

Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia

State of the art on periphyton knowledge in Colombia

Yimmy Montoya Moreno y Néstor Aguirre R.

Resumen

El perifiton es un componente de las comunidades bióticas acuáticas, su estudio es importante tanto desde la perspectiva ecológica, para comprender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, como desde el punto de vista ambiental, pues su composición y estructura pueden servir como indicadores de la calidad del agua y de procesos que como la contaminación puedan estar afectando a los ecosistemas. La investigación sobre el perifiton es compleja; la definición misma de perifiton aún genera controversias. Sumado a esto, la variedad de metodologías para su estudio integral, la diversidad de arquitecturas de la matriz perifítica, la gran diversidad de ecosistemas y la ausencia de escuelas taxonómicas en el país, contribuyen a que sean pocos los trabajos que se publican sobre el tema, lo que incrementa el valor e importancia de los estudios reseñados en esta revisión. El objetivo de este artículo es dar a conocer el estado del arte en la investigación sobre el perifiton en Colombia, mediante el análisis de diferentes líneas de investigación que se han desarrollado y su grado de avance. Con este fin, se examinaron 84 trabajos a los que los autores tuvieron acceso. La mayoría de investigaciones consultadas en este trabajo (90%), corresponden al estudio de ficoperifiton, el 10% restante incluyó ambos componentes del perifiton y se encontró una dedicada exclusivamente al zooperifiton. Sólo el 10,5% de las investigaciones (ocho trabajos) se han dedicado al estudio taxonómico detallado, el resto de publicaciones se orientan al estudio de la estructura y dinámica de la comunidad perifítica.

Palabras clave. Perifiton, ficoperifiton, zooperifiton, limnología tropical, estado del arte.

Abstract

Peryphyton is a component of aquatic communities, composed by microbiota adhered to different substrates; plays a fundamental role in matter, energy and information transferences through food webs and its study is important both from ecology, to understand ecosystems, as from environmental points of view, as peryphyton is a good indicator of environmental processes and conditions, for instance water quality, in those ecosystems. Periphyton research is complex; even periphyton definition is still controversial. In addition to that, the variety of methodologies for comprehensive study, the diversity of periphytic matrix architectures, the diversity of ecosystems and the absence of taxonomic schools in the country, are causing that few works are being published on the subject, which increases the value and importance of the work outlined in this review. The aim of this paper is to present the state of the art in research on periphyton in Colombia, analyzing different lines of research that has been developed and their progress. In order to do this, we examined 84 papers available to the authors. Most studies surveyed in this study (90%) correspond to the study of phycoperiphyton; the remaining 10% included both components of periphyton; one paper was dedicated exclusively to zooperiphyton. Only 10,5% of investigations (8 papers) has been dedicated to detailed taxonomic study; other publications study the structure and dynamics of the periphytic community.

Key words. Periphyton, phycoperiphyton, zooperiphyton, tropical limnology, state of the art.

1. Introducción

Desde los orígenes de la palabra “perifiton” se ha generado confusión sobre su significado y alcance. En 1905 se propuso el término alemán “Aufwuchs” que traduce “crecer sobre”, para referirse a organismos fijos que no penetran sobre un sustrato (Sládecková, 1962). De acuerdo con Sládecková y Sladeczek (1977), el perifiton es la parte de la comunidad adherida, es decir, los organismos fijados al sustrato por rizoides, pedicelos, tubos u otros mecanismos. La definición más empleada es la planteada por Wetzel (1983a), quien considera que el perifiton es una comunidad compleja de microbiota (algas, bacterias, hongos, animales, detritos orgánicos e inorgánicos) adherida a un sustrato, el que puede ser orgánico o inorgánico, vivo o muerto. Funcionalmente, se considera un microcosmos donde los procesos internos y los intercambios con el medio externo ocurren simultáneamente (Wetzel, 1983b).

El perifiton es un componente fundamental de las comunidades bióticas acuáticas donde juega un papel importante en los procesos de transferencia de energía, materia e información a través de las cadenas tróficas. Su estudio es importante tanto desde la perspectiva ecológica, para comprender el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, como desde el punto de vista ambiental, pues su composición y estructura pueden servir como indicadores de la calidad del agua y de procesos que como la contaminación, puedan estar afectando a los ecosistemas.

Según Marshall (1984), se designa como biofilm o biopelícula al agregado de microorganismos y productos extracelulares asociados a un sustrato. Singh *et al.* (2006) consideran que el biofilm es un ensamblaje de poblaciones simples o múltiples, las cuales están adheridas a una superficie biótica o abiótica a través de sustancias poliméricas extracelulares. Estos mismos autores afirman que la expresión genética en las células del biofilm, difiere de la expresión del estado planctónico y esta expresión diferencial de genes regula la formación del biofilm y su desarrollo. El término biofilm o biopelícula se ha empleado en forma equivalente

al de perifiton en el contexto ingenieril, en el cual se hace alusión al crecimiento de organismos sobre materiales como tuberías, filtros, edificaciones, monumentos, entre otros. Aunque realmente no son equivalentes, ya que el perifiton incluye una mayor variedad de formas de vida. Además, este ensamblaje puede darse en sustratos naturales y artificiales, mientras que el biofilm hace alusión al crecimiento de microorganismos (hongos, bacterias y sustancias inorgánicas y orgánicas) en un sustrato artificial. Es más preciso considerar la biopelícula como la matriz de polisacáridos sobre la cual crece el perifiton.

2. Componentes y términos asociados

Entre los estudios que se han realizado predomina la caracterización del componente autotrófico, ya que las investigaciones sobre el zooperifiton son escasas en Colombia. Autores como Foertser y Schlichting (1965; citados en Roldán y Ramírez, 2008) separan los componentes vegetal y animal, denominándolos respectivamente ficoperifiton y zooperifiton. Otro aspecto para resaltar hace alusión al tipo de sustrato sobre el cual crecen los microorganismos (Round, 1965; Roldán y Ramírez, 2008), ya que pueden colonizar plantas macroscópicas (epifiton), superficies de animales (epizoon), rocas (epiliton), granos de arena (episamon), pedazos de madera (epixilon) y el sedimento (epipelon). En una revisión reciente, Poulíčková *et al.* (2008) plantean que el perifiton se divide en dos grandes grupos, el herpobentos (epipelon, endopelon [dentro de sedimentos orgánicos], endosamon [dentro de los granos de arena] y metafiton) y el haptobentos (epiliton, epixilon, episamon, epizoon, epifiton, endoliton [crece dentro de rocas], endozoon [crece dentro de animales] y endofiton [crece dentro de macrofitas]).

Un término asociado al de perifiton es el de pseudoperifiton, el cual corresponde a los organismos de la región litoral que se desarrollan entre las macrofitas y fue propuesto por Sládeková (1962); el término es a su vez un sinónimo del pseudoplancton propuesto por Neuman (1931) y del metafiton planteado por Wetzel (1981, citado en Oliveira-Martins, 2006).

El término metafiton hace referencia a aquellas algas que no están totalmente adheridas al sustrato. Ejemplo de éstas son las algas verdes filamentosas *Mougeotia*, *Spirogyra* y *Zygnema*, que se encuentran en zonas de poca corriente (Gualtero-Leal, 2007). La diferenciación entre estos componentes del ensamblaje es difícil, ya que las agregaciones en capas consecutivas impiden en muchos casos la clasificación de los mismos. Por otro lado, la heterogeneidad de la región litoral hace prácticamente imposible separar el pseudoperifiton del resto del ensamblaje (Cavati y De Oliveira, 2008).

Otro concepto importante es el de ensamblaje algal, el cual al igual que un ensamblaje musical, consta de una serie de individuos autoregulables, con capacidades específicas, que pueden coexistir y cumplir una función en conjunto. Según Rojo *et al.* (2006), un ensamblaje es un grupo de poblaciones o especies de organismos similares que coexisten en un área definida. Roldán y Ramírez (2008) consideran que si un ensamblaje es un agrupamiento reunido para un fin determinado, la condición mínima es que ninguno de los elementos del grupo resulte excluido. Una vez que la interacción comienza a cobrar importancia, el ensamblaje pasa a ser una comunidad. Por consiguiente, una comunidad es un ensamblaje interactivo de especies que ocurren juntas dentro de un área geográfica particular. Putnam (1994, citado en Roldán y Ramírez, 2008), define asociación como un ensamblaje o agrupación de especies repetidamente encontrado en ciertas condiciones determinadas y que coexisten frecuentemente.

3. Primeros intentos por generar consensos

Para unificar conceptos y ampliar el estudio del ensamblaje, Wetzel (1983) coordina la organización de los trabajos del primer congreso internacional sobre perifiton, realizado en Suecia. Se presentan 41 investigaciones de índole cualitativa-cuantitativa, las cuales giran en torno a la dinámica de las comunidades perifíticas, los parámetros que influyen el crecimiento y formación del ensamblaje, la productividad

y la utilización del perifiton, las interacciones perifiton-sustrato, metodologías para su estudio y el perifiton y la polución. Con menor difusión, mas no con menor relevancia que la información expuesta, Bicudo (1990a, 1990b), Watanabe (1990) y Schwarzbald (1990) publican revisiones sobre algunas consideraciones metodológicas para la investigación, conteo, caracterización del nivel de polución de las aguas y métodos ecológicos de estudio, a partir del perifiton, al tener en cuenta las experiencias realizadas en Brasil.

Según Round (1991) las algas comprenden desde formas unicelulares, coloniales, filamentosas y sifonáceas, hasta talos parenquimatosos complejos como en las algas superiores. Las formas unicelulares pueden subdividirse en inmóviles (protococoidal), ameboides (rizopodial) y móviles (flageladas). Aunque se ha concedido amplio énfasis al componente algal del ensamblaje perifítico, el término como tal hace referencia tanto a los animales como a los vegetales que viven adheridos a tallos y hojas de plantas acuáticas enraizadas o que se adhieren a otras superficies (Odum, 1983). El término algas bénticas se adjudica a las algas que forman parte del perifiton, dado que ellas son el componente principal del mismo.

4. Métodos de aproximación a su estudio

Debido a que el muestreo cuantitativo en sustratos naturales es difícil, son ampliamente utilizados los sustratos artificiales, sobre todo en experimentos de colonización (Montoya-Moreno y Ramírez, 2007). Hentschel (1916) fue el primero en describir el uso de porta objetos de vidrio para estudios cuantitativos y cualitativos de ensamblajes perifíticos. Desde entonces, son el material más ampliamente utilizado y, a pesar de algunos sesgos, brindan la ventaja de la uniformidad. A pesar de que el uso de sustratos naturales es a menudo deseable, existen numerosos tipos de investigaciones donde los sustratos artificiales deben ser usados (Collins y Weber, 1978). No obstante, son muchas las investigaciones que concluyen que los ensamblajes perifíticos en los sustratos artificiales no se corresponden con los que

crecen sobre sustratos naturales, los cuales pueden ser vivos o muertos (Pompêo, 1991; Fernandes, 1993, 1997) o incluso se recomienda estudiar ambos tipos de sustratos para llegar a tener una mejor idea de la dinámica del ensamblaje en el ecosistema (Wetzel, 1983).

Rodrigues et al. (2003) afirman que la fisiología y el crecimiento de la microbiota adherida, están relacionados con la dinámica física y fisiológica del sustrato vivo sobre el cual crece. Wetzel (1983) considera que las macrofitas acuáticas favorecen la diversidad de microhabitats para el perifiton, ya que brindan disponibilidad de luz, gases y nutrientes.

En Colombia y en general en Suramérica, se han trazado dos enfoques para el estudio del perifiton: 1) El estudio en sustratos naturales tales como macrofitas (Montoya-Moreno y Aguirre, 2006, 2008, 2009a, 2009b; Montoya-Moreno et al. 2011), piedras (Montoya-Moreno, 2000; Martínez y Donato, 2003; Díaz-Quirós y Rivera-Rondón, 2004; Ramírez y Plata-Díaz, 2008; Aguirre-Sánchez et al., 2008) y tallos (Andramunio, 2006), respecto a sustratos animales como caparazones de animales y en sedimentos superficiales no se encontró ningún trabajo publicado; 2) el empleo de sustratos artificiales dispuestos en el agua para su estudio (Moreno, 1989; Montoya-Moreno, 1998; Sierra y Ramírez, 2000; Martínez y Donato, 2003; Montoya-Moreno y Ramírez, 2007; 2009; Castellanos y Donato, 2008). Vale la pena mencionar que en ambos casos se acarrearán problemas adicionales; en el primero puede citarse la posible alteración de la comunidad al desprenderla del sustrato al homogenizar la arquitectura del mismo, con lo que se pierde información. En el segundo caso, podrían obviarse las posibles interacciones entre el perifiton y el sustrato que normalmente coloniza (Salazar, 1989). Además, en el caso de los sustratos naturales el conocimiento del tiempo de colonización sobre sustratos biológicos es de difícil acceso y en el caso de los sustratos artificiales; ubicados en sistemas que presentan fuertes fluctuaciones del caudal se compromete la integridad del sustrato, el cual fácilmente es arrastrado por la corriente de agua.

Watanabe (1990) considera que el empleo de sustratos artificiales fue un gran avance metodológico para la cuantificación de la tasa de crecimiento y de biomasa fijada, como también para la estimación del metabolismo del perifiton. No obstante, para el estudio de las algas epífitas, los sustratos artificiales no son ideales, ya que las macrofitas no son sustratos inertes, por lo que las investigaciones se deben realizar en este caso sobre sustratos naturales.

5. Autoecología del perifiton

La formación de las biopelículas es un proceso multifactorial complejo donde los microorganismos de una o varias especies crecen sobre una superficie y producen polímeros extracelulares, lo cual resulta en una alteración en el fenotipo de los organismos con respecto a la tasa de crecimiento y a la transcripción de genes (Singh et al., 2006).

Castillo (2000) afirma que durante el proceso de acumulación de biomasa se distinguen tres fases: 1) colonización; 2) crecimiento logarítmico y 3) cima asintótica. Este autor describe un patrón de la colonización del perifiton el cual inicialmente forma un revestimiento orgánico (detritus), que es pre-requisito para la fijación de bacterias, que son los colonizadores primarios. Este sustrato orgánico constituye una superficie de fijación de los demás colonizadores, que en su mayoría son las diatomeas de bajo perfil. Luego se presenta una segunda etapa de agrupamiento, crecimiento y formación de la matriz extracelular (Roldán y Ramírez, 2008). Aparecen las diatomeas de largo perfil pedunculadas y organizadas en rosetas; después llegan las clorofíceas y cianoprocaritas filamentosas, se genera un cambio de una comunidad bidimensional a una estructura biológica tridimensional (Moura, 1997; Castillo, 2000).

Montoya-Moreno y Ramírez (2007) encontraron un patrón consistente en una etapa inicial, en la que ocurre una fase de rápida colonización de especies, alcanzándose la máxima diversidad entre la segunda y tercera semana de colonización y la máxima riqueza en la cuarta semana del proceso de

colonización. A partir de esta semana, los procesos de interacción entre las especies se hacen más fuertes debido a la consolidación de la matriz y a la competencia.

Los estudios de las tasas de crecimiento del perifiton han atribuido variada importancia a la velocidad de la corriente, la intensidad y calidad de la luz incidente, la temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica, la concentración de nutrientes, el estado trófico, herbivoría, abundancia de macrófitas, la calidad del sustrato, la velocidad del agua y a condiciones de calidad del agua, como las variables asociadas a la acumulación de perifiton en los diferentes sustratos (Sand-Jensen, 1983; Chamixaes, 1991; Rodrigues et al., 2005). Se considera que las tasas de producción primaria dependen del área del sustrato disponible para la colonización, de las características del sustrato, las condiciones fisicoquímicas del agua y la morfometría del sistema acuático (Mochini-Carlos, 1999). Sin embargo, los factores que controlan el crecimiento de las macrófitas y el perifiton son específicos del sitio y ellos varían espacial y temporalmente (Flynn et al., 2002).

La herbivoría, la competencia con el fitoplancton y la competencia inter e intraespecífica son los principales factores bióticos que regulan el crecimiento de las algas perifíticas (Oliveira-Martins, 2006).

Según este listado de variables relacionadas con el crecimiento del perifiton, esta asociación depende de todas las variables del medio acuático. No obstante, en ocasiones es difícil cuantificar la importancia y el efecto que cada factor ejerce sobre la composición y la abundancia de la comunidad, aunque la influencia de dichos factores se puede inferir a partir del cambio de especies y la reducción del número total de especies (Díaz-Quirós y Rivera-Rondón, 2004).

¿Valdría la pena preguntarse si para las algas representa alguna ventaja el hábito perifítico respecto al planctónico?

Sobre esta cuestión se podrían mencionar resultados a favor y en contra de cada uno de los hábitos,

ya que la formación de agregados de bacterias dentro de las complejas comunidades microbianas confiere algunas ventajas que no se presentan para los organismos individuales como, por ejemplo: 1) los organismos dentro de la biopelícula pueden resistir fuerzas de corte; 2) toleran disminución de nutrientes; 3) resisten cambios en el pH y 4) superan el efecto de antibióticos de una mejor manera por la producción de secreciones de exopolisacáridos (Singh et al., 2006). Además: 5) Roberts (1999) reconfirmó la transferencia de genes entre cepas emparentadas y no emparentadas en biopelículas en cavidades bucales de bovinos. 6) Protección y refugio contra la acción directa de los depredadores herbívoros al formar una biopelícula perifítica (Chamixaes, 1991). 7) La proximidad espacial confiere gran potencial de reciprocidad e interacción metabólica entre los constituyentes del perifiton, lo que eleva su eficacia en la utilización de los recursos del medio (Wetzel, 1990). 8) Las algas perifíticas pueden absorber nutrientes que están disponibles en la columna de agua, mientras mantienen la carga interna de nutrientes, la cual permite su desarrollo cuando las condiciones son oligotróficas (Chamixaes, 1991).

Con base en las investigaciones realizadas en los últimos años, se pueden citar algunas conclusiones sobre el perifiton.

- La comunidad ficoperifítica de los sustratos artificiales es más autotrófica cerca de la superficie y más heterotrófica con la profundidad (Castillo, 2000). El área de sustrato colonizable limita el desarrollo de la comunidad perifítica, tal como lo demuestra el hecho de que un incremento en la biomasa de sustrato (en consecuencia del área disponible), conlleva a un incremento en la biomasa de perifiton (Salazar, 1989).
- Otra característica del ensamblaje perifítico es el predominio de las diatomeas tanto en sustratos naturales como artificiales. Planas (1998) considera que la mayoría de los sustratos artificiales tienden a favorecer a las diatomeas. Las diatomeas han sido consideradas a nivel general como colonizadoras rápidas y eficientes, al ser capaces de ocupar sustratos en un corto

lapso de tiempo, el cual puede variar desde un día hasta varias semanas (Rodrigues et al., 2003a). La mayor parte de sus representantes presentan estructuras especializadas de fijación al sustrato, como pedúnculos mucilaginosos largos y cortos, producción de matrices mucilaginosas y colonias en forma de estrella o ramo fijadas por la base (Round, 1991). Sus diminutos tamaños permiten que sus representantes tengan rápida fijación en superficies menores, no accesibles a competidores mayores (Rodrigues et al., 2003a). Por estas razones, las diatomeas son favorecidas en sistemas con velocidades de corriente moderadas a altas (Horner et al., 1990). De acuerdo con Winter y Duthie (2000), las diatomeas presentan ventajas competitivas respecto a otros grupos algales en ambientes con bajas a moderadas concentraciones de fósforo.

- La producción expresada en relación al área de sustrato es mucho mayor que la expresada en relación al peso de perifiton. Esto puede deberse a que, cuando se expresan los resultados por unidad de área, se asume de hecho que el perifiton coloniza homogéneamente toda la superficie del sustrato, y que el perifiton incubado fotosintetiza por igual (Salazar, 1989).
- Se ha registrado que la biomasa máxima de perifiton está desfasada con respecto a la del sustrato, por lo menos en el caso de *Hymenachne amplexicaulis*. Esto podría ser producto del sombreado que ejerce la biomasa aérea del sustrato sobre el perifiton (Salazar, 1989).
- Respecto a la bioindicación, Sand-Jensen (1983) considera que en las fases iniciales de la colonización de un sustrato, la matriz perifítica, por ser poco densa, refleja mejor las condiciones ambientales circundantes, ya que con el desarrollo de la comunidad los procesos internos se tornan más importantes.
- En las planicies de inundación del alto Paraná, Rodrigues y Bicudo (2001) demostraron la influencia de los pulsos de inundación en las comunidades de algas perifíticas que utilizan como sustrato a *Eichhornia azurea* Kunth. Además, no es común encontrar estudios comparativos de las algas perifíticas en diferentes

sustratos naturales y morfotipos de macrofitas acuáticas.

- Respecto al efecto del ciclo hidrológico sobre la estructura y densidad del ensamblaje, hay resultados contradictorios, ya que Bonneto et al., (1984) encontraron que con relación al ficoperifiton, los valores medios de la biomasa fotosintética y de la densidad total presentan una tendencia al aumento en los periodos de aguas bajas y sequía en la planicie de inundación del río Paraná. Hay que considerar la contribución de las algas en la región litoral a través del perifiton, especialmente en la época de lluvias. Probablemente, la acción mecánica y la turbulencia de las aguas causada por trastornos de los pulsos de inundación y la lluvia contribuye a la separación de los organismos del perifiton. Así, en el momento de la inundación, hubo un pico en clorofitas de la región costera, pero no en aguas abiertas.
- Rodrigues y Bicudo (2001) demostraron claramente que la perturbación (variaciones marcadas de nivel de agua del río Paraná y los vientos) fueron los principales factores que controlan la sucesión del perifiton en cortos intervalos de tiempo. Observaron cambios notables en el curso del proceso de sucesión, en las tasas de producción y exportación de biomasa de algas y en la variación de las clases dominantes. Happey-Wood (1988) planteó que muchas algas planctónicas han sido derivadas del desarrollo del hábitat perifítico, es decir, la comunidad del perifiton actúa como inóculo (Taniguchi et al., 2005). Por lo que la perturbación actúa como un agente que propicia la deriva de las algas perifíticas al plancton.
- En los planos de inundación el ensamblaje ficoperifítico muestra tendencias distintas al del fitoplancton. Además de presentar los mayores valores de clorofila-a y la densidad total en periodos de estiaje y sequía, tiende a haber una mayor representación de las clases Chlorophyceae, Bacillariophyceae y Oedogoniophyceae. Durante la inundación, la abundancia total de los principales grupos de algas se reduce, probablemente por el pulso

de inundación (Taniguchi et al., 2005). Estos autores encontraron que en comparación con el perifiton, el fitoplancton sufre un cambio mayor en su composición en épocas de aguas altas.

- Según Goldsborough y Robinson (1996), en las zonas poco profundas, como en los humedales en general, es difícil establecer los límites del hábitat para las poblaciones de algas, ya que existe gran interacción entre los diferentes compartimentos del sistema. Esta interacción está influenciada principalmente por la hidrología, la estabilidad de la columna de agua y la disponibilidad de superficies colonizables, entre otros factores.
- Las macrófitas por lo general son un excelente sustrato para las algas perifíticas. Estas inhiben el intercambio y la absorción de nutrientes por las hojas de macrófitas y también pueden provocar reducciones en la luz. Sand-Jensen (1987) estima que entre el 7 y el 70% de la luz que llegó a la superficie de la macrófita sumergida *Littorella uniflora* fue absorbida por el perifiton, el cual depende de la biomasa de esta planta. Una defensa química para mantener la superficie limpia de epífitos sería una ventaja para la planta. Las macrófitas jóvenes están a menudo libres de perifiton, a pesar de que las algas pueden crecer más rápidamente que las macrófitas. Es posible que las plantas jóvenes “se auto protejan” a sí mismas mediante la producción de sustancias químicas, aunque esto es especulativo.

6. Importancia del perifiton en los ecosistemas acuáticos

El perifiton está conformado por un ensamble de especies que se ubica en la interfase agua-sustrato, lo que permite que pueda aprovechar recursos de este ecotono. La distribución y porcentaje de cobertura del ensamblaje varía en cada sistema acuático, pero en el ecosistema presenta una importancia variada ya que:

- Se les considera fuente alimenticia ya que es rico en proteínas, vitaminas y minerales; Incluso el ensamblaje perifítico puede constituirse en la fuente principal de alimento para cladóceros,

copépodos, larvas de insectos de los grupos quironómidos, Blephariceridae y Ephemeroptera, también de oligoquetos y peces como el bocachico (*Phaloceros reticulatos magdalenae*), el cual raspa las superficies de las plantas sobre las que crece el perifiton (Rodrigues et al., 2003a; Rodrigues et al., 2003b; Mochini-Carlos, 1999). Moreira (1988) destaca su producción de metabolitos orgánicos que alimentan diversos organismos.

- Útiles para el tratamiento de sustancias tóxicas y desechos, debido a la capacidad de las algas para acumular grandes cantidades de sustancias contaminantes como nutrientes, insecticidas, herbicidas, fungicidas, metales pesados y materia orgánica (Sládecková, 1962; 1991) y sustancias radioactivas (Neal, 1967 citado por Mochini-Carlos, 1999; McIntire, 1975).

Los microorganismos que segregan polímeros y forman biopelículas sobre la superficie de hidrocarburos, propiedad que ha sido empleada para el tratamiento de sustancias recalcitrantes y degradación lenta de compuestos, debido a su biomasa microbiana alta y su habilidad para inmovilizar compuestos por biosorción (secuestro pasivo por interacciones con materia orgánica), bioacumulación (incremento en la acumulación de sustancias bajo influencia de los microorganismos) y biomineralización (formación de precipitados insolubles por interacciones con productos del metabolismo microbiano) (Barkay y Shaefer, 2001).

- Pretratamiento de agua potable e industrial (Sládecková, 1991; Mochini-Carlos, 1999). Participa en el proceso de purificación del agua al atrapar los nutrientes y otros compuestos orgánicos (Stevenson, 1996), y presenta tasas altas de reciclaje de nutrientes (Moreira, 1988).

De acuerdo con Branco (1986) citado en Silva-Oliveira (2007) las algas representan el grupo más importante desde el punto de vista hidrobiológico, ya que oxigenan el agua y contribuyen a la respiración de los organismos acuáticos, además de mejorar la calidad del agua a través de la oxidación de la materia orgánica.

- Se pueden emplear como bioindicadores de la calidad biológica del agua y de su estado trófico (Sládecková, 1962; Watanabe, 1990). Debido a su ciclo de vida corto y a su dinámica funcional alta, las algas responden rápidamente a las alteraciones ambientales y funcionan como sensores sensibles y confiables (Rodrigues et al., 2008).

Ha aumentado la importancia del empleo del perifiton en estudios de conservación, evaluación de impactos ambientales, propuestas de recuperación y manejo (McCormick y Stevenson, 1998; Hill et al., 2000; Pan et al., 2000), ya que las formas de crecimiento sésil sobre el sustrato no les permiten evitar los contaminantes, y por tanto toleran el ambiente o fallecen (Hering et al., 2006).

- En estudios ecológicos, están relacionadas directamente con gran parte de la materia orgánica producida; y promueven el intercambio de los componentes físicos, químicos y biológicos. Pueden originar formas planctónicas por el desprendimiento del sustrato (Oliveira-Martins, 2006). El perifiton ha sido utilizado para verificar aspectos relacionados con la colonización, sucesión, diversidad y estabilidad de las comunidades, por lo que se puede emplear como un sistema modelo de estudio (Stevenson, 1996).

Otro tipo de investigación, está relacionada con la evaluación de los efectos de los contaminantes sobre la morfología y la fisiología de los organismos (Whitton y Kelly, 1995). El perifiton brinda la posibilidad de proporcionar abrigo y alimento a varios tipos de organismos, principalmente peces (Moreira, 1988).

- Juega un papel importante en los balances de materia, en los ciclos biogeoquímicos y energéticos, ya que la biomasa producida por el perifiton puede ser trasladada a varios niveles, tales como en la acumulación algal, la descomposición (cadena de detritus), la herbivoría (cadena de consumidores) o en la exportación de materia orgánica (Moreira, 1988; Rodrigues et al., 2003a; Rodrigues et al., 2003b).

Es importante considerar la participación del perifiton, en conjunto con las macrofitas, en la regulación del reciclaje de nutrientes (Wetzel, 2001). En ese orden de ideas, se considera al perifiton como regulador de la química del agua al cambiar muchos compuestos de forma inorgánica a orgánica (Stevenson, 1996).

- En algunos ambientes acuáticos el perifiton puede llegar a alcanzar entre el 5,5 y el 90% de la producción primaria total (Wetzel, 1964; 1990). El papel de esta comunidad asume mayores proporciones cuando se considera que la mayoría de los ecosistemas del mundo son poco profundos, con predominio de las regiones de interfase tierra-agua (Wetzel, 1996).
- El perifiton puede ocasionar problemas de operación en las plantas de tratamiento de agua, ya que taponan filtros y rejillas y corroe las compuertas en las hidroeléctricas (Sládecková, 1962; Mochini-Carlos, 1999).

7. Investigaciones sobre perifiton en Colombia

Esta recopilación trata de presentar los trabajos realizados en el país, reuniéndolos por el tipo de ecosistema (lótico-léntico) y por regiones en algunos casos. En Colombia el primer estudio sobre el ensamblaje perifítico fue realizado por Ducharme (1975, en Andramunio, 2006), quién calculó la biomasa del perifiton a partir de la colonización de sustratos artificiales en ciénagas del Magdalena.

Embalses

Uno de los trabajos pioneros fue el de Moreno (1989) quien estudió la colonización del perifiton sobre sustratos artificiales en tres embalses del oriente antioqueño, en los que predominaron las algas en el perifiton. Se encontraron 105 taxones, de los cuales 95 eran algas y los demás protozoos, rotíferos y algunas larvas de insectos.

Sierra y Ramírez (2000) realizaron la caracterización del ficoperifiton que coloniza sustratos artificiales en el embalse de La Fe-Antioquia, los cuales fueron

dispuestos verticalmente, durante dos meses a cuatro profundidades en dos épocas hidrológicas contrastantes (lluvia y sequía). Se encontró baja biomasa algal perifítica debido al bombeo de agua al embalse, lo que generó pérdidas por desprendimiento mecánico y fricción, por lo que el ensamblaje perifítico se mantuvo siempre en la fase inicial de colonización por bacterias.

Gualtero y Trilleras (2001) en el embalse de Prado (Tolima), establecieron seis zonas, en cada una se definió una estación de muestreo donde se ubicaron 24 muestreadores que fueron retirados quincenalmente. Se presentaron 76 especies fitoperifíticas y 54 zooperifíticas que colonizaron exitosamente los sustratos instalados en los que predominaron siempre el componente epífito sobre el ticoepífito, debido a que el primero presenta verdaderas adaptaciones bénticas, mientras que el segundo generalmente llega a la comunidad de forma accidental. Dentro de las diatomeas, las especies más abundantes fueron *Navicula* sp3 (23,6%), *Amphora* sp (16,1%), *Synedra* sp1 (15,7%), *Eunotia* sp (12,9%). En los otros grupos algales lo fueron *Cosmarium* sp (16,89%) para las clorofíceas, *Oscillatoria* sp (9,5%), en las cianofitas y *Peridinium* sp1 (4,5%) en las pirrófitas. Los parámetros físicos como la luz y las lluvias influyeron en mayor grado en la variación temporal de la comunidad.

Páramos

Colombia es uno de los pocos países que posee páramos. En este tipo de regiones las condiciones climáticas y geológicas especiales dificultan los muestreos en sus ecosistemas. No obstante, González y Donato (1991, en Andramunio, 2006) realizaron un trabajo sobre la estructura del perifiton en sustratos naturales en la laguna de Chingaza, ubicada en la zona paramuna. Donato et al., (1996) escriben un libro sobre la ecología de dos sistemas de Paramo (Laguna de Chingaza y embalse de Chuza), en el cual investigan, entre otros temas, sobre el crecimiento del perifiton en sustratos artificiales (placas de acrílico) y en sustratos naturales (*Potamogeton* sp., *Myriophyllum* sp. y rocas). En general, reportan 62 taxones, el predominio de las diatomeas y las desmidiáceas,

todas cosmopolitas, cuyas abundancias están influenciadas por la precipitación y el nivel del agua.

Donato et al. (1996) realizaron el estudio del perifiton asociado a sustratos artificiales (placas acrílicas) y naturales (*Potamogeton* spp. y *Myriophyllum* spp.) en dos sistemas acuáticos de páramo. Encontraron que las diatomeas predominan en el perifiton con el 41% de la abundancia de la comunidad, seguida por las clorofíceas con el 37%. También registraron, que la composición del perifiton es bastante homogénea a lo largo de cuatro estaciones en cada cuerpo de agua, en las que se da alternancia en la dominancia entre estos dos grupos, la cual depende de las variaciones de la alcalinidad y la concentración de calcio.

Ramírez y Plata-Díaz (2008) realizaron el inventario de diatomeas perifíticas en dos sistemas lóticos en el Páramo de Santurbán y determinaron su relación con las condiciones ambientales. El ensamblaje no registró variación estacional significativa, es decir que se presentaron mayores diferencias entre los tramos que entre períodos de muestreo. Esto se debe a que las diatomeas perifíticas fueron afectadas principalmente por diferencias en el hábitat entre los tramos, lo cual enfatiza la importancia de las condiciones ambientales en los sistemas acuáticos tropicales de alta montaña sobre la composición y abundancia de diatomeas perifíticas. La conductividad, el potencial redox, el pH y el caudal fueron factores determinantes de la variación ambiental y de las diferencias en la estructura del ensamblaje. Los tramos de los ríos presentaron valores altos de caudal y conductividad, que influyeron en la diversidad baja de estas zonas, mientras que los valores bajos de caudal y la ausencia de condiciones químicas extremas en las zonas medias explicaron la mayor diversidad y la similitud del ensamblaje entre estas zonas.

Ríos

Ramírez y Viña (1998) estudiaron el perifiton presente en ríos ubicados en las zonas de influencia de los proyectos de explotación y transporte de hidrocarburos. Evidencian que la comunidad presenta una capacidad de tolerancia muy alta

frente a las variaciones ambientales, especialmente organismos de los géneros *Nitzschia*, *Navicula*, *Fragilaria* y *Lyngbya*. La gran mayoría de taxa exhibe amplia tolerancia a la contaminación. Registran que la riqueza de la comunidad se favorece a altitudes menores a 500 m.s.n.m. El número total de morfoespecies fue mayor durante la temporada de sequía. Al analizar los grupos algales encontraron que las cianofíceas son el grupo más generalista y poseen rangos medios de tolerancia ambiental, además que tienden a presentar los más altos y bajos valores de los índices de contaminación. Las clorofíceas contrario a las cianofíceas, exponen las tolerancias más estrechas y son favorecidas por el incremento de fósforo. Las euglenofíceas predominan en aguas de mayor temperatura, concentraciones iónicas elevadas al igual que la carga orgánica. Respecto a las diatomeas plantean que su comportamiento se asocia específicamente a nivel de especie, por lo que es difícil realizar generalizaciones dentro del grupo.

Montoya-Moreno (1998) instaló muestreadores de acrílico con portaobjetos a nivel subsuperficial en dos estaciones de recolección en la parte alta del río Medellín. De enero a marzo de 1998 se tomaron muestras semanales y se encontraron diferencias temporales significativas en la diversidad y en la equidad. A nivel espacial hubo diferencias en la biomasa, la productividad, la diversidad y la equidad. La biomasa total y la productividad aumentaron con el tiempo de colonización en la estación 1. La estación 2, que tiene un caudal cuatro veces mayor, tuvo menor diversidad y equidad media. Durante el proceso de colonización se encontraron 76 especies pertenecientes a 22 familias. Las diatomeas fueron las más abundantes (56% del total), seguidas por clorofíceas (29%), cianoprocariontes (11%) y criptofíceas (14%). El proceso de colonización presentó un patrón consistente en una etapa inicial, en la que ocurre una fase de rápida colonización de especies, alcanzándose la máxima diversidad entre la segunda y tercera semana de colonización y la máxima riqueza en la cuarta semana del proceso de colonización. A partir de esta semana, los procesos de interacción entre las especies se hicieron más fuertes incrementándose la competencia, ya que

el espacio comienza a ser un factor limitante, sumado a otras variaciones, como el aumento en las precipitaciones y las variaciones del caudal. Hacia el final del periodo de colonización, aumentaron la biomasa total y la productividad, relacionados con los altos valores medios de nitrógeno (7,98 mg/l) y fósforo (0,08 mg/l).

Martínez (2000) estudió los factores que influyen en la colonización de un río de alta montaña. Encontró que las diatomeas dominaron en las épocas de estudio y se ordenaron durante las etapas de desarrollo como especies colonizadoras de etapas primarias, intermedias y tardías. Adicionalmente, la diversidad de algas perifíticas fue mayor en condiciones de caudales medios y lluvias esporádicas.

En el río Tota, Martínez y Donato (2003) investigaron el efecto del caudal sobre la colonización de sustratos artificiales en tres periodos climáticos diferentes. Se encontró que la variación mensual de las características fisicoquímicas fue mayor que la diaria, además que, el caudal generó patrones de colonización del perifiton de acuerdo a las variaciones estacionales. La diversidad fue mayor bajo condiciones de caudales medios y lluvias esporádicas, mientras que la densidad fue mínima cuando los valores de caudal fueron mínimos. Díaz-Quirós y Rivera-Rondón (2004) realizaron la caracterización de las diatomeas perifíticas en veinte ríos de la cuenca alta y media del río Bogotá. Encontraron que la estructura de las comunidades de diatomeas está determinada principalmente por las variables físicas (32,3%), y químicas (56,4%) con respecto a las hidrológicas (11,3%). En esta investigación se reportaron 57 taxones, los cuales pueden ser utilizados como indicadores de las condiciones de pH y fósforo soluble reactivo del medio ambiente acuático.

Rivera-Rondón y Díaz-Quirós (2004) en 16 puntos de muestreo, ubicados en 14 ríos de la cuenca media y alta del río Bogotá (2.617 - 2.988 m de altitud) realizaron dos muestreos durante el año 2002 para analizar algunas variables físicas, químicas, hidrológicas y la comunidad de fitobentos a nivel de clases. Mediante un análisis de componentes

principales se encontró que los ríos responden a un gradiente dado por el área de la cuenca y un gradiente de mineralización. Los ríos estudiados son de orden 1 a 4, de carácter ácido y presentan caudales inferiores a los $3,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Los valores de nitrógeno total y fósforo total no superan los 7 mg l^{-1} y $1,4 \text{ mg l}^{-1}$, respectivamente. En el fitobentos se encontró que las diatomeas son el grupo dominante seguidas de las cianoprocaritas y las clorofíceas. Los gradientes encontrados determinan los grupos de fitobentos dominantes y codominantes en cada uno de los ríos.

Hernández-Atilano et al., (2005) estudiaron la variación espacio temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuenca La Vega (Antioquia), las cuales fueron tomadas de rocas en tres estaciones de muestreo, con un área de muestreo de 900 cm^2 en cada una. Los muestreos se realizaron entre agosto de 2001 y abril de 2002, efectuándose en dos muestreos en época de lluvias y dos en verano. Se registraron 31 géneros entre los que las diatomeas fueron las de mayor contribución a la riqueza numérica. Se presentó similaridad espacial y temporal alta entre las estructuras de las algas perifíticas; además se determinó que; la mayoría de las variables ambientales no presentaron diferencias significativas durante la investigación. Se encontró que la combinación de la intensidad lumínica alta y la disponibilidad de sustratos duros y nutrientes pueden influenciar la densidad algal.

Zapata y Donato (2005) estudiaron los cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de la corriente en el río Tota. Las especies predominantes fueron *Cocconeis placentula*, *Melosira varians*, *Nitzschia* sp2 y *Fragilaria* cf. *capucina*, con cambios diarios en sus densidades en los tres periodos. Se encontró que la variable con mayor explicación de estos cambios es la velocidad de la corriente junto con el nitrógeno total y el pH. En general, valores de velocidad de la corriente moderadamente altos promueven bajas densidades algales; la comunidad se conserva en las primeras etapas de sucesión y permite el mantenimiento de la diversidad. En velocidades de corriente más bajas, la abundancia total es alta

y se sucede el desprendimiento de la película algal con el consecuente reinicio de la sucesión. En el río Tota, Valenzuela et al. (2006) realizaron la evaluación de la producción primaria durante la colonización de un sustrato artificial a lo largo de 60 días consecutivos de colonización. Se observó un crecimiento logístico de la biomasa, determinado por las condiciones ambientales del lugar en el que el caudal fue el factor más importante.

En un trabajo que se puede considerar pionero en el país respecto a la investigación del componente heterotrófico del perifiton, en dos zonas del río Combeima (Guevara-Cardona et al., 2006) estudiaron el zooperifiton presente. Los investigadores encontraron individuos pertenecientes a siete taxones; de los cuales Protozoa fue el más abundante (62,33%), seguido por Rotifera (16,04%), Nematoda (8,58%), Arthropoda (8,23%), Annelida (2,02%), Gastrotricha (1,81%) y Mollusca (0,07%). Entre los protozoos, *Paramecium* sp., *Arcella* sp. y *Dileptus* sp., fueron los más abundantes y *Chaos* sp. presentó el valor más bajo. Entre los rotíferos, *Cephalodella* sp. y *Philodina* sp., fueron los más abundantes. Arthropoda estuvo representado por dípteros (Chironomidae, *Simulium* sp.), efemerópteros (*Baetis* sp., *Baetodes* sp.), tricópteros (*Helicopsyche* sp., *Leptonema* sp.) y odonatos (*Hetaerina* sp.). La comunidad zooperifítica del río Combeima presenta fluctuaciones temporales que determinan su variabilidad tanto en zonas con baja perturbación como en zonas altamente perturbadas. En ambos casos, los protozoos y los rotíferos, determinan su dinámica la cual se refleja en cambios en la composición, estructura, densidad y el reemplazo continuo de taxones.

Zapata y Donato (2008) evaluaron mensualmente los cambios diarios en la biomasa algal béntica estimada a partir de la clorofila a y del peso seco libre de cenizas (PSLC) en lapsos de 15 días consecutivos en el río Tota, proceso en el cual fueron empleados sustratos artificiales. Encontraron una variación de la biomasa acorde con los periodos estacionales, en los que en Agosto de 2002 se reportó la menor biomasa ($0,087 \text{ mg/m}^2$) y los mayores valores en enero de 2003 ($4,63 \text{ mg/m}^2$) cuando el caudal

presentó los registros más bajos (0,015 m³/s). La clorofila se relacionó de manera inversa con el caudal y con la velocidad de la corriente. La biomasa mostró una relación de acuerdo con los periodos estacionales del muestreo, la cual es regulada por los periodos hidrológicos (caudal y velocidad de la corriente). Durante caudales estables la biomasa es regulada por factores bióticos (herbivoría). En caudales muy bajos la concentración de nutrientes controla la comunidad.

Rivera-Rondón y Donato (2008) realizaron muestreos quincenales en el río Tota con la finalidad de evaluar la influencia de las variables hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas bénticas. Encontraron que cuando el caudal fue alto dominaron las algas con formas aplanadas (oblicuas y ovoides) y en los periodos de caudal bajos, algas alargadas, centrales y naviculiformes. La herbivoría afecta principalmente a las formas erguidas y permite el crecimiento de algas con formas postradas como *Cocconeis placentula*. La diversidad de la comunidad de diatomeas se relacionó con la variabilidad del caudal.

Castellanos y Donato (2008) investigaron sobre la relación entre el biovolumen y la sucesión de diatomeas bénticas en el río Tota, mediante sustratos artificiales durante diferentes periodos hidroclimáticos. Encontraron que el biovolumen de las especies se relaciona con el caudal y con la conductividad, mientras que el biovolumen de las formas con la velocidad de la corriente y los nutrientes. El proceso de sucesión se caracterizó porque siguió un patrón de acumulación de biovolumen de toda la comunidad y no por el cambio en la composición y reemplazamiento de especies con la edad de la sucesión. Las especies de diatomeas con forma de prisma elíptico y de cilindro de tamaño medio, son las mejor adaptadas al medio del río y a su régimen natural de disturbios.

En la región cafetera, Bustamante *et al.* (2008) realizaron la caracterización preliminar del perifiton en el río Quindío entre septiembre y noviembre de 2006. Las diatomeas fueron el grupo predominante, entre las que sobresalen los taxones *Navicula*

sp., *Melosira granulata*, *Cymbella* sp. y *Diatoma* sp., como los más abundantes. Se reportó baja diversidad y dominancia, lo cual pudo deberse a la combinación de factores hidráulicos, fisicoquímicos y geológicos de la cuenca del río.

En el municipio de Pereira, Rivera-Rondón *et al.* (2008) investigaron sobre las relaciones entre el uso del suelo y la comunidad de diatomeas perifíticas en 18 pequeños ríos durante el año 2006. Los resultados indican que los sistemas productivos en agricultura y ganadería de carne tienen mayor impacto sobre los ríos, al producir concentraciones altas de nutrientes, niveles de oxígeno bajos y los valores de los sólidos en suspensión altas. En los sistemas productivos de ganadería lechera, plantaciones forestales y en las áreas de bosques protegidos, se observó una mejor calidad del agua. Los ríos de los sistemas productivos de mayor impacto presentan una comunidad de diatomeas más diversa, que se relacionó con la baja cobertura en vegetación riparia y la mayor disponibilidad de materia orgánica. Adicionalmente, se reportó que las especies de las diatomeas responden a gradientes de turbidez, sólidos totales, amonio, nitratos, nitrógeno y fósforo total.

En la quebrada La Ayurá (Aguirre-Sánchez *et al.*, 2008) evaluaron la calidad del agua a través de los protozoos y algas perifíticas en sustratos naturales. Se determinó su capacidad bioindicadora, y se encontró que la mayoría de las algas fueron indicadores mesosapróbicos, mientras que los protozoos eran polisapróbicos.

En 2008 se realizó una investigación para determinar la calidad biológica del agua del río Pasto; para tal fin, se emplearon los macroinvertebrados acuáticos y el perifiton como bioindicadores de la calidad del agua. Se encontró que las familias con mayor diversidad fueron las nostocales, fragilariales y naviculales. Los géneros más representativos fueron del grupo de las diatomeas entre los que predominaron *Navicula* sp. y *Mastogloia* sp. (López-Martínez, 2008).

Las investigaciones sobre el ensamblaje perifítico presente en los ríos son abordados principalmente

en estudios de calidad de aguas e impacto ambiental, basados en raspados sobre sustratos naturales en distintas estaciones de muestreo en donde la zona alta de los ríos es usada como una estación patrón o control (Montoya-Moreno, 1998). Este tipo de información no se encuentra en general publicada, tan solo es de dominio de las corporaciones ambientales regionales. Roldán y Ramírez (2008) describen detalladamente métodos para la investigación del ensamblaje perifítico que coloniza sustratos naturales y artificiales.

En el río Quindío (Bustamante-Toro et al., 2009) entre septiembre y noviembre de 2006 se estudió el ficoperifiton asociado a rocas y restos vegetales. Predominaron las diatomeas, especialmente los géneros *Navicula* sp., *Melosira* sp., *Cymbella* sp. y *Diatoma* sp. Se presentó una menor riqueza de especies hacia la parte alta del río. Abuhatab (2011) estudió la actividad metabólica diaria del biofilm en el sector medio del río Tota. Durante 26 días se midió la producción primaria neta (PPN) y la producción primaria bruta (PPB) y las respiración (R) diaria y a diferentes horas del día, con el objetivo de evaluar la actividad metabólica del Biofilm. La PPN, PPB y la R, registraron diferencias significativas tanto diarias como a diferentes horas del día. Al medio día se registraron los valores más altos de producción y en las horas de la tarde los de respiración. La diversidad y riqueza estuvieron relacionadas con los valores altos de caudal y la intensidad lumínica y los bajos valores de conductividad y nitratos. *Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bertalot y *Reimeria sinuata* (Gregory) Kociolek & Stoermer, se asociaron a valores bajos y medios del caudal, respectivamente. Los valores altos de nitrato y bajos de conductividad y temperatura del agua, incidieron en la densidad de *Achnanthes minutissima* Kützing, *Gomphonema clavatum* Ehrenberg, *Nitzschia dissipata* (Kützing) Grunow. Especies con densidad baja como *Epithemia sorex* Kützing, *Gomphonema gracile* Ehrenberg y *Nitzschia linearis* (C.Agardh) W.Smith, se relacionaron con valores altos de conductividad, luz y bajos valores de pH.

Abuhatab-Aragón y Donato-Rondón (2012) analizaron la abundancia diaria en sustratos

rocosos entre los meses de julio y agosto de 2009 de las especies *Cocconeis placentula* Ehrenberg y *Achnantheidium minutissimum* (Kützing) Czarnecki en el río Tota. Se midió diariamente el fósforo reactivo soluble (PRS), amonio, nitrato, conductividad y pH. Se observó que la abundancia diaria de la especie *A. minutissimum* estuvo relacionada con concentraciones bajas de amonio, mientras que la de *C. placentula* respondió a concentraciones bajas de fósforo reactivo soluble (PRS). Las especies *A. minutissimum* y *C. placentula*, son representativas en el arroyo Tota. Se observó el aumento en la abundancia de *A. minutissimum* y *C. placentula* en concordancia con las bajas concentraciones de amonio y PRS, respectivamente.

Marín Villegas et al. (2011) estudiaron algunas comunidades bénticas en la quebrada La Florida Armenia-Quindío, durante un periodo de cinco meses comprendidos entre febrero y junio de 2009. Para ello, se establecieron seis puntos donde se colectaron algas perifíticas en sustrato epilítico y epifítico, y se tomaron muestras de agua para su análisis físico-químico. Las algas perifíticas no registraron cambios en su estructura en los diferentes meses de muestreo y su hábitat preferido fue el material vegetal. Los índices ecológicos alfa (á) muestran que los sitios 1 y 2 presentaron buen estado ecológico lo cual permite albergar un buen número de especies bénticas, mientras los sitios 4, 5 y 6 presentaron sus hábitats y paisaje deteriorados. Se presentó una baja similitud florísticas entre las algas de los sitios investigados (7%).

Ciénagas

En los planos inundables de los ríos San Jorge y Sinú, en los complejos cenagosos de Arcial-Porro-Cintura y Baño-Charco Pescao-Pantano Bonito se realizó la caracterización preliminar del perifiton asociado a las macrófitas en la zona litoral (Álvarez, 2008); se registraron un total de 319 taxones de algas planctónicas y perifíticas, 184 taxones del zooplankton y se encontró que el gradiente trófico y la estacionalidad son los factores principales que influyen en las características fisicoquímicas y en la estructura del ensamblaje.

Báez-Polo y Hernández-Jiménez (2001) estudiaron entre julio de 1999 y octubre del 2000 la composición de especies y la variación temporal de las comunidades de perifiton de sustratos artificiales (placas de vidrio de 76 x 26 mm) en la ciénaga de Pajalal, con el propósito de monitorear los cambios ambientales en la ciénaga generados por la entrada de agua dulce por el caño Aguas Negras. Los colectores se mantuvieron sumergidos en el agua por períodos de tiempo promedio de 28 días. La comunidad estuvo compuesta por organismos de 48 especies autótrofas (58% de especies de la comunidad), 19 clorofitas, 14 diatomeas, 11 cianobacterias y 4 euglenófitas; y organismos de 29 especies heterótrofas (35% de especies de la comunidad), 11 ciliados, 4 rotíferos, 4 artrópodos, 3 nemátodos, 2 briozoarios, 1 tremátodo, 1 sargomastigóforo, 1 anélido y 2 especies sin identificar; además se encontraron 4 especies de hongos (5% de especies de la comunidad) y huevos de Engraulididae. Los rotíferos, briozoarios, artrópodos y hongos sólo se presentan cuando la salinidad es baja, y los anélidos lo hacen cuando la salinidad es media.

Los rotíferos, briozoarios, artrópodos y hongos, aunque contribuyen con bajos porcentajes de especies (4, 3, 2 y 3% del total de especies de la comunidad) sólo se presentan cuando la salinidad es baja, y los anélidos (2%) lo hacen cuando la salinidad es media. Se sugiere que los organismos pertenecientes a estos grupos están adaptados a bajas concentraciones salinas y pueden ser indicadores útiles para monitorear aumentos de salinidad. El componente vegetal lo dominan las especies del grupo de las diatomeas con un 27 y 29%, y el componente animal lo dominan las especies de protozoos con un 26 y 24%. En todos los casos el número de especies autótrofas es mayor que el de heterótrofas.

En el departamento de Chocó, en la ciénaga de Plaza Seca, se realizó el primer trabajo sobre perifiton para esta región del país, la cual es una de las más húmedas y con mayor biodiversidad del planeta. Maturana *et al.* (2001) evaluaron la variación de la estructura del ensamblaje ficoperifítico asociado a *Nymphoides* sp. Se encontraron en ocho muestreos

en diferentes épocas climáticas 57 taxones, con un dominio de las clorofíceas, aunque no se presentaron diferencias espaciales ni temporales, en un ambiente cálido, ligeramente ácido y con bajas concentraciones de nutrientes. Posteriormente Abuhatab *et al.* (2004) investigaron la colonización del ficoperifiton en dos sustratos en la quebrada La Francisca en la que las clorofíceas también fueron los organismos predominantes. Además, se presentaron diferencias en la colonización entre los dos sustratos y se encontró que la conductividad eléctrica presentó relación significativa con la diversidad de las algas ficoperifíticas. Posteriormente, Abuhatab y Asprilla (2006) estudiaron la variación espacio temporal del ficoperifiton en el Cerro Las Mojarras (Chocó), el cual presentó géneros de algas cosmopolitas. En la misma región, en la cuenca del río San Juan, Martínez *et al.* (2008) evaluaron la composición y distribución del ensamblaje ficoperifítico en diferentes ecosistemas. Registraron 101 géneros, con predominio de las clorofíceas seguidas por las diatomeas.

A partir de las investigaciones del grupo Gaia en la Ciénaga de Ayapel, se han realizado algunas publicaciones sobre el perifiton de este sistema cenagoso (Montoya-Moreno y Aguirre, 2008; 2009a; 2009b) en las que se discute sobre la asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en la Ciénaga de Paticos y la dinámica del perifiton asociado con macrófitas en la Ciénaga de Escobillitas y su relación con el pulso de inundación. Se encontró un predominio de las diatomeas en la composición y abundancia excepto en aguas bajas en ascenso, período en el cual las clorofíceas predominan debido al ingreso de agua, y al aumento en la concentración de fósforo, de sólidos y de fitoplancton. Se registró menor número de morfoespecies en la ciénaga de mayor nivel trófico (mesotrófica, 43 taxones), respecto a la ciénaga oligo-mesotrófica (114 taxones). Se presentaron diferencias en la densidad de ficoperifiton por unidad de área, en las distintas raíces estudiadas, en especial en *Nymphoides humboldtiana*, la cual tiene una raíz principal única, en la que se presentó la menor diversidad, equidad y riqueza de especies perifíticas. Esto se atribuye a una combinación de factores ambientales, físicos y químicos, así como al tipo de sustrato.

En la Ciénaga de Escobillitas el grupo que presentó mayor diversidad fueron las clorofíceas (48,2%), seguidas por las bacillariofíceas (34,2%), las cianofíceas (9,6%), euglenofíceas (3,5%), crisofíceas (2,6%) y finalmente, las dinofíceas (1,7%). Las variables físicas, químicas y biológicas evaluadas no mostraron relación con los índices comunitarios. El análisis de correspondencia canónica (ACC) presentó en el primer eje 41,8% de la variación, y se asoció positivamente con los nitritos, nitratos, la diversidad (H') y la densidad algal y negativamente con la profundidad y la dominancia. El segundo componente (30%) estuvo asociado a la mineralización del agua (SDT, conductividad eléctrica, pH, OD y fosfatos).

Montoya-Moreno (2011) evaluó las variaciones espaciales y temporales de la estructura de los ensamblajes de algas epifíticas asociadas a raíces de macrófitas en 14 sitios de muestreo (7 zonas con condiciones lénticas y 7 con condiciones lólicas) en el sistema de lagos de inundación de Ayapel. Se estudió la relación de la estructura de los ensamblajes con las variables ambientales y fisicoquímicas del agua, así como también las variables morfométricas de estos cuerpos de agua. Se identificaron 555 morfoespecies, y de éstas, las diatomeas y las desmidiales fueron los grupos predominantes en cuanto a riqueza específica y abundancia. En el primer grupo se registraron 56 géneros y 252 especies, de los cuales 13 géneros y 103 especies son taxa nuevos para Colombia. Corresponden al 50,8% del total de diatomeas identificadas hasta ahora en este país.

La densidad del ficoperifiton varió entre 320 ind/cm² y 57.433 ind/cm², con un valor promedio de 8.964 ind/cm² de raíz. Aunque la magnitud de las variaciones de la densidad ficoperifítica es particular a cada cuerpo de agua, el aumento en el nivel de las aguas de las ciénagas y caños está relacionado con un incremento en la densidad promedio de algas perifíticas. Los valores de densidad medidos son más bajos respecto a valores registrados en sistemas brasileños, ya que en este ecosistema el ensamblaje algal necesitaría disipar el exceso de energía que circula por él, como consecuencia del bajo tiempo

de residencia, el oleaje y la mezcla de la columna de agua.

El pulso de inundación, junto con las características morfométricas variables del sistema de planos de inundación de Ayapel, ejerce una fuerte influencia sobre la estructura de la comunidad epifítica. La distribución de los principales grupos de organismos epifíticos varía entre los distintos ambientes en función de diferentes variables físicas y químicas. Las clorofíceas se asociaron a las variaciones en el nivel hidrométrico y a la transparencia del agua (variables físicas), en la ciénaga. La abundancia de las diatomeas, por otro lado, se encontró relacionada con las concentraciones de nitrógeno inorgánico disuelto (NID) y fósforo, con la relación Área/Volumen de la ciénaga y con el porcentaje del volumen de agua iluminado. Finalmente, la abundancia de las cianofíceas estuvo relacionada con las variaciones en ciertas variables morfométricas como el índice de desarrollo del volumen, la relación profundidad media/profundidad máxima y la forma de la bahía.

Montoya-Moreno et al., (2011) publican un libro didáctico derivado de la investigación “Efecto del pulso de inundación sobre la dinámica algal epifítica en un sistema de lagos de planicie de inundación tropicales (Ciénaga de Ayapel-Colombia)”, dedicado a la transmisión de conocimiento, con la finalidad de socializar ante la comunidad de Ayapel (pescadores, amas de casa, estudiantes, docentes, funcionarios de CorpoAyapel) un modelo hermenéutico cuya finalidad es ‘traducir’ el lenguaje científico a un lenguaje cotidiano, que facilite y amplíe la circulación del conocimiento. En la cartilla la dinámica del sistema está esencialmente expresada en las interacciones entre los componentes vivos (plantas acuáticas y perifiton especialmente) y los no vivos del sistema cenagoso de Ayapel (morfometría y pulso de inundación), acompañados de la forma de la ciénaga y su profundidad, los cuales le confieren una serie de características al ecosistema que se reflejan desde los microorganismos hasta los seres vivos de orden superior. Se empleó una relación entre el lenguaje científico y el cotidiano de las comunidades de Ayapel; además se realizó

un ejercicio de uso didáctico de la cartilla con una muestra de la comunidad local. Se evidenció que a partir del trabajo con la cartilla la gente de la zona pudo valorar algunos de los componentes de la ciénaga, pese a su tamaño microscópico. Además les permitió identificar su importancia y generar el interés por preservar la calidad ambiental de la ciénaga de Ayapel y de cada uno de sus componentes. Otro aspecto a resaltar es el gran conocimiento del efecto del pulso de inundación en sus vidas cotidianas (proliferación de mosquitos, épocas de pesca, formación de playones, inundaciones, épocas de siembra).

Humedales

En el humedal Tibanica, Hernández y Nates (2005) estudiaron el componente ficoperifítico como parte de un estudio general del ecosistema. El perifiton observado en Tibanica está compuesto por 50 especies, de las cuales varias se encuentran también en el fitoplancton, en particular el grupo de las cianobacterias, como los géneros *Anabaena*, *Chroococcus*, *Merismopedia* y *Oscillatoria*; también se encontraron las euglenófitas *Euglena* y *Phacus*. Predominaron las cianobacterias y las diatomeas. Se presentó variación en la estructura del ensamblaje, a nivel espacial, ya que la zona de influencia por los afluentes y de las aguas domésticas evidenció menor diversidad y mayor densidad algal perifítica, respecto a las otras estaciones.

En el humedal Juan Amarillo en la ciudad de Bogotá, Conservación Internacional Colombia-Acueducto de Bogotá (2005) evaluaron la heterogeneidad espacial y modelos de sucesión del ensamblaje perifítico, y encontraron diferencias en el ensamblaje de acuerdo a la parte del humedal evaluada. Se apreció que en los tercios medio y alto se generaron procesos de facilitación en los cuales las especies pioneras (clorofíceas filamentosas y diatomeas) generaron cambios en el hábitat que favorecieron la colonización de especies tardías.

Arcos-Pulido y Gómez-Prieto (2006) en el humedal Jaboque, otro humedal de la capital, realizaron un estudio sobre el epilíton con el objetivo de hacer la determinación del estado trófico del cuerpo

de agua. Se encontró baja densidad, abundancia y diversidad del perifiton, con predominio de las diatomeas indicadoras de eutrofia.

Naundorf-Sanz y Escobar (2006) realizaron la caracterización fisicoquímica y biológica de una laguna termal, con variaciones de la temperatura entre 24 y 46 °C. Se encontraron valores altos de sulfatos, y las concentraciones de pigmentos del perifiton oscilaron entre 22.296,67 mg/m³ y 21.110 mg/m³, las cuales permiten clasificar el sistema como eutrófico según este estimador. En la Laguna Francisco José de Caldas del Jardín Botánico de Medellín, Sierra y Ramírez (2004) estudiaron la sucesión del perifiton en dos estaciones de muestreo (con y sin macrófitas), mediante laminillas de vidrio para evaluar la colonización. Se encontró un mayor número de especies en la estación con macrófitas.

Recientemente, se han publicado algunas investigaciones de orden taxonómico sobre diatomeas perifíticas colombianas (Sala et al., 1999; Sala et al., 2002a; Sala et al., 2002b; Sala et al., 2008a; 2008b; Vouilloud et al., 2009; Montoya-Moreno et al., 2011) y en crisofíceas (Vigna y Duque, 1999; Vigna et al., 2005), en las que se brinda información fotográfica al microscopio óptico y electrónico, descripciones de las especies, características fisicoquímicas del agua en que se encontraron e información sobre su distribución local y global.

Rivera-Rondón et al. (2010) llevaron a cabo una caracterización biológica en los principales ríos, quebradas y humedales de la región aledaña a la ciudad de Puerto Carreño (Vichada, Colombia) en la época de aguas bajas del río Orinoco; encontraron dominancia y diversidad alta de los grupos Bacillariophyceae y Zygnemaphyceae tanto en el perifiton como el fitoplancton, la cual consideran está relacionada con la concentración baja de nutrientes y la prevalencia de pH ácido de los ambientes estudiados. El perifiton presentó una tendencia a valores más altos del número de morfoespecies y diversidad de Shannon en las muestras de los caños. Los sustratos rocosos de los ríos Bitá y Orinoco presentaron una

comunidad dominada por una amplia película de *Oedogonium* sp.

Mejía (2011) estudió la composición, diversidad y variaciones espacio-temporales de las diatomeas perifíticas presentes en el humedal Jaboque, entre abril de 2009 y enero de 2010. Simultáneamente se evaluaron algunas características físicas y químicas del agua para estimar la influencia de estas variables sobre la diatomoflora. Se presentó un patrón espacial en el que, en la parte alta y baja del humedal de condición mesotrófica, abundaron especies con sensibilidad a los sólidos, la conductividad y altos niveles de nutrientes como: *Achnanthes hungarica* (Grunow) Grunow in Cleve & Grunow (taxón dominante), *Gomphonema pseudoaugur* Lange-Bertalot, *Fragilaria pinnata* Ehrenberg y *Cyclotella meneghiniana* Kützing, mientras que en la zona media con mayor intervención antrópica y de condición eutrófica, son dominantes *Cyclotella stelligera* Cleve & Grunow in Van Heurck y *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing. El incremento en los niveles de oxígeno disuelto favoreció la dominancia de *Fragilaria pinnata* Ehrenberg. Se mostró una considerable disminución en la abundancia de *C. meneghiniana*, lo que pudo estar relacionado con un incremento en el nitrógeno amoniacal que favoreció el incremento de *Nitzschia palea* (Kützing) W.Smith, esta última es más tolerante a altas concentraciones de nutrientes. *A. hungarica* fue sustituida por *G. parvulum* cuando se presentaron las máximas concentraciones de amonio y nitrógeno amoniacal. Se puede inferir que *A. hungarica* es más sensible.

Amazonas

Para la Amazonia Colombiana, Smith y Craven (1972) realizan un estudio comparativo del ficoperifiton en dos sistemas lóticos, el cual no ha sido publicado. Amaya (1999) estudió la composición y estructura de la comunidad fitoperifítica por medio de un sistema de sustratos artificiales en la zona litoral del lago Tarapoto, durante dos períodos hidrológicos. La comunidad de fitoperifiton estuvo conformada por 173 taxones, pertenecientes a siete clases. Bacillariophyceae fue la clase dominante, tanto por densidad como por riqueza en ambos

períodos hidrológicos, seguida por las clases Cyanophyceae, Chlorophyceae y Euglenophyceae con mucha menor densidad y riqueza; clases como Chrysophyceae, Xantophyceae y Zygothyceae aparecen y desaparecen esporádicamente en los períodos de muestreo. La velocidad de colonización de la comunidad de fitoperifiton en el Lago Tarapoto es mayor en el período de aguas bajas, mientras que los mayores picos de densidad y diversidad se observan en el período de ascenso, aunque la densidad disminuye con la profundidad. Inicialmente se observó a lo largo del proceso de colonización de fitoperifiton sobre sustratos artificiales, una comunidad bidimensional, en la que predominan especies de bajo perfil (*Nitzschia* sp., *Cyclotella* sp., *Navicula* sp.) que se adhieren firmemente al sustrato con toda su superficie o se mueven libremente por la matriz fitoperifítica; posteriormente aparecen especies de alto perfil (*Gomphonema* sp., *Eunotia* spp.) que se adhieren fuertemente al sustrato por medio de pedúnculos forman abanicos o rosetas, lo cual aumenta su densidad; finalmente se observa la presencia de especies de algas verdes filamentosas de gran tamaño como *Oedogonium* spp. adheridas al sustrato, hecho que evidencia el paso de una comunidad bidimensional a una comunidad tridimensional.

Gantiva (2000, en Andramunio, 2006) desarrolló un estudio en donde se analiza la colonización de sustratos artificiales por la comunidad ficoperifítica en dos épocas hidrológicas en el sistema de lagos de Yahuaraca. En esta región, Andramunio (2006) caracterizó la estructura y el proceso sucesional-espacial de la comunidad ficoperifítica asociada al sustrato natural en el gramalote (*Paspalum repens*) durante la época de aguas bajas en el Lago Tarapoto. La autora encontró que la comunidad ficoperifítica presentó más organismos con forma de vida epífita que ticoepífita. Esto se debe a que las algas epífitas presentan relación directa con el sustrato y adaptaciones a la vida sésil, mientras que las ticoepífitas se consideran organismos que se adhieren o se posan a la matriz de forma accidental. Puesto que el estudio se desarrolló durante el período de aguas bajas, este último grupo presentó los valores más bajos de riqueza ya

que los organismos ticoperifíticos suelen ser más representativos cuando las aguas del río Loretoyacu ingresan al lago y traen consigo elementos planctónicos. Se encontró que el nivel del agua y la profundidad fueron las principales variables que modelan el proceso de colonización y sucesión.

Para el sistema de lagos de Yahuaraca y el lago de Tarapoto se dispone del estudio de Castillo (2000), en el que se analiza la productividad y biomasa ficoperifítica en sustratos artificiales. Se encontró que los factores que inciden principalmente en la producción y biomasa perifítica son el periodo hidrológico, el tiempo de colonización y la profundidad. La comunidad ficoperifítica de los sustratos artificiales es más autotrófica cerca de la superficie y más heterotrófica con la profundidad.

Ordóñez y Duque (2002) estudiaron la estructura de la comunidad de algas epifíticas en dos macrófitas (*Paspalum repens* y *Polygonum densiflorum*) en el sistema de lagos de Yahuaraca. Díaz-Olarte et al. (2006, 2007) estudiaron el perifiton y el fitoplancton asociados a *Utricularia foliosa*, y encontraron que el tamaño del utrículo, así como la riqueza y abundancia del perifiton y del fitoplancton explican el 76% de la variación de las presas capturadas por los utrículos. La abundancia y riqueza del perifiton presentaron el mismo patrón que para el fitoplancton, ya que las dos comunidades incrementaron sus poblaciones con el aumento del fósforo inorgánico disuelto. La concentración de nutrientes explica el 84% de la variación de la riqueza y el 74% de la variación de la abundancia del perifiton. Además, el perifiton afecta de manera negativa a *U. foliosa* debido a la competición por luz y nutrientes.

Andramunio-Acero (2013) realizó muestreos durante los periodos hidrológicos de aguas bajas (septiembre de 2010) y aguas altas (septiembre de 2011) en el sistema lagunar de Yahuaraca, situado en la llanura aluvial del río Amazonas (Leticia, Colombia), donde se seleccionaron los lagos Pozo Hondo y Zapatero. Este trabajo tuvo por objetivo principal establecer el proceso de sucesión de la comunidad perifítica en el que se identificaron la

participación de las fracciones bacterianas, algales y de protozoos presentes a escala espacial y temporal sobre sustratos artificiales en los lagos mencionados.

Es importante recalcar que los trabajos realizados hasta el momento tanto en sustratos naturales como artificiales, se han centrado principalmente en la composición de la fracción algal presente en esta comunidad, desconociendo de esta forma el proceso de colonización y sucesión de la totalidad de componentes de este microsistema. Esto resalta la importancia de la investigación de Andramunio-Acero (2013) al realizar la identificación de todos los organismos que conforman el perifiton (fracción bacteriana, algal y de protozoos) y de su papel dentro de la estructura trófica del sistema de lagos de Yahuaraca, un ecosistema estratégico que hace parte de la llanura de inundación del río Amazonas. Para ello en dicho trabajo se estudia la ecología trófica mediante la técnica de isótopos estables de carbono y nitrógeno.

Actualmente Andramunio-Acero & Duque (en preparación) adelantan la publicación de los resultados acerca de la ecología del componente algal asociado a sustratos naturales y su respuesta a los cambios del nivel del agua del sistema de lagos de Yahuaraca, investigación desarrollada dentro del programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores de Colciencias junto con la Universidad Nacional de Colombia – Sede Amazonia.

Al nivel local se puede plantear que se evidencian investigaciones del perifiton en diferentes ecosistemas y regiones del país. Predomina el estudio del componente autotrófico especialmente del grupo de las algas y con pocas excepciones, se ha realizado investigación en otras comunidades que conforman el ensamble. Urge entonces continuar con el levantamiento del ficoperifiton en los diferentes sistemas acuáticos del país; realizar bases de datos de distribución con características físicas y químicas del medio acuático; realizar esfuerzos por mejorar la taxonomía de los organismos que conforman el ensamble y completar las investigaciones al incluir el componente heterotrófico del perifiton.

Usos del perifiton

Bioindicación

En tres lagos de la meseta de Popayán, en diferentes sectores y profundidades Morales-Velasco (2006) y Morales-Velasco y Peña (2008) evaluaron el proceso de colonización de sustratos artificiales, y registraron una correlación entre las características del hábitat y el ensamblaje. Obtuvieron siete grupos para los tres cuerpos de agua con diferentes estados tróficos (oligotróficos, meso-oligotrófico y eutróficos) mediante Twispan y correlaciones bivariadas. En el grupo I (especies estenoicas indicadoras de aguas libres de contaminación) aparecen *Bambusina brebissonii*, *Borzia* sp., y *Synedra ulna* var. *ulna*; en el grupo II (especies indicadoras de concentraciones bajas de nutrientes) se registraron *Ceratium hirundinella*, *Coconeis* sp., *Pinnularia mesolepta*, *Rhopalodia gibba*, *Pinnularia graciloides*, *Surirella* sp., *Eunotia maior* y *Pinnularia gibba*; en el grupo III (especies tolerantes a concentraciones bajas de nutrientes) se incluyen *Gymnodinium* sp., *Netrium digitus*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Micrasterias denticulata*, *Nitzschia linearis*, *Cosmarium* sp., *Pediastrum pyramidale*, *Closterium setaceum*, *Pleurotaenium* sp., *Nitzschia intermedia*, *Cosmarium reniforme*, *Stenopterobia curvula*, *Xanthidium* sp., *Synedra ulna* y *Zignema* sp.; en el grupo IV (indicadoras de concentraciones medias de nutrientes: con incidencia del (pH)) se encontró *Brachysira* sp., *Spirogyra communis*, *Eunotia camelus*, *Eunotia serra*, *Surirella didyma*, *Cymbella naviculiformis*, *Eunotia zygodon*, *Scenedesmus subspicatus*, *Oscillatoria* sp., *Merismopedia convoluta*, *Clamydomonas* sp., *Spirogyra* sp., *Stauroneis* sp., y *Encyonema mesianum*; el grupo V (estenoicas indicadoras de concentraciones altas de nutrientes) estuvo conformado por especies tales como *Coscinodiscus perforatus*, *Gomphonema gracile*, *Gomphonema parvulum*, *Gomphonema pseudoaugur* y *Gomphonema angustatum*; en el grupo VI (eurióicas indicadoras de concentraciones medias, con incidencia de (hierro y cloruros)) se registraron *Trachelomona armata*, *Staurodesmus* sp., *Staurastrum* sp., *Cosmarium portianum*, *Cosmarium subcostatum*, *Eunotia sudetica*, *Closterium calosporum*, *Closterium macilentum*,

Cymbella lunata, *Fragilaria ulna*, *Eunotia pectinalis* y *Eunotia flexuosa*; en el grupo VII (eurióicas ampliamente tolerantes) se encuentran taxones tales como *Pinnularia divergens*, *Pinnularia abaujensis*, *Pinnularia braunii*, *Navicula gregaria*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia filiformis*, *Frustulia rhomboides*, *Eunotia bilunaris*, *Schroderella* sp., *Cryptomoma* sp. y *Lepocinclis acus*.

Con un enfoque pionero Castro-Roa (2009) evaluó las comunidades de diatomeas perifíticas en cinco humedales de la ciudad de Bogotá y uno rural en Tenjo, en los que se llevaron a cabo muestreos biológicos y fisicoquímicos durante cuatro periodos climáticos distintos. Se establecieron valores de polución para cada especie y con base en ellos y en la presencia de los taxones en cada humedal se calcularon índices de polución para cada ecosistema en los distintos periodos evaluados. Se concluyó que la evaluación de los ecosistemas mediante las especies de diatomeas es la más acertada para lograr una discriminación en el estado limnológico de estos cuerpos de agua, en contraste con el índice saprobio y el índice de géneros de diatomeas. Esta herramienta, denominada Índice biótico de diatomeas para evaluar el estado de los humedales bogotanos (IDHB), estableció que los humedales contemplados en el estudio presentan condiciones variadas que van desde ligeramente contaminadas hasta severamente contaminadas y deja ver además que estas condiciones son susceptibles de cambios importantes en el tiempo. Las correlaciones entre el IDHB y las variables físicas y químicas de contaminación fueron altas.

Uso del perifiton para la alimentación de peces

García *et al.* (2011) investigaron sobre el cultivo basado en perifiton el cual permitiría un sistema altamente eficiente y más limpio, pues aporta alimento natural a los peces y mejora la calidad del agua. Para evaluar el efecto del perifiton sobre el desempeño del policultivo tilapia-bocachico, se ejecutó un experimento durante ocho meses en 18 estanques de 90 m², con 2,6 tilapias/m² y 0,7 bocachicos/m², sin fertilización; como sustrato para perifiton se instalaron de forma vertical tubos plásticos (3,3 tubos/m²), que se constituyeron en

una variable por evaluar. Trozos de manguera de polietileno negra de 2" de diámetro por 1,20 m de largo se colocaron en los estanques previamente llenados y el sustrato de fijación quedó sumergido bajo la columna de agua lo que permite la colonización por las comunidades perifíticas. Después de 15 a 20 días se comenzó a ver la película de perifiton adherida. Ningún efecto del sustrato sobre los parámetros estudiados fue registrado. Hubo efectos simples de la estrategia alimentaria sobre el desempeño de los peces. La producción basada en perifiton no genera problemas en el sistema, ni en los peces y se requiere más investigación para consolidar la tecnología y generar más información. Fertilizar durante el experimento para fomentar la producción de perifiton no sería una acción consecuente con este manejo, cuando lo que se procura es disminuir el aporte externo de insumos al estanque, y estimular la recirculación de nutrientes entre desechos y perifiton.

Los aspectos aplicados del perifiton se encuentran en un estado inicial el cual depende del fortalecimiento de los estudios de línea base sobre el conocimiento de la estructura y dinámica del ensamble, los cuales son fundamentales para los aplicativos en bioindicación. Por otro lado, la bioremediación mediante el empleo de humedales, estanques y reactores son una línea de un potencial alto para el uso del perifiton.

Conclusiones

Hace cuarenta años que comenzó el estudio del perifiton en el territorio colombiano, no obstante el conocimiento de esta comunidad se encuentra en un estado preliminar, ya que: 1) no hay personal científico dedicado a su exploración, descripción y publicación, 2) respecto al plancton presenta un mayor número de complicaciones metodológicas, además de que su arquitectura variada, favorece la inclusión de algas con hábitos no necesariamente perifíticos (metafiton) y de una variedad alta de micro y macroorganismos que contribuyen a una dinámica trófica elevada, 3) las investigaciones en su mayoría corresponden a trabajos de grado de estudiantes y no a campañas de monitoreo

permanentes en los sistemas acuáticos, 4) existe mucha información que no está disponible para la circulación científica, ya que se encuentra dentro de corporaciones ambientales.

Las regiones en las que se documentan la mayoría de investigaciones se ubican en la región andina sobre la cordillera central (Medellín, oriente antioqueño, Tolima, Pasto y Popayán), la cordillera Occidental (Cundinamarca, Boyacá, Norte de Santander), la región amazónica, la región de la Depresión Momposina y el Chocó. Regiones como los llanos orientales, la península de la Guajira, la serranía de la Macarena y la región insular del país carecen de registros de investigaciones sobre perifiton.

Se encontró que en la mayoría de investigaciones consultadas en este trabajo (84%), corresponden al estudio de ficoperifiton, el 14% restante incluyó ambos componentes del perifiton y sólo se encontró el 2% de las publicaciones (1 trabajo) dedicado exclusivamente al zooperifiton. Sólo el 12% de las investigaciones (6 trabajos) se han dedicado al estudio taxonómico detallado, y el resto de publicaciones se orientan al estudio de la estructura y dinámica de la comunidad perifítica. Las investigaciones más recientes han avanzado en el estudio integral de la comunidad perifítica, en la que aparte de estudiar el componente algal, se ha incursionado en el zooperifiton, hongos y otros grupos de microorganismos.

En general se encontró que las diatomeas predominan en el ensamble algal perifítico tanto en los ambientes lóticos, como en los embalses y en los sistemas acuáticos de páramos. No obstante, en las ciénagas se equipara la dominancia de las diatomeas con las clorofíceas; incluso en la zona pacífica, en el Chocó, las clorofíceas reemplazan a las diatomeas en el dominio del ensamble. Esta última relación valdría la pena explorarla en futuras investigaciones, ya que podría ser producto de los pocos trabajos realizados y de una necesidad de un mayor esfuerzo taxonómico en algún tipo de relación ambiental que habría que explorar. En la región amazónica, las diatomeas alternan su dominancia con las cianofíceas y euglenofíceas.

Los géneros de algas más abundantes en los ecosistemas investigados corresponden a *Navicula*, *Nitzschia*, *Eunotia*, *Melosira*, *Cymbella*, *Mastogloia*, *Amphora*, *Oedogonium*, *Cosmarium*, *Anabaena*, *Closterium*, *Micrasterias*, *Chroococcus*, *Merismopedia* y *Oscillatoria*.

Entre los factores que generan mayor influencia en la estructura y dinámica del perifiton, se encontró que a nivel de los embalses se resalta la iluminación, la precipitación y el bombeo de agua. En los ecosistemas lénticos acuáticos ubicados en los páramos, son la precipitación, el nivel del agua, la alcalinidad y la concentración de calcio; en los sistemas lóticos son el tipo de hábitat, la conductividad eléctrica, pH, potencial redox y el caudal. En los ríos la influencia principal está dada por las variaciones del caudal y los usos del suelo. En los sistemas de planos inundables el efecto del pulso de inundación es el factor que direcciona gran parte de los procesos ecológicos del ecosistema.

Se ha estudiado principalmente el perifiton asociado a rocas, macrofitas y sustratos naturales y no se han registrado investigaciones de esta comunidad sobre animales (epizoon) ni en el sedimento superficial de ríos y lagos (epipelon). Valdría la pena investigar este tipo de hábitats y realizar comparaciones con otros compartimentos del ecosistema.

Pocos trabajos complementan los listados de especies con material fotográfico e información del rango de medidas de las especies, su descripción y discusión sobre las características diagnósticas de los taxones. Es contradictorio que en un país catalogado como megadiverso, por lo menos a nivel de los seres vivos macroscópicos, no podamos decir lo mismo de los microorganismos, debido al estado incipiente de las investigaciones, y al escaso apoyo económico que privilegia estudios aplicados y que desestimula la investigación básica sobre la biodiversidad. Sobre esta última idea, el decreto 1376 de Junio de 2013 que reglamenta el permiso de recolección de especímenes de especies silvestres de la diversidad biológica con fines de investigación científica no comercial, recientemente aprobado contribuye a limitar la investigación

sobre nuestros recursos naturales, aunque puede favorecer la circulación de la información que se siga construyendo ya que se debe informar sobre los organismos registrados en inventarios e investigaciones, información que se incorporará al Sistema de Información en Biodiversidad de Colombia – SIB.

Agradecimientos

El proyecto de investigación del cual es producto este documento, ha sido financiado al convenio Universidad de Antioquia-GAIA Universidad Nacional de Colombia, en el proyecto Grecia-Colciencias que permitió la financiación de la investigación. Agradecemos de manera especial las recomendaciones de los evaluadores y del Comité Editorial, quienes hicieron valiosos ajustes a la versión previa del manuscrito.

Referencias

- Abuhatab, A. Y., C. Geovo y S. Asprila. 2004. Estudio comparativo sobre la colonización de fitoperifiton en dos sustratos, quebrada La Francisca, municipio de Quibdó. VI Seminario Colombiano de Limnología. Montería. 23 pp.
- Abuhatab, A. y S. Asprila. 2006. Distribución y abundancia de la comunidad fitoperifítica y su relación con las variables físicas y químicas en diferentes cuerpos de agua en los cerros Las Mojarras, Istmina-Chocó. VII Seminario Colombiano de Limnología. Ibagué. 56 pp.
- Abuhatab, A., 2011. Actividad metabólica diaria del biofilm en el sector medio de un río de alta montaña (río Tota, Boyacá - Colombia). Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Abuhatab-Aragón, Y. y J. Donato-Rondón. 2012. *Cocconeis placentula* y *Achnanthydium minutissimum* especies indicadoras de arroyos oligotróficos andinos. *Caldasia* 34(1): 205-212.
- Aguirre-Sánchez, D., N. Aguirre y O. Caicedo. 2008. Evaluación de la calidad del agua a través de los protistas en la Quebrada la Ayurá en Envigado (Antioquia). *Producción más limpia* 3(1): 50-60.
- Álvarez, J. P. 2008. Caracterización limnológica de los complejos cenagosos de Arcial-Poor-Cintura (Río San Jorge) y de Bañó-Charco Pescao-Pantano Bonito (río Sinú) Córdoba, Colombia. VIII Seminario Colombiano de Limnología. Santiago de Cali. 30 pp.

- Amaya, V. 1999. Composición y estructura del fitoperifiton en el Lago Tarapoto (Amazonas-Colombia) durante dos periodos hidrológicos. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia.
- Andramunio, C. 2006. Estudio de la comunidad fitoperifítica asociada a sustratos naturales durante un periodo hidrológico en el lago Tarapoto (Amazonia colombiana). Tesis de pregrado. Universidad Pedagógica Nacional.
- Andramunio-Acero, C. 2013. Dinámica sucesional y ecología trófica de la comunidad perifítica en dos ambientes del sistema lagunar de Yahuaraca (Amazonas, Colombia). Trabajo de maestría, Universidad Nacional de Colombia sede Amazonia. 90 pp.
- Arcos-Pulido, M. y A. Gómez-Prieto. 2006. Perifiton: Un estudio en el humedal Jaboque. Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Imprenta Nacional de Colombia. 63 pp.
- Barkay, T. y J. Shaefer. 2001. Metal and radionuclide bioremediation: issues, considerations and potentials. *Current Opinion in Microbiology* 4: 318-323.
- Báez-Polo, A. y C. Hernández-Jiménez. 2001. Composición de especies y variación temporal de las comunidades de perifiton de sustratos artificiales en la ciénaga de Pajalal, Caribe colombiano. Resumen extendido en el IX congreso latinoamericano sobre Ciencias Del Mar. San Andrés Isla, Colombia. 6 pp.
- Bicudo, C., 1990a. Considerações sobre metodologías de contagem de algas do perifiton. *Acta Limnologica. Brasiliensia* 3: 459-475.
- Bicudo, C., 1990b. Metodologia para o estudo qualitativo das algas do perifiton. *Acta Limnologica. Brasiliensia* 3: 477-491.
- Bonetto, C., Y. Zalocar y H. Lancelle. 1984. A limnological study of an oxbow-lake covered by *Eichhornia crassipes* in the Paraná River. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie* 22: 1315-1318.
- Bustamante, C., S. Torres y L. Zapata. 2008. Composición y estructura de la comunidad de microalgas perifíticas del Río Quindío. VIII Seminario Colombiano de Limnología. Santiago de Cali. 35 pp.
- Bustamante-Toro, C., C. Dávila-Mejía, S. Torres-Cohecha y J. Ortíz-Díaz. 2009. Composición y abundancia de la comunidad de ficoperifiton en el río Quindío. *Revista de Investigaciones de la Universidad del Quindío* (18): 15-21.
- Castellanos, L. y J. Donato. 2008. Biovolumen y sucesión de diatomeas bénticas. Pp. 127-144. En: Donato J. (Ed.). Ecología de un río de montaña de los Andes colombianos (río Tota, Boyacá). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Colección Textos.
- Castillo, C., 2000. Productividad y biomasa fitoperifítica en los lagos Yahuaraca y Tarapoto (Amazonas-Colombia). *Revista Ambiental Aire, Agua y Suelo. Universidad de Pamplona* 1: 59-68.
- Castro-Roa, D. 2009. Desarrollo de un índice de diatomeas perifíticas para evaluar el estado de los humedales de Bogotá. MSc thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Cavati, B. y F. De Oliveira. 2008. Algas perifíticas em dois ambientes do baixo rio Doce (lagoa Juparanã e rio Pequeno – Linhares, Estado do Espírito Santo, Brasil): variação espacial e temporal. *Acta Scientiarum Biological Sciences* 30 (4): 439-448.
- Chamixaes, C. 1991. Variação temporal da biomassa, composição de espécies e produtividades das algas perifíticas relacionados com as condições ambientais de pequenos rios da bacia hidrográfica do Ribeirão do Lobo (Itarapina-SP). Tese Doutorado, Universidade de São Paulo. 333 pp.
- Collins, G. y C. Weber. 1978. Phycoperiphyton (algae) as indicators of water quality. *Transactions American Microscopic Society* 97(1): 30-43.
- Conservación Internacional Colombia-Acueducto de Bogotá. 2005. Convenio de investigación aplicada a la restauración ecológica del humedal Juan Amarillo. Informe final. Inédito.
- Díaz-Olarte, J., L. Marciales, S. Duque y M. Núñez-Avellaneda. 2006. Desmidias asociadas a la planta carnívora *Utricularia foliosa* (Amazonia colombiana). VII Seminario Colombiano de Limnología. Tolima. 118 pp.
- Díaz-Olarte, J., V. Valoyes-Valois, C. Guisande, N. Torres, A. González-Bermúdez, L. Sanabrería-Aranda, A. Manjarrés, S. Duque, L. Marciales y M. Nuñez-Avellaneda. 2007. Periphyton and phytoplankton associated with the tropical carnivorous plant *Utricularia foliosa*. *Aquatic Botany* 87: 285-291.
- Díaz-Quirós, C. y C. Rivera-Rondón. 2004. Diatomeas de pequeños ríos andinos y su utilización como indicadoras de condiciones ambientales. *Caldasia* 26 (2): 381-394.
- Donato, R. J., G. González y M. Rodríguez. 1996. Ecología de dos sistemas acuáticos de páramo. Universidad Javeriana. Santafé de Bogotá. 164 pp.
- Fernandes, V. 1993. Estudos limnológicos na lagoa de Jacarepaguá (RJ): variáveis abióticas e mudanças na estrutura e dinâmica da comunidade em *Typha domingensis* Pers. Dissertação mestrado, Universidade Federal de São Carlos. 131 pp.

- Fernandes, V. 1997. Variação temporal da estrutura e dinâmica da comunidade perifítica em dois tipos de substratos na Lagoa Imbocica, Macaé (RJ). Tese Doutorado, Universidade Federal de São Carlos. 198 pp.
- Flynn, N., D. Snook, A. Wade y H. Jarvie. 2002. Macrophyte and periphyton dynamics in a UK Cretaceous chalk stream: The River Kennet, a tributary of the Tannes. *The Science of the Total Environment* 282-283: 143-157.
- García, J., L. Celis, E. Villalba, L. Mendoza, S. Brú, V. Atencio y S. Pard. 2011. Evaluación del policultivo de bocachico *Prochilodus magdalenae* y tilapia *Oreochromis niloticus* utilizando superficies fijadoras de perifiton. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*. 58 (II): 71-83.
- Guevara-Cardona, G., G. Reinoso-Florez y F. Villa-Navarro. 2006. Comunidad de invertebrados del perifiton del río Combeima (Tolima, Colombia). *Revista Tumbaga* 1: 43-54.
- Goldsborough, L. y G. Robinson. 1996. Pattern in wetlands. Pp: 78-117. En: Stevenson, R., Bothwell, M. y R. Lowe. (Eds.). *Algal ecology, freshwater benthic ecosystems*. Academic Press, San Diego.
- Gualtero D. y J. Trilleras. 2001. Estudio de la Comunidad Perifítica del Embalse de Prado Departamento del Tolima. Trabajo de Grado (Biólogo). Universidad del Tolima, Facultad de Ciencias, Programa de Biología. 193 pp.
- Gualtero-Leal, D. 2007. Composición y abundancia de las algas bénticas de cinco sistemas lóticos de Puerto Rico. Tesis de maestría, Universidad de Puerto Rico. 137 pp.
- Happey-Wood, C. 1988. Ecology of freshwater planktonic green algae. Pp:175-226. En: Sandgren, C. (Ed.). *Growth and reproductive strategies of freshwater phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Hentschel, E. 1916. Biologische untersuchungen uber ten tierichn und pslanzlishen bewuchs im hamburger hasan. *Zoologisches Museum Bolletin* 33: 1-172.
- Hering, D., R. Johnson, S. Kramm, S. Schmutz, K. Szoszkiewicz y P. Verdonschot. 2006. Assessment of European streams with diatoms, macrophytes, macroinvertebrates and fish: a comparative metric-based analysis of organism response to stress. *Freshwater Biology* 51: 1757-1785.
- Hernández-Atilano, E., N. Aguirre y J. Palacio. 2005. Variación espacio-temporal de la estructura de la comunidad de algas perifíticas en la microcuenca de la quebrada La Vega, municipio de San Roque (Antioquia), Colombia. *Actualidades Biológicas* 27 (82): 67-77.
- Hernández, C. y J. Nates. 2005. Aspectos biológicos y ecológicos del Humedal Tibanica. En: Secretaria del medio ambiente. Componente ecológico del Humedal Tibanica. Bogotá. 91pp. Disponible en: www.secretariadeambiente.gov.co/.../tibanica/03%20Componente%20ecologico.pdf. Fecha de acceso: 5 de febrero de 2009.
- Hill, B., A. Herlhy, P. Kaufmann, R. Stevenson, F. McCormick y C. Johnson. 2000. Use of periphyton assemblage data as an index of biotic integrity. *Journal of North American Benthological Society* 19: 50-67.
- Horner, R., E. Welch, M. Seeley y J. Jacoby. 1990. Responses of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration. *Freshwater Biology* 24(2): 215-232.
- López-Martínez, M. 2008. Determinación de la calidad del agua del río Pasto mediante la utilización de bioindicadores. *Revista Unimar* 52: 35-43.
- Marín-Villegas, N., N. Corredor y C. Bustamante. 2011. Aspectos ecológicos de comunidades bénticas de un sistema fluvial andino, Armenia – Quindío, Colombia. *Revista de Investigaciones Universidad del Quindío* 22: 58- 69.
- Marshall, K. (Ed.). 1984. *Microbial adhesion and aggregation*. Dahlem Konferenzen 1984. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer. Verlag, 426 pp.
- Martínez, L. 2000. Factores que influyen en la colonización de algas en un río tropical de alta montaña. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Martínez, L. y 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.
- Martínez, L., Y. Ayarith-Abuhatab y Y. Moreno. 2008. Composición y distribución de la comunidad fitoperifítica en diferentes ecosistemas lóticos de la cuenca del San Juan, Chocó-Colombia. VIII Seminario Colombiano de Limnología. Santiago de Cali. 34 pp.
- Maturana, M., J. Cuesta y S. Asprilla. 2001. Variación de la estructura numérica de las comunidades ficoperifíticas asociadas a *Nymphoideae* sp. en la ciénaga de Plaza Seca, corregimiento de Sanceno, Quibdó - Chocó, Colombia. Trabajo de grado de biología. Universidad Tecnológica del Chocó. 46 pp.
- McCormick, P. & Stevenson, R., 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. *Journal of Phycology* 34: 726-733.
- McIntire, C., 1975. Periphyton assemblages in laboratory streams. Pp: 403-430. En: Whitton, B. A. *River Ecology*. Oxford: Blackwell Sci. Publ.
- Mejía, D. 2011. Diatomeas perifíticas y algunas características limnológicas de un humedal urbano

- en la sabana de Bogotá. Tesis Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Mochini-Carlos, V. 1999. Importância, estrutura e dinâmica da comunidade perifítica nos ecossistemas aquáticos continentais. Em: POMPÊO, M. L. M. (Ed.). *Perspectivas da Limnologia no Brasil*, São Luís: Gráfica e Editora União, 198 pp.
- Montoya-Moreno, Y. 1998. Variación en la estructura de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en dos estaciones de muestreo, en la zona de ritral del río Medellín. Trabajo de pregrado. Universidad de Antioquia. Medellín.
- Montoya-Moreno, Y. 2000. Estudio limnológico preliminar del río Cocorná. Convenio Omniambiente-Cornare, Colombia. 340 pp.
- Montoya-Moreno, Y. y N. Aguirre. 2006. Caracterización de la comunidad protista colonizadora de raíces de macrofitas en la ciénaga de paticos, complejo cenagoso de Ayapel, Colombia. VII Seminario Colombiano de Limnología. Tolima. 90 pp.
- Montoya-Moreno, Y. y J. Ramírez. 2007. Variación estructural de la comunidad perifítica colonizadora de sustratos artificiales en la zona de ritral del río Medellín, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 55(2): 585-593.
- Montoya-Moreno, Y. y N. Aguirre. 2008. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana. *Hidrobiológica* 18 (3): 189-198.
- Montoya-Moreno, Y. y N. Aguirre. 2009a. Dinámica del perifiton asociado con macrofitas en la ciénaga de Escobillitas y su relación con el pulso de inundación. *Revista Universidad tecnológica del Chocó* 28 (2): 196-202.
- Montoya-Moreno, Y. y N. Aguirre. 2009b. Asociación de algas perifíticas en raíces de macrófitas en una ciénaga tropical Colombiana. *Revista Hidrobiológica* 18(3): pp. 189-198.
- Montoya-Moreno, Y. y J. Ramírez. 2009. Diatomeas perifíticas de la zona de ritral del río Medellín, Antioquia (Colombia). *Revista Actualidades Biológicas* 30 (89): 181-189.
- Montoya-Moreno, Y. 2011. Efecto del pulso de inundación-desección sobre la dinámica algal epifítica en un sistema de lagos de planicie de inundación tropicales (ciénaga de Ayapel-Colombia). Tesis de doctorado en Ingeniería, Universidad de Antioquia. 479 p + anexos.
- Montoya-Moreno, Y., S. Sala, A. Vouilloud, y N. Aguirre. 2011. *Capartogramma crucicula* (Grunow ex Cleve) Ross, un nuevo registro del género para Colombia. *Revista Universitas scientiarum* 16(1): 183-189.
- 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 trófico. Tesis de Maestría, Recursos Hidrobiológicos Continentales. Universidad del Cauca.
- Morales-Velasco, S. y E. Peña. 2008. Perifiton de tres lagos de la Meseta de Popayán, Colombia y su uso como indicadores de estado trófico. *Revista de Ciencias, Universidad del Valle* 12 (diciembre): 89-108.
- Moreira, J. 1988. Produtividade primaria do periphyton em viveiros destinados a piscicultura. Dissertação do Mestrado, Univ. Federal de Bahia, Bahia, Brasil. 250 pp.
- Moreno, L. 1989. Colonización del perifiton en tres embalses del oriente Antioqueño. Tesis de pregrado (Biología), Universidad de Antioquia. Medellín. 130 pp.
- Moura, A. 1997. Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica numa lagoa eutrófica, São Paulo, SP, Brasil a curtos intervalos de tempo: comparação entre épocas de chuva e seca. Rio Claro, UNESP. 172 pp. (Dissertação de Mestrado).
- Naundorf-Sanz, G. y A. Escobar. 2006. Determinación de las comunidades productoras y de la productividad primaria de un ecosistema altoandino: laguna de Aguas Tibias, municipio de Puracé, Cauca. VII Seminario Colombiano de Limnología. Tolima. 13 pp.
- Neuman, E. 1931. *Limnologische Terminologie*. Berlin, Urban y Swarsenberg.
- Odum, E. 1983. *Ecología*. Editorial Continental, S. A. de C. V. México. 357 pp.
- Oliveira-Martins, F. 2006. Respostas ecofisiológicas da comunidade perifítica in situ a diferentes condições ambientais no Rio Santa da Vitória, Es. Tesis doctoral. Universidade Federal Do Espírito Santo. 134 pp.
- Ordóñez, Y. y S. Duque. 2002. Estructura de la comunidad de algas epifitas en dos macrofitas *Paspalum repens* y *Poligonum densiflorum* en los lagos de Yahuaraca, Amazonas-Colombia. V Seminario Colombiano de Limnología. Leticia. 153 pp.
- Pan, Y., R. Stevenson, P. Vaithyanathan, J. Slate y C. Richardson. 2000. Changes in algal assemblages along observed and experimental phosphorus gradients in a subtropical wetland, USA. *Freshwater Biology* 44: 339-353.
- Planas, D. 1998. Anais do IV Congresso latinoamericano de Ficologia. Sociedade Ficológica da América Latina e Caribe. Sao Paulo. 306 pp.
- Pouličková, A., P. Hašler, M. Lysáková y B. Spear. 2008. The ecology of freshwater epipellic algae: an update. *Phycologia* 47 (5): 437-450.
- Ponpêo, M. 1991. Aspectos ecológicos de "Lagoa Dourada" (Brotas-SP), com ênfase na produtividade

- primária do fitoplancton, perifiton e da macrófita aquática *Utricularia gibba*. Dissertação Mestrado. Universidade de São Paulo. 210 pp.
- Ramírez, G. y V. Viña. 1998. Limnología Colombiana. Universidad Jorge Tadeo Lozano- Exploration Company Limited (Colombia). Bogotá. Colombia. 293 pp.
- Ramírez, A. y Y. Plata-Díaz. 2008. Diatomeas perifíticas en diferentes tramos de dos sistemas lóticos de alta montaña (Páramo de Santurbán, Norte de Santander, Colombia) y su relación con las variables ambientales. *Acta Biológica Colombiana* 13(1): 199-216.
- Rivera-Rondón, C., E. Pedraza y A. Zapata-Anzola. 2008. Relaciones entre el uso del suelo y la comunidad de diatomeas en pequeños ríos en la ecoregión cafetera. VIII Seminario Colombiano de Limnología. Santiago de Cali. 40 pp.
- Rivera-Rondón, C. & Díaz Quiroz, C., 2004. Grandes taxones de fitobentos y su relación con la hidrología, física y química de pequeños ríos andinos. *Universitas Scientiarum* 9(1), Fasc. Especial: pp. 75 – 86.
- Rivera, C. y J. Donato. 2008. Influencia de las variaciones hidrológicas y químicas sobre la diversidad de diatomeas bénticas. Pp: 83-102. *En*: Donato, J. (Ed.). Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (río Tota, Boyacá). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Colección Textos.
- Rivera-Rondón, C., A. Zapata, D. Pérez, Y. Morales, H. Ovalle y J. Alvarez. 2010. Caracterización limnológica de humedales de la planicie de inundación del río Orinoco (Orinoquía, Colombia). *Acta Biológica Colombiana* 15 (1): 1-16.
- Roberts, A. 1999. Transfer of a conjugative transposon, Tn5397 in a model oral biofilm. *Fems Microbiol Lett* 177: 63-66.
- Rodrigues, L. y D. C. Bicudo. 2001. Similarity among periphyton algal communities in lentic-lotic gradient of the upper Paraná river floodplain, Brazil. *Revista Brasileira de Botanica* 24(3): 235-248.
- Rodrigues, L., D. Bicudo y V. Moschini-Carlos. 2003a. O papel do perifiton em áreas alagáveis e nos diagnósticos ambientais. Pp: 211-229. *En*: Thomaz, S. M. y L. M. Bini. (Eds.). Ecologia e Manejo de Macrófitas Aquáticas. Eduem, Maringá.
- Rodrigues, L., A. Leandrini, I. Fonseca-Arnaldo, D. Granja-Russo y V. Algarte. 2003b. Algas perifíticas-Componentes bióticos. Maringá-PR. Disponible en http://www.peld.uem.br/Relat2003/pdf/algas_perifiticas.pdf. Fecha de acceso: 17 de julio de 2010.
- Rodrigues, L., I. Fonseca, J. Leandrini, S. Felisberto y E. Silva. 2005. Distribuição espacial da biomassa perifítica em reservatórios e relação com o tipo de substrato. *En*: Rodrigues, L., S. M. Thomaz, A. A. Agostinho y L. C. Gomes (orgs.). Biocenoses em reservatórios: padrões espaciais e temporais. São Paulo: RIMA, 2005. 333 p.
- Rodrigues, L., J. Zanon, L. Carapurnala y S. Biolo. 2008. Perifiton en A Planície Alagável do Rio Paraná: estrutura e Processo Ambiental. Disponible en <http://www.peld.uem.br/Relat2008/pdf/Capitulo04.pdf>. Fecha de acceso: 17 de julio de 2010.
- Rojas, M. 2005. Evaluación de las diatomeas de la comunidad del perifiton como bioindicadoras en relación al estado trófico de tres humedales en época seca, en Bogotá, Colombia. Tesis Biólogo, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Rojo, C., M. Rodrigo y M. Álvarez-Cobelas. 2006. Plankton diversity is the outcome of an assembly process. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 29 (3): 1906-1908.
- Roldán, P. y J. Ramírez. 2008. Fundamentos de limnología neotropical. Segunda Edición. Universidad de Antioquia, Medellín. 440 pp.
- Round, F. 1965. The epipsammon: a relatively unknown algal association. *British Phycological Bulletin* 2: 456-462.
- Round, F. 1991. Diatoms in river water-monitoring studies. *Journal of Applied Phycology* 3: 129-145.
- Sala, S., S. Duque, M. Núñez-Avellaneda y A. Lamaro. 1999. Nuevos registros de diatomeas (Bacillariophyceae) de la Amazonia colombiana. *Caldasia* 21(1): 26-37.
- Sala, S., S. Duque, M. Núñez-Avellaneda y A. Lamaro. 2002a. Diatoms from the Colombian Amazonia. *Cryptogamie Algologie* 23: 75-99.
- Sala, S., S. Duque, M. Núñez-Avellaneda y A. Lamaro. 2002b. Diatoms from the Colombian Amazon: some species of the genus *Eunotia* (Bacillariophyceae). *Acta Amazonica* 32(4): 589-603. Disponible en: <http://acta.inpa.gov.br/fasciculos/32-4/PDF/v32n4a05.pdf>.
- Sala, S., M. Núñez-Avellaneda y A. Vouilloud. 2008a. Ultrastructure of the frustule of *Urosolenia* species from the colombian and peruvian amazon: *U. delicatissima* nov. spec., *U. amazonica* nov. spec. and *U. braunii* (Hustedt). *Diatom Research* 23: 159-169.
- Sala, S., J. Ramirez y Y. Plata-Diaz. 2008b. Diatoms from lentic and lotic systems in Antioquia, Chocó and Santander Departments in Colombia. *Revista de Biología Tropical* (Int. J. Trop. Biol.) 56: 1159-1178.
- Salazar, C. 1989. Biomasa y producción primaria del perifiton en una sabana inundable de Venezuela. *Revista de Hidrobiología Tropical* 22(3): 213-222.
- Sand-Jensen, K. 1983. Physical and chemical parameters regulating growth of periphytic communities. Pp:

- 63-71. *En*: Wetzel, R. (Ed.). Periphyton of freshwater ecosystems. Dr. W. Junk Publishers, The Hague.
- Sand-Jensen, K., 1987. Environmental control of bicarbonate use among freshwater and marine macrophytes. Pp: 99–112. *En*: Crawford, R.M. (Ed.). Plant life in aquatic and amphibious habitats. Blackwell, Oxford.
- Schwarzbold, A. 1990. Metodos ecológicos aplicados ao estudo do perifiton. *Acta Limnologica Brasiliensia* 3 (1): 545-592.
- Sierra, O. y J. Ramírez. 2000. Variación espacio - temporal de biopelículas en la represa La Fe, el Retiro, Antioquia (Colombia). *Actualidades Biológicas* 22 (73): 153-168.
- Sierra, O. y J. Ramírez. 2004. Sucesión del perifiton en sustratos artificiales de dos estaciones de muestreo en la Laguna Francisco José de Caldas Jardín Botánico Joaquín Antonio Uribe, Medellín. Colombia. VI Seminario Colombiano de Limnología. Montería. 121 pp.
- Silva-Oliveira, C. 2007. Caracterização da comunidade de algas perifíticas em estação de tratamento de água pela técnica de substrato artificial: estudo de caso Eta São Sebastião, Cuiabá-MT. Tese do Maestrado. Universidade Federal de Mato Grosso. 68 pp.
- Singh, R., P. Debarati y J. Rakesh. 2006. Biofilms: implications in bioremediation. *Trends in Microbiology* 14: 389-397.
- Sládecková, A., 1962. Limnological investigation methods for the periphyton (“Aufwuchs”) community. *Bot. Rev.* 28 (2): 286-350.
- Sládecková, A., 1991. The role of periphyton in water supply. *Verhandlungen des Internationalen Verein Limnologie* 24: 2174-2178.
- Sládeckova, A. y V. Sládecék. 1977. Periphyton as indicator of the reservoir water quality II. Pseudo-periphyton. *Arch. Hidrobiol. Berth. Limgebh. Limnol.* 9.
- Smith, E. y T. Craven. 1972. A Comparison of the río Amazonas and the río Loreto- Yakú using chemical, phytoplankton and periphyton analysis. Inédito.
- Stevenson, R. 1996. The stimulation and drag of current. Pp: 321-336. *En*: Stevenson, J., Bothwell, M. y Lowe, R. (Eds.). Algal ecology: freshwater benthic ecosystem. Academic Press, California, USA.
- Taniguchi, G., D. Bicudo y P. Senna. 2005. Gradiente litorâneo-limnético do fitoplâncton e ficoperifiton em uma lagoa da planície de inundação do rio Mogi-Guaçu. *Revista Brasileira de Botânica* 28 (1): 137-147.
- Valenzuela, G. 2006. Función de producción primaria durante la colonización biológica sobre un sustrato artificial en un río tropical andino de orden bajo. VII Seminario de Limnología y I Reunión Internacional sobre ríos y humedales neotropicales. Ponencia: Libro: Neolimnos resúmenes 2006, pp. 85.
- Vigna, S. y S. Duque. 1999. Silica Scaled Chrysophytes from Amazonia region in Colombia. *Nova Hedwigia* 69 (1-2): 151-162.
- Vigna S., S. Duque y M. Núñez-Avellaneda. 2005. Tropical scaled Chrysophyte flora (Chrysophyceae and Synurophyceae) from Colombia. *Beihefte zur Nova Hedwigia* 128: 151-166.
- Vouilloud, A., S. Sala, M. Núñez-Avellaneda y S. Duque. 2009. Diatoms from the Colombian and Peruvian Amazon: the Genera Encyonema, Encyonopsis and Gomphonema (Cymbellales: Bacillariophyceae). *Revista de Biología Tropical* 58(1): 45-62.
- Watanabe, T. 1990. Perifiton: comparação de metodologias empregadas para caracterizar o nível de poluição das águas. *Acta. Limnol. Brasil.* 3: 593-615.
- Wetzel, R. 1964. A comparative study of the primary productivity of higher aquatic plants, periphyton, and phytoplankton in a large, shallow lake. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie* 49: 1-61.
- Wetzel, R. 1983. Periphyton of freshwater ecosystems. Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems held in Vaxjo, Sweden, 14-17 September 1982. Dr. W. Junk Publishers. The Netherlands. 346 pp.
- Wetzel, R. 1983a. Opening remarks. Pp: 3-4. *En*: Wetzel, R., (Ed.). Periphyton of freshwater ecosystems. Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems held in Vaxjo, Sweden, 14-17 September 1982. Dr. W. Junk Publishers. The Netherlands.
- Wetzel, R. 1983b. Attached algal-substrata interactions: fact, myth, and when and how? Pp: 207-215. *En*: Wetzel, R. (Ed.). Periphyton of freshwater ecosystems. Proceedings of the First International Workshop on Periphyton of Freshwater Ecosystems held in Vaxjo, Sweden, 14-17 September 1982. Dr. W. Junk Publishers. The Netherlands.
- Wetzel, R. 1990. Clean water: A fading resource. *En*: Ilmavirta, V. y R. I. Jones. (Eds.). The dynamics and use of lacustrine ecosystems. Develop. Hydrobiol. Junk.
- Wetzel, R. 1996. Benthic algae and nutrient cycling in lentic freshwater ecosystems. Pp: 641-667. *En*: Stevenson, R., M. Bothwell y R. Lowe. (Eds.). Algal Ecology: freshwater benthic ecosystems. Academic Press, New York.
- Wetzel, R. 2001. Limnology: Lake and river ecosystems. Tercera edición. Academic Press. San Diego.
- Whitton, B. y M. Kelly. 1995. Use of algae and other

- plants for monitoring rivers. *Australian Journal of Ecology* 20: 45-56.
- Winter, J. y H. Duthie. 2000. Epilithic diatoms as indicators of stream total N and P concentration. *Journal of the North American Benthological Society* 19 (1): 32-49.
- Zapata, A. y J. Donato. 2005. Cambios diarios de las algas perifíticas y su relación con la velocidad de la corriente en un río tropical de montaña (río Tota-Colombia). *Limnética* 24 (3-4): 327-338.
- Zapata, A. y J. Donato. 2008. Regulación hidrológica de la biomasa algal béntica. Pp: 103-125. *En: Donato, J. (Ed.). 2008. Ecología de un río de montaña de los Andes Colombianos (río Tota, Boyacá). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Colección Textos.*

Yimmy Montoya Moreno
Dr. Ingeniería.
Universidad de Antioquia
Grupo de investigación Gaia
yimmymontoya3@hotmail.com

Néstor Aguirre R.
Dr. Recursos Naturales
Profesor Universidad de Antioquia
Grupo de investigación Gaia
naguirre@udea.edu.co

Citación:
Montoya Moreno, Y. y N. Aguirre R. 2013. Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente* 16 (3): 91-117.

Recibido para evaluación: 4-VI-2012
Aceptación: 9-VIII-2013
Recibido versión final: 30-IX-2013