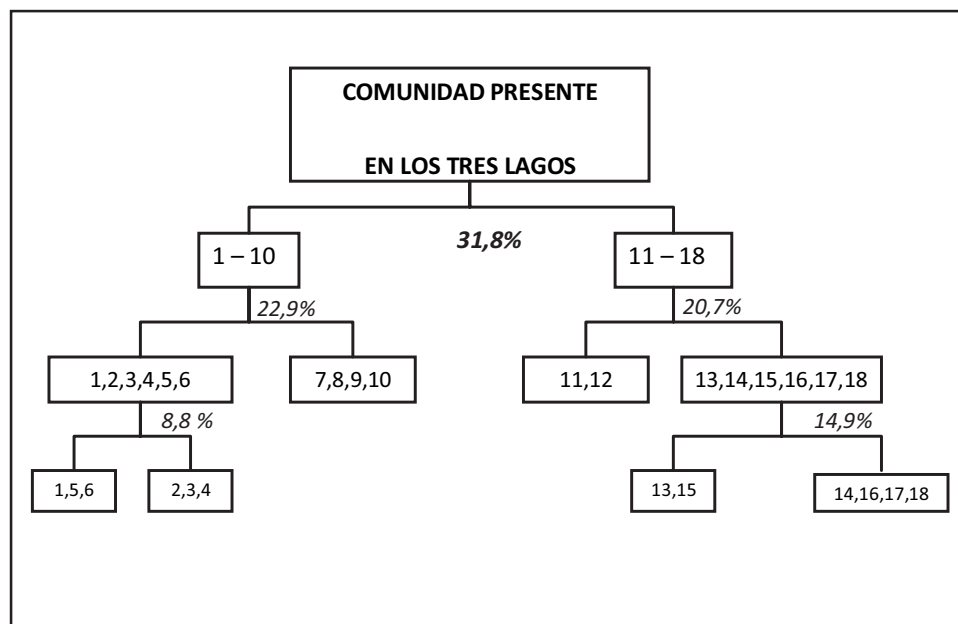


Figura 1. Niveles de similitud (Twispan) para la comunidad registrada en los tres lagos

Los grupos estuvieron conformados en 7 niveles los cuales agrupan diferentes especies en cuanto a la presencia- ausencia y se especifican en la siguiente tabla:

Tabla 1. Grupos establecidos por el análisis TWINSpan

Respecto a lo anterior, la correlación hallada entre comunidad – medio, muestra una distribución acorde a las condiciones fisicoquímicas del agua, donde se establecen relaciones en el espacio-tiempo y asumen un patrón de crecimiento definido [23, 24], que señala el estado del sistema en el cual habitan los organismos, en especial si hay eventos que constituyen un problema de manejo del recurso hídrico [25]. Tal relación permitió denominar los grupos de la siguiente manera.

Grupo I: Especies estenoicas indicadoras de aguas libres de contaminación:

las especies *Bambusina brebissonii*, *Borzia sp*, *Synedra ulna var ulna* fueron exclusivas del lago 1. Presentó una alta significancia ($< 0,01$) en relación con el oxígeno disuelto (6,5 mg/l), pH (6,2), pero con nitritos (0,02 mg/l), amonio (0,012mg/l), aluminio (0,02 mg/l) y turbidez (11,8 ntu), la correlación es negativa, lo que indica que a mayor concentración o valores para estos parámetros van a disminuir las especies presentes en este grupo.

Autores [26], señalan a *Bambusina brebissonii* como indicadora de lagos oligotróficos con tendencia a la acidez, condición del lago 1 (pH 4,0 - 6,5). Los cambios en las concentraciones en cualquiera de los nutrientes o las reacciones durante los procesos de producción – respiración y ocasionan variaciones bruscas del pH, durante el día y la noche, alterando las condiciones del agua lo cual podría ocasionar la desaparición de la especie [27].

Se registra al genero *Synedra sp.*, dentro de la asociación **B** [28], presente en lagos oligotróficos, aunque son de zonas templadas, presentan la preferencia hacia temperaturas bajas, concuerda con las particularidades presentadas por la especie *Synedra ulna var ulna*, que se observa en una hábitat oligotrófico, situación que pudo presentarse debido a que este lago presenta estabilidad a lo largo de la columna de agua y los cambios en la temperatura por diferentes factores no influyen la solubilidad y la disponibilidad de los componentes químicos [29].

La alta correlación ($P < 0,01$), con el oxígeno disuelto y pH, muestran una tendencia de estas especies a ser alcalinofilicas, que pueden disminuir por aumento en las concentraciones de nitritos, amonio, aluminio y turbidez ($P < - 0,01$), que en un momento dado indican eutroficación.

Grupo II: Especies indicadoras de concentraciones bajas de nutrientes:

conformado por *Ceratium hirundinella*, *Cocconeis sp*, *Pinnularia mesolepta*, *Rhopalodia gibba*, *Pinnularia graciloides*, *Surirella sp*, *Eunotia maior*, *Pinnularia gibba*, se registraron en los muestreos 1-10, que corresponden al total de las observaciones realizadas en el lago oligotrófico y durante la época de sequía para el lago 2. Tienen una relación negativa significativa ($P < - 0,05$) con los nitratos (0,2 – 1 mg/l) y fósforo total (0,01 – 0,04 mg/l) que muestra una leve tolerancia a los incrementos en los nutrientes.

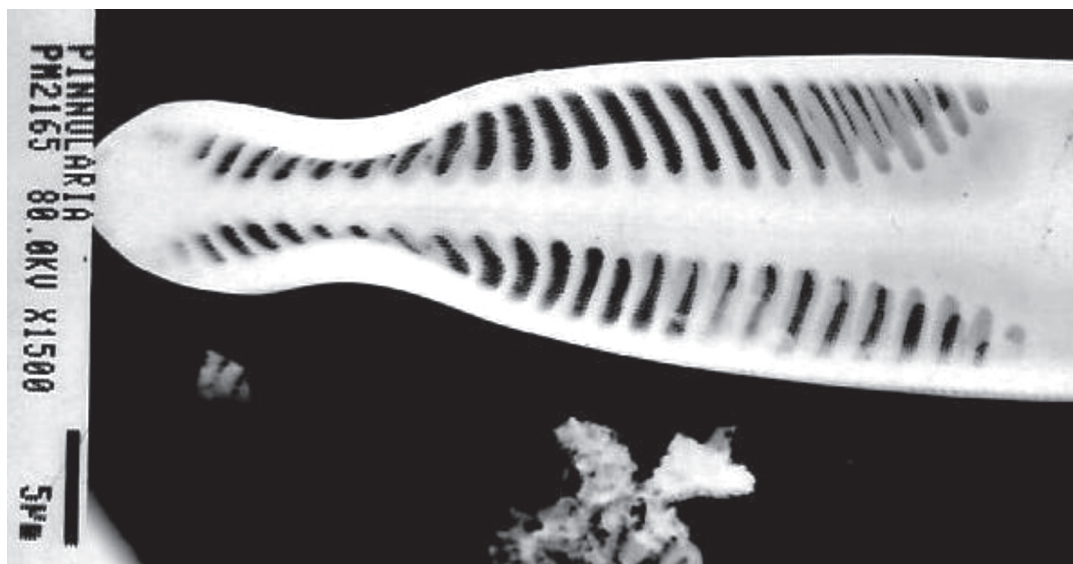


Figura 2. *Pinnularia* sp. Escala : 5 μ

En relación a lo anterior, se propone que las especies *Ceratium hirundinella* y *Cocconeis* sp., están asociadas a aguas limpias con enriquecimiento leve de material orgánica [30], sensibles a cambios estacionales donde se hacen más evidentes las fluctuaciones en los nutrientes [31].

Se considera *Ceratium hirundinella* a menudo un indicador de oligotrofia [32] y es registrada como una especie perteneciente a la asociación L_o , características de aguas oligotróficas y especialmente tolerantes a bajo pH, por ser considerada especie del “dosel”, capaces de operar después de que los nutrientes se han agotado de las aguas superficiales [28].

Algunos autores [9, 26], estiman que especies como *Pinnularia mesolepta* y *Surirella* sp., se hallan relacionados con pH bajos y están asociadas con algas del genero *Eunotia* sp., que soportan ciertos incrementos en concentración de nutrientes [9].

Estudios sugieren a *Rhopalodia gibba* como sensible a los cambios del habitat, los cuales se reflejan en el decrecimiento del número de individuos [33]. Otro autor [34], menciona que las especies cosmopolita pueden adaptarse a diferentes concentraciones nutrientes, como es el caso de *Pinnularia graciloides* y *Pinnularia gibba*, las cuales pueden presentarse en diferentes ambientes [35].

Son capaces de acumular y almacenar en sus células fósforo soluble y particulado (detrito), para usarlo cuando su concentración en el agua sea menor [36] algo similar ocurre con el suministro de nitrógeno combinado, el cual fijan del nitrógeno atmosférico y de esta forma no dependen de él.

Grupo III: Especies tolerantes a concentraciones bajas de nutrientes:

Conformado por 17 especies; *Gymnodinium sp*, *Netrium digitus*, *Dityosphaerium pulchellum*, *Mycrasterias denticulata*, *Nitzschia linearis*, *Cosmarium sp2*, *Pediastrum pyramidale*, *Closterium setaceum*, *Pleurotenium sp*, *Cosmarium sp4*, *Nitzschia intermedia*, *Cosmarium reniforme*, *Stenopterobia curvula*, *Xanthidium sp*, *Synedra ulna*, *Zygnema sp.*, presentes en el lago 1 y 2. La correlación presentada es negativa para nitratos, amonio y fosfatos, aunque para algunas especies no es negativa ni significativa, mostrando tolerancia a concentraciones de elementos en el agua y a la dinámica sucesional de la comunidad.

Este grupo es típico de lagos con deficiencia de nutrientes y también en aguas ácidas o húmicas, catalogadas dentro de la asociación N [28], las cuales presentan gran abundancia bajo estas condiciones, asociándose con diferentes grupos de diatomeas.

Autores [26] indican que *Closterium setaceum*, presenta una relación inversa con el fósforo total (0,01 – 0,05 mg/l), donde el habitat preferencial son los ecosistemas lénticos de bajas temperaturas y con baja concentración de nutrientes características presentadas en los lagos 1 y 2, donde se registró esta especie.

Las especies de dinoflagelados como *Gymnodinium sp* (Especie dosel), pueden estar condicionadas por la baja concentración de nutrientes en el agua, puesto que el aumento de los mismos incrementan la abundancia de estas poblaciones [37], de esta manera, es alto el nivel de significancia alta con el oxígeno disuelto (3,7 – 6,6 mg/l) puesto que la disminución del mismo puede indicar aumento en las concentraciones de materia orgánica u otros nutrientes condicionantes para las especies como los nitratos (0,1 – 1,2 mg/l) dá inicio a la sucesión de estas especies, pueden dar como resultados blooms tóxicos [38].

Netrium digitus es característica de aguas mesotróficas y frías [26] concuerda con la relación establecida con la temperatura (9,6 – 12 °C), oxígeno disuelto (4,3 – 6,5 mg/l) y otros nutrientes que indican el bajo estado trófico de los lagos donde se registró.

Algunos autores [39], proponen las especies *Dityosphaerium pulchellum* y *Mycrasterias denticulata* como características de aguas eutróficas frías, por lo que puede explicarse su presencia en los lagos 1 y 2. Indican además de los procesos sucesionales en los que *D. pulchellum* iniciaría y *M. denticulta* se presentaría después. Se sugiere que esta última presenta mayor grado de significancia con los nitratos y el amonio, ya que estos son determinantes en los procesos de eutroficación del agua [40].

Investigaciones realizadas [41,26], proponen al género *Cosmarium*, de distribución cosmopolita, como indicador de pH bajos [42, 43]. Esta característica ocurrió en el lago 2 (pH: 4,6 – 5.5), lugar donde fueron más frecuentes las especies *Cosmarium sp2*, *Cosmarium reniforme*, *Cosmarium sp4*, pero con una dependencia con el hierro y el aluminio (Significancia < 0,01), iones que influyen directamente en el pH del agua [12].

La presencia de diatomeas del género *Nitzschia* se ha asociado a sitios con contaminación orgánica y a alcantarillas [44], lo cual puede explicar los vínculos con el fósforo total de las especies *N. linearis* y *N. intermedia*.

Stenopterobia curvula y *Zygnema sp* se correlacionaron con las concentraciones de cloruros, hierro, fósforo total y amonio, que influyen en los cambios de pH del agua. De acuerdo con esto se sugiere que estas especies son susceptibles a cambios del pH, haciendo que las variaciones influyan en los procesos de silificación y reproducción de la especie [45].

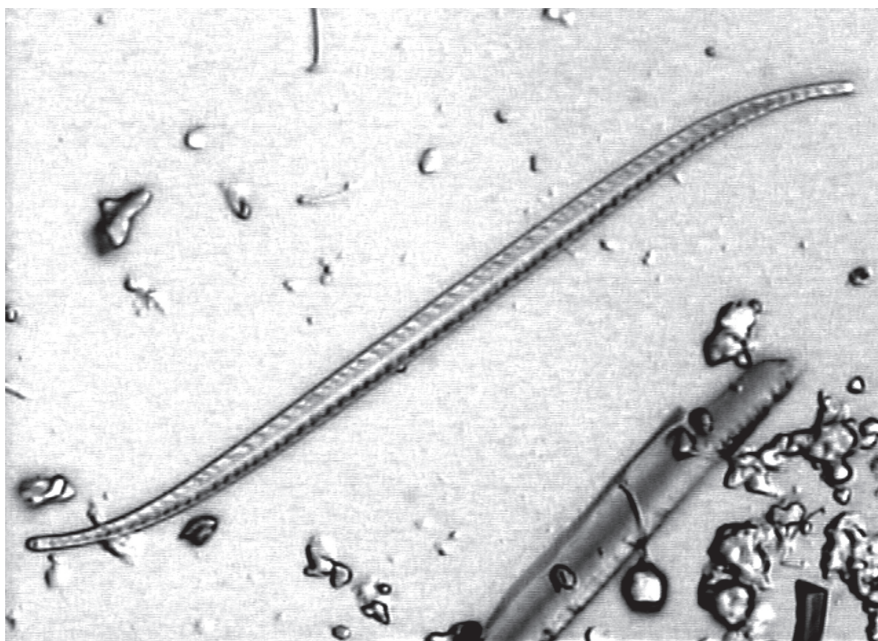


Figura 3. *Stenopterobia curvula*
(fotografía óptica en DIC)

Investigaciones realizadas proponen que las especies *Pediastrum pyramidale*, *Pleurotenium sp*, *Synedra ulna* y *Xanthidium sp*, prefieren ambientes ácidos, condición que permite considerarlas especies de sucesión con distribución pantropical [26,46,47].

Grupo IV: Indicadoras de concentraciones medias de nutrientes: incidencia de otra variable (pH)

Brachisira sp, *Spirogyra comunis*, *Eunotia camelus*, *Eunotia serra*, *Surirella dydima*, *Cymbella naviculiformis*, *Eunotia zygodon*, *Scenodesmus subspicatus*, *Oscillatoria sp*, *Merismopedia convulata*, *Clamydomonas sp*, *Spirogyra tabiques*, *Stauroneis sp*, *Encyonema mesianum*, se registraron durante los muestreos 11 al 18, que corresponden al mes de octubre para el lago 2 y el total de los muestreos en el lago 3. Se particulariza por la relación negativa (Alta significancia $P < - 0,01$) con el aluminio (0,8 – 0,5 mg/l) y el pH (5.5 – 6).

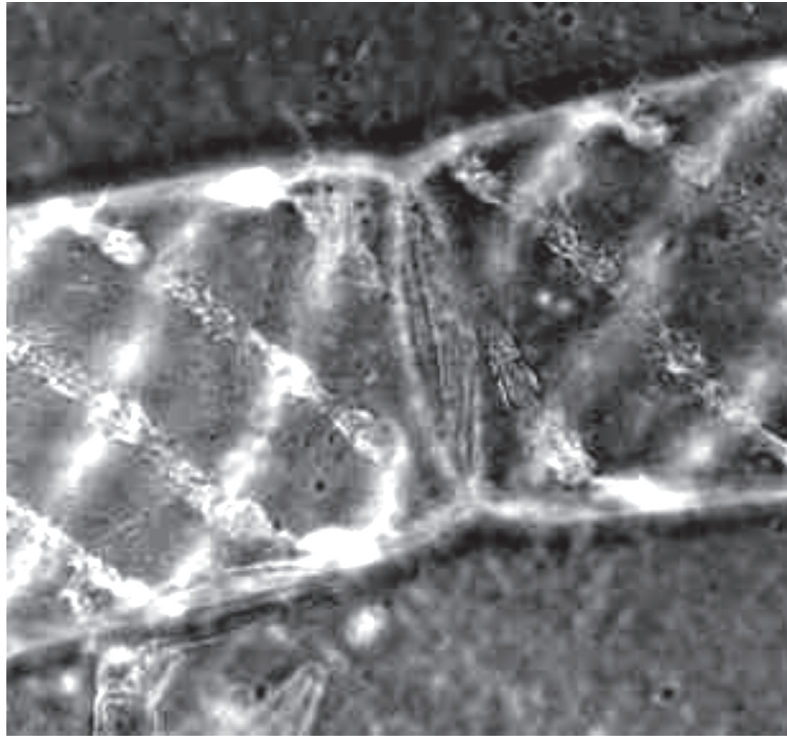


Figura 4. *Spirogyra comunis*
(fotografía óptica - Contraste de fase)

El pH se propone como una de las variables físicas más importantes, en el desarrollo de las especies, pues favorece el crecimiento de taxones como *Cymbella naviculiformis*, *Clamydomonas sp.*, *Encyonema mesianum*, *Stauroneis sp.*, *Eunotia zygodon*, *Eunotia camelus* y *Eunotia serra* [48,49,50]. Estas algas aumentaron en número a medida que se incrementaron los valores de pH (pH: 5.5 a 6.1), junto con las concentraciones de nutrientes. Esto parece indicar la capacidad que tiene para tolerar aguas ácidas, lo que las clasifica como acidófilas (se desarrollan en $\text{Ph} < 7$ a 5.5) [51].

Los números de taxones se reducen, pero algunos ácidos tolerantes pueden aumentar perceptiblemente, específicamente en el caso de las diatomeas y de otros grupos biológicos (e.g., Chrysophytas, etc), registradas en ambientes con enriquecimiento de nutrientes, principalmente provenientes de actividades agropecuarias [52]. Este corresponde a la fuerte relación mostrada con el oxígeno disuelto, los nitritos, nitratos, aluminio, Ph y turbidez, parámetros que presentaron incrementos en los lagos 2 y 3.

Las algas *Oscillatoria sp.*, *Brachisira sp.*, *Merismopedia convulata* y *Scenodesmus subspicatus* se pueden desarrollar óptimamente en zonas de litoral, donde pueden adherirse a diferentes sustratos [26]. En cuanto a *Spirogyra comunis* y *S. tabiques* como especies de amplio rango de distribución, con preferencia a ambientes alterados [53].



Figura 5. *Brachisira* sp (fotografía óptica)

Las especie *Surirella dydima*, se considera cosmopolita y de ámbitos perturbados, como un taxón de fácil adaptabilidad. Ecológicamente se puede catalogar como una especie de tardía sucesión, puesto que la variación del pH en ambientes disturbados puede limitar el número de individuos presentes en un sistema léntico [34].

El grupo presenta una categoría provisional denominada asociación **W**, que conforma en el plancton de cuerpos de agua pequeños y someros, con entradas sustanciales de materia orgánica, pero que sin embargo son óxicos, con reacciones neutras, que permiten el desarrollo de las especies, pero es de anotar su carácter provisional, debido a que las descargas de materia orgánica, hacen poco estable el sistema y por ende la comunidad asociada a éste [28].

Grupo V: Estenoicas indicadoras de concentraciones altas de nutrientes:

Las especies *Coccinodiscus perforatus*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvalum*, *Gomphonema pseudoaugur*, *Gomphonema angustum* se observaron solo en el lago eutrófico, presentaron una fuerte relación (Alta significancia $P < 0,01$) con la temperatura, el oxígeno disuelto, los nitratos, el amonio, los cloruros, el fósforo total y la turbidez, por lo que se denominan estenoicas, 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.

Diferentes autores [1 - 26 - 32], registraron estas especies en lagos eutróficos, siendo más tolerantes a la polución y eutroficación, pero sin perder su calidad estenoica, ocasionada por la característica nitrófila que estas presentan [54]. La dominancia de las especies de *Gomphonema gracile*, *G. parvalum*, *G. pseudoaugur*, *G. angustum*, también se han registrado en humedales eutróficos de México [55].

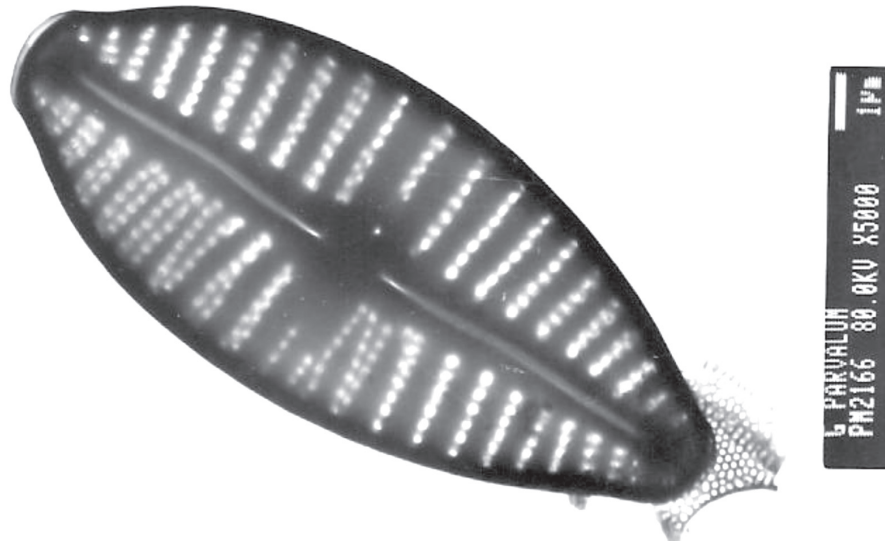


Figura 6. *Gomphonema parvulum* - Escala: 1µm

Respecto a *Coccinodiscus perforatus*, fue encontrada en las lagunas eutróficas de México, asociada a altas salinidades [56] correspondiente a las características similares a las del lago No 3, en el cual, las sales se representan en las concentraciones de nitritos, nitratos y fósforo total. Hay varias especies sensibles a la presencia de cambios bruscos y progresivos, provocados por la presencia de sólidos en suspensión, contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua.

Grupo VI: Eurioicas indicadoras de concentraciones medias, con incidencia de otras variables (hierro y cloruros):

Conformado por *Trachelomona armata*, *Staurodesmus sp1*, *Staurostrum sp*, *Cosmarium portianum*, *Scenedesmus sp2*, *Cosmarium subcostatum*, *Eunotia sudetica*, *Closterium calosporum*, *Closterium macilentum*, *Cymbella lunata*, *Fragilaria ulna*, *Eunotia pectinalis*, *Eunotia flexulosa*, especies no registradas en los muestreos centrales 7 – 11, condición posiblemente generada por los valores altos para el hierro (0,8 mg/L a 2.2 mg/l) (significativa $p < 0,05$), a diferencia de lo hallado para el pH (significativa $p < 0,05$)

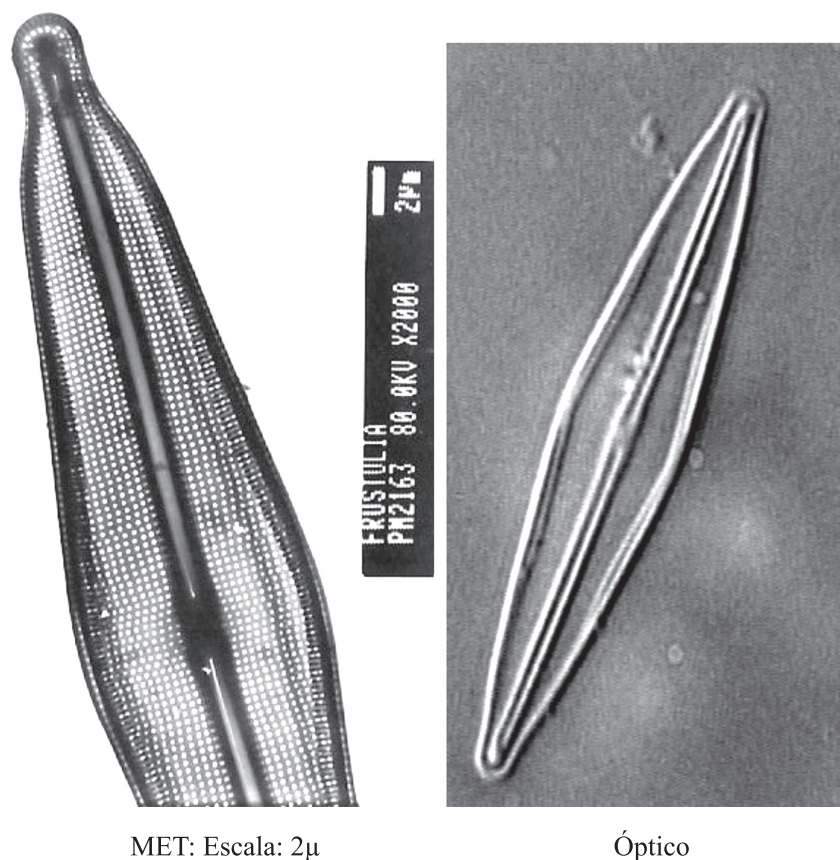
La mineralización del hierro puede estar determinada por los niveles de cloruro (1 mg/L a 4.6 mg/L), condición que disminuye la movilidad del mismo y se refleja en las altas concentraciones del hierro en el agua (0,72 mg/l – 2,4 mg/l) [57]. Esto afecta los procesos de redisolución-precipitación del hierro, lo que podría limitar el crecimiento de las especies *Eunotia sudetica*, *E. pectinalis* y *E. flexulosa*, *Staurodesmus sp1*, *Cosmarium portianum*, *Scenedesmus sp2*, *Closterium calosporum*, *Closterium macilentum*, *Cosmarium subcostatum*, *Fragilaria ulna*, *Cymbella lunata*, que para efectos del presente estudio se pueden catalogar como especies indicadoras de hierro [58].

Las especies *Trachelomona armata* y *Staurastrum sp*, pueden ser buenas bioindicadoras de concentraciones de hierro, ya que presentan una cubierta rígida, o lorica que frecuentemente se impregna de sales de hierro. Sin embargo, pudieron verse afectadas por las altas concentraciones de sedimentos que limitaron su crecimiento, que restringieron la formación estructural de estas especies [59].

Grupo VII: Eurioicas ampliamente tolerantes:

A este grupo, pertenecen 26 especies de tipo generalistas, que presentan una gran amplitud ecológica, sin seguir una estructura o patrón estacional, sino que responde a la irregularidad hidrológica [60].

Es así como las diatomeas *Pinnularia sp.*, *P. divergens*, *P. abaujensis*, *P. braunaii*, *Navicula gregaria*, *N. cryptocephala*, *Nitzschia filiformes*, *Frustulia rhomboides*, y *Eunotia binularis*, *Schroderella sp.*, fueron los taxones más abundantes y pueden considerarse como cosmopolita y tolerantes a las fluctuaciones de conductividad, temperatura y concentración de nutrientes [44,30]. Muchas de estas especies han sido también descritas como diatomeas heterotróficas facultativas, permitiéndoles de esta manera su reproducción en ecosistemas extremos, que en muchos de los casos presentan variabilidad morfológica muy acusada que dificulta en gran medida su determinación taxonómica [44].



MET: Escala: 2μ

Óptico

Figura 7. Frustulia rhomboides

Las cianófitas, *Cryptomona sp.* y *Lepocinclis acus* se han relacionado con condiciones de eutroficación y contaminación orgánica, y en particular con el incremento de fósforo (Conforti 2006 – com. Personal). La presencia de especies *Nostoc sp.*, *Anabaena circinalis* se presenta de forma constante y abundante durante los muestreos, pudiendo ocasionar “Blooms” y por lo tanto provocar problemas a nivel de la cadena alimentaria, debido a que son poco consumidas por el zooplancton y los peces, por producción de toxinas [61].

La resistencia del *Oocystis sp* a concentraciones altas de pesticidas [62], explican la frecuencia de esta especie en los diferentes lugares de estudio. Las diferentes especies aparecen cuando se producen situaciones hídricas que no afecten únicamente al nitrógeno y fósforo, sino a otras sustancias que el agua lleva en disolución, permitiéndoles a las algas, ser tolerantes a los cambios hídricos [63]; parece ser el caso de *Tabellaria fenestrata*, *Pinnularia viridis*, *Closterium gracile* y *Closterium archerianum*, que prefieren aguas limpias o ligeramente alcalinas donde el pH tiene tendencia neutra [26].

Son catalogadas como especies tipo J [28], presentes en aguas con ricas en nutrientes y someros, como lagos poco profundos, produciendo en muchos de los casos, coloraciones verdes, como las registradas en el lago 3.

La presencia de otras especies cosmopolitas (*Staurodesmus sp2*, *Cosmarium sp1*, *C. sp3* *Scenodesmus sp1* y *S. alternos*) esta favorecida por los aportes de materia orgánica alóctona, que en este caso procede de la escorrentía y de la degradación parcial de la materia orgánica adyacente a las lagunas. Esto coincide con su carácter eurusuistrático y pionero, así como con sus preferencias nitrófilas, es decir, se identifican con una amplia tolerancia ecológica [64].

4 Conclusiones

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, indican que el lago 1 presenta un estado trófico oligotrófico, el lago 2 meso – oligotrófico y el lago 3 eutrófico.

De acuerdo al análisis Twispan, se identificaron VII grupos: Estenoicas de Aguas libres de contaminación, Especies indicadoras de concentraciones bajas, Especies tolerantes a concentraciones bajas de nutrientes, Especies indicadoras de concentraciones medias: incidencia de otra variable: pH, Estenoicas indicadoras de concentraciones altas, Eurioicas indicadoras de concentraciones medias: incidencia de otras variables: hierro y cloruros y Eurioicas ampliamente tolerantes.

Se catalogan especies estenoicas e indicadoras de aguas limpias las especies *Bambusina brebissonii*, *Synedra ulna* var *ulna* y *Borzia* sp, por que los cambios en las concentraciones en cualquiera de los nutrientes, limitan el desarrollo de la especie y por ende la desaparición de las mismas en el lago oligotrófico.

Las especies estenoicas indicadoras de eutroficación fueron *Coccinodiscus perforatus*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvalum*, *Gomphonema pseudoaugur*, *Gomphonema angustum*.

El pH fue una de las variable físicas más importantes, favorece el crecimiento de especies *Cymbella naviculiformis*, *Clamydmona* sp, *Encyonema mesianum* y *Stauroneis* sp., *Eunotia zygodon*, *Eunotia camelus*, *Eunotia serra*, indica la capacidad que tiene de tolerar aguas ácidas y que permiten clasificarlas como acidofilas.

Se pueden catalogar con especies indicadoras de hierro, *Eunotia sudetica*, *E. pectinalis* y *E. flexulosa*, *Staurodesmus* sp1, *Cosmarium portianum*, *Scenodesmus* sp2, *Closterium calosporum*, *Closterium macilentum*, *Cosmarium subcostatum*, *Fragilaria ulna*, *Cymbella lunata*, limitadas por los niveles de hierro en el agua.

Los parámetros fisicoquímicos del agua, dependen directamente de las actividades y características de los ecosistemas terrestres y se hallan influenciados por los cambios en las variables climáticas.

Referencias bibliográficas

- [1] Lobo, E. A., Katoh, K., Aruga, Y. 1995. Response of epilithic diatom assemblages to water pollution in rivers located in the Tokyo Metropolitan Area, Japan. *Freshwater Biology*, 34: 191-204.
- [2] Rodríguez, L.M. & Lobo, E.A. 2000. Analise da estrutura de comunidades de diatomaceas epilíticas no Arroio Sampaio, Municipio de Mato Leitaó, RS, Brasil. *Caderno de Pesquisa Seie Botanica, Santa Cruz do sul*, 12: 5 -27
- [3] Negret, A. J. & Torres, P. 1997. Caracterización Climática del Altiplano de Popayán. Museo de Historia Natural – UNICAUCA – C.R.C.
- [4] Roldán G. 1992 Fundamentos de Limnología tropical. Editorial Universidad de Antioquia, Bogotá.
- [5] 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, 250 pp.
- [6] Simonsen, R. 1974. The diatom plankton of the indian Ocean Expedition of R/V "Meteor" 1964 – 1965. *Meteor Forsch. Ergebnisse Reihe D*. 19: 1 - 107
- [7] Hill, M.O. 1979. Twinspan – A Fortran program for arranging multivariate data in an ordered two – way table by classification of the individuals and attributes. Cornell University, Ithaca, New York.

- [8] 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. 274 pp.
- [9] Toledo, I. L. 1992. Bacillariophyceae de Isla de la Juventud, Cuba. Acta Bot. Cub. 85:1-32 Junio 1992.
- [10] Valencia, R. M. 2004. Caracterización y Modelación del Mesohábitat De una Comunidad de Anfibios (Anura), En un Humedal de La Meseta de Popayán. Tesis de Grado. Universidad del Cauca.
- [11] 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
- [12] Roldán G. 1992. Fundamentos de Limnología tropical. Editorial Universidad de Antioquia, Bogotá.
- [13] Norris, R. & C, Hawkins. 2000. Monitoring river health. *Hydrobiologia* 435: 5-17.
- [14] Heathwaite, A. T, Burt & S, Trudgill .1990. The effect of land use on nitrogen, phosphorus and suspended sediment delidery to streams in a small catchment in southwest England. In: Thornes JW vegetation and erosion. Processes and environments. 161-177 pp.
- [15] Carpenter, S. & Cottingham, K. 1998. Resilience and Restoration of Lakes. *Conservation Ecology*. 1, art 2.
- [16] Margalef, R. 1983. Limnología. Omega Barcelona.
- [17] 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.
- [18] 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 22nd World Buiatrics Cong. (WBC), Hannover, Germany. 18-23 August. WBC, Hannover, Germany.
- [19] 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 pp.
- [20] Rodríguez J.A. 2002. ¿Cuál es la flora característica de un proceso eutrófico? Sierra de Baza.
- [21] Raffaini. G., Gualdoni, C; A. Oberto. 2003. Valoración de la calidad del agua de la subcuenca del río de talamuchita (Tercero), Córdoba, Argentina. Tucumán. Tankay, 1: 157-159.
- [22] 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
- [23] Davigneaud, P. 1981. La síntesis ecológica. Alhambra. Madrid 306p
- [24] Pianka, E. 1982. Ecología evolutiva. Omega, S A., Barcelona. 320p
- [25] Mason, C.F. 1984. Biología de la contaminación del agua dulce. Editorial Alambra, 1ª. Edición en español, Madrid 289 p.

- [26] Duque, S.R y Donato, J.CH. 1992. Biología y ecología del fitoplancton de las aguas dulces en Colombia. Cuadernos Divulgativos No. 35, Universidad Javeriana, Facultad de Ciencias 21 p
- [27] Estevez, F. 1988. Fundamentos de Limnología. Editora Interciência/Finep, Rio de Janeiro.
- [28] Reynolds, C.S. 1984. The ecology of fresh water phytoplankton. Cambridge University Press. Nueva York.
- [29] Agbeti M. D, Kington J.C Smol JP, Waters C. 1997. Comparison of phytoplankton succession in two lakes of different mixing regimes. Arch fur hydrobiology 140: 37-69
- [30] Palmer, C.M. 1969. A composite rating of algae tolerating organic pollution. J. Phycol. 5: 78-82
- [31] Steinberg, C. & Schiefele, S. 1988. Biological Indication of Trofy and Pollution of Running. Waters. Z. Wasser-Abwasser-Forsch. 21, 227-234. 1988.
- [32] Ramírez, J.J. 2000. Fitoplancton de Agua dulce. Aspectos Ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Editorial Universidad de Antioquia. 206 p
- [33] 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
- [34] Biró – Halmágyi, B., Kiss, A., Bányász, D., & Péterfi L. 2003. Preliminary studies on the epilithic diatom communities of the Torda-Gorge (Tordai-hasadék, Cheile Turzii) Department of Systematic and Ecology, Press: Institute of Biological Research, Cluj-Napoca, Romania.
- [35] Vázquez, G. 2001 Diversidad y distribución de las comunidades de fitoplancton y peces de ríos y lagunas del volcán San Martín de la reserva de la biosfera Los Tuxtlas Informe final* del Proyecto S022. México . D.F
- [36] A.P.H.A, 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Standard Association. Washington, D.C. Usa. American Public Health Association (APHA), American Waterworks Association (Awwa) & Water Pollution Control Federation (Wpcf). Standard methods for examination of water and sewage and wastewater. New York.
- [37] Hewson, I., O'Neil, J. M., Fuhrman, J. A. & Dennison, W. C. 2001 Virus-like particle distribution and abundance in sediments and overlying waters along eutrophication gradients in two subtropical estuaries. *Limnol. Oceanogr.* 46, 1734–1746
- [38] Andrinolo, D., Iglesias, V., García, Lagos, N. 2002. Toxicokinetics and toxicodynamics of gonyautoxins after an oral toxin dose in cats. *Toxicon* 40 (6): 699-709
- [39] Donato.J.CH., Duque. S. R & Mora-Osejo, E. 1987. Estructura y dinámica del fitoplancton de la laguna de Fúquene (Cundinamarca – Colombia). *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas físicas y naturales (Bogota)* Vol. XVI, No. 62 pp. 113-114

- [40] Rada, R.G. 2003. Effects of Dietary Methylmercury on Reproduction of Fathead Minnows. *Environ. Sci. Technol.* 36:877-883
- [41] Coesel, P.F.M. 1996. Biogeography of desmids. *Hydrobiologia*, v. 336, p. 41-53, 1996.
- [42] Ramirez, 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, 77 p., figuras.
- [43] Marques, G., & Guillot, G. 1988. Proyecto estudios ecológicos de embalses colombianos. *Etapas prospectiva, informe final FONDO FEN COLOMBIA. Universidad Nacional de Colombia Bogota.* 242 p. (Mecanografiado)
- [44] Trobajo, R. 2003. Ecological analysis of periphytic diatoms in Mediterranean coastal wetlands (Empordà wetlands, NE Spain). Tesis Doctoral. Universidad de Girona, España.
- [45] Charles, D.F. 1985. Relationships between surface sediment diatom assemblages and lakes water characteristics in Adirondack lakes. *Ecology* 66. 994. vol , 1985
- [46] Ruiz, J. E., Molina, J.A., Saavedra, G.E., Contreras.M.M & Mojica C., J.I. 1986. Incidencia de la precipitación, eutroficación y calidad bacteriológica en la composición planctónica del lago de Tota. HIMAT, Bogota. 162., fotografías
- [47] Vargas, A. 1996. Estructura y dinámica de la comunidad planctónica de algunos lagos de meandros del río igara- parana (La chorrera, Amazonas). Tesis Biología Marino, Universidad Jorge Tadeo Lozano, Santafé de Bogotá. 130 p., anexos.
- [48] Round, F.E. 1991. A Review and Methods for the Use of Epilithic Diatoms for Detecting and Monitoring Changes in River Water Quality. HMSO publisher, London. 63 p
- [49] Pan Y., R.J. Stevenson, B.H. Hill., A.T. Herlihi & G.B. Collins. 1996. Using diatoms as indicators of ecological conditions in lotic systems a regional assessment. *Journal of the North American Benthological Society* 15(4): 481 – 495.
- [50] Cox, E.J. 1996. What is the basis for using diatoms as monitors of river water quality? in Whitton, B.A et al (eds.) (1996) *The use of algae for monitoring rivers*. University of Innsbruck, Austria pp. 33-41.
- [51] Winter, J. G., & Duthie, H. C. 2000. Epilithic diatoms as indicators of stream total N and P concentration. *Journal of the North American Benthological Society*, v. 19, no. 1, p. 32-49, 2000
- [52] Rodrigues, L., Leandrini, J., Fonseca, I.A., Russo, J., & Algarte. V. 2003. Algas perifíticas na planície de inundação do alto rio. Paraná
- [53] Ferreira, J., Dias J, M. & Dekeyser I. 1999. Modélisation du champ thermique dans la Ria de Aveiro, Portugal, Colloque L'Estuaire de la Seine: fonctionnement, perspectives, Rouen

- [54] Silva-Benavides, A.M. 1995. The use of water chemistry and benthic diatom communities for qualification of a polluted tropical river in Costa Rica. *Institute für Botanik, Universität Innsbruck. Sternwartestrasse 15, A-6020, Innsbruck, Austria. Current address: INBio, Sto. Domingo de Heredia, Heredia, Costa Rica. Rec. 7-IV-1994. Rev. 19-VIII-1994. Accep. 25-I-1995*
- [55] Oliva, G., Martínez, M^a., 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 et al 2005*
- [56] Licea - Durán, S. 1990. Sistemática y distribución de diatomeas de la laguna de Agiabampo, Son., Sin., México. *Anal. Inst. Cien. Mar Limnol. UNAM. 1: 99-156*
- [57] ALÁEZ, C. Y RODRÍGUEZ, S. 2002. Seasonal changes in biomass of charophytes in shallow lakes in the northwest of Spain. *Aquatic Botany 72: 335-348.*
- [58] 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.
- [59] Charles, D. 2002. Diatomeas de agua dulce: Indicadores del cambio del ecosistema. Academia de ciencias naturales, Philadelphia. Academia de ciencias. San Francisco de California 2002.
- [60] 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.*
- [61] Kotak, B.G., & Lam, A.K.Y. E.E. 1995. Variability of the hepatotoxin Microcystin-LR in hypereutrophic drinking water lakes. *J. Phycol. 31: 248-263*
- [62] Salazar, A., & Díez de A, R. 1987. Control de plantas acuáticas en el embalse La Fé. *Revista AINSA (Medellin), No. 13, pp. 7-31*
- [63] López-Flores, R., Quintana, X.D., Salvadó, V., Hidalgo, M., Sala, L., & Moreno-Amich, R. 2003. Comparison of nutrient and contaminant fluxes in two areas with different hydrological regimes (Empordà wetlands, NE Spain). *Water Research 37: 3034-3046*
- [64] Jones, C. 2000. The great Australian salinity debate: Part II. Why the recharge-discharge model is fundamentally flawed. *Stipa Newsletter, 14, 6-11.*

Dirección de los autores

Sandra Morales Velasco

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad del Cauca, Popayán – Colombia
samorales@unicauca.edu.co

Enrique Javier Peña S.

Facultad de Ciencias Naturales, Universidad del Valle, Cali – Colombia
enripena@univalle.edu.co