

Diversidad del perifiton presente en un sistema de producción de tilapia en biofloc*

Eliana Marcela Betancur González**, Carlos Arturo David Ruales***, Luz Adriana Gutiérrez****

Resumen

Introducción. El perifiton está formado por una compleja comunidad de organismos acuáticos que se adhieren a los sustratos bajo el agua, se constituye en componente fundamental de las comunidades bióticas acuáticas y permite comprender el funcionamiento de estos ecosistemas. Algunas variaciones en la calidad del biofloc en cuanto a proteína cruda y a niveles de ácidos grasos poliinsaturados pueden ser condicionadas principalmente por la estructura del perifiton. **Objetivo.** Determinar la composición, abundancia e índices de diversidad del perifiton presente en los diferentes tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc. **Materiales y métodos.** Se tomaron cinco muestras de un cultivo de tilapia en biofloc asociado a tres tratamientos con su respectivo control en un periodo de seis meses. Se empleó un microscopio invertido con cámara integrada para el montaje y conteo de la muestra (cámara de Sedgwick-Rafter). Para la determinación y composición del ensamble se emplearon claves taxonómicas y se estimaron los índices de diversidad, dominancia, riqueza y equidad de especies. Para el cálculo del índice de diversidad y el esquema de agrupamiento, se emplearon los programas *Biodiversity-Professional* (Versión 2) y PAST (Versión 2.17c). **Resultados.** El ensamble estuvo compuesto por 15 taxones. La clase Eurotatoria fue la de mayor representatividad con respecto a la riqueza de taxones. La especie más abundante fue *Crucigenia fenestrata*. Los

muestreos realizados en distintos meses del año arrojaron diferencias en cuanto a la densidad poblacional y el número de taxones encontrados. Los índices de diversidad oscilaron entre 0,3428 bel nat/ind y 0,7357 bel nat/ind. Para la equidad se encontraron valores cercanos o mayores a 1 y menores a 0,8 como el tratamiento 2 y la riqueza de taxones mostró regularidad entre los tratamientos. **Conclusión.** Las microalgas perifíticas representan una de las comunidades con mayor variabilidad espacial en términos de biomasa y composición, pero ninguna de la especies mantiene a lo largo del año un tamaño considerable de su población, en parte debido a que las perturbaciones en los tratamientos modifican su estructura.

Palabras clave: abundancia, composición, bioindicadores, suspensión activa.

Periphyton diversity in a biofloc tilapia fish production system

Abstract

Introduction. Periphyton is comprised of a complex community of aquatic organisms that get attached to underwater substrates, is a crucial component of the aquatic biotic communities and contributes to the understanding of these ecosystems. Some variations in the biofloc's quality in raw protein and polyunsaturated fatty acids levels terms can

* Este artículo se deriva de la investigación denominada "Producción de tilapia (*Oreochromis spp.*) - cachamas (*Piaractus brachipomus*) - bocachico (*Prochilodus sp.*) en un sistema de biofloc (bft), estimaciones microbiológicas, moleculares, de parámetros de calidad de agua, incidencias económicas y características sensoriales del filete en este tipo de cultivo". La financiación de la misma se realizó bajo el convenio de asociación No. 4600000982 que vinculó al Sistema General de Regalías, a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y a la Corporación Universitaria Lasallista.

** Zootecnista, cMSc en Gestión de la Calidad de los Alimentos.

*** Biólogo, MSc Acuicultura. Docente Corporación Universitaria Lasallista. Grupo de Investigación en Producción, Desarrollo y Transformación Agropecuaria.

**** Bióloga, MSc, Ph.D en Biotecnología. Docente Corporación Universitaria Lasallista. Grupo de Investigación en Producción, Desarrollo y Transformación Agropecuaria.

be conditioned mainly by periphyton's structure. **Objective.** Determine the composition, abundance and diversity rates of periphyton in the different treatments for cultivating tilapia fish in biofloc. **Materials and methods.** Five samples of a tilapia fish culture in biofloc, associated to three treatments with their respective controls during a six months period, were taken. An inverted microscope with a camera was used to mount and count the sample (Sedgwick-Rafter camera). To determine and compose the assembly, taxonomic keys were used, and the species' diversity, dominance, richness and equity rates were estimated. To calculate the diversity rate and the grouping scheme, the Biodiversity-Professional (Version 2) and PAST (Version 2.17c) softwares were used. **Results.** The assembly was comprised of 15 taxa. Eurotatoria was the most representative in taxa richness terms. The most abundant species was *Crucigenia fenestrata*. The sampling developed in different months of the year showed differences concerning the population density and the number of taxa found. The diversity rates oscilated between 0,3428 bel nat/ind and 0,7357 bel nat/ind. For the equity, values close or above 1 were found, and values under 0, 8 were also found as treatment 2 and the taxa richness showed a regularity between treatments. **Conclusion.** Periphytic microalgae represent one of the communities with the highest space variability in terms of biomass and composition, but none of the species maintain a considerable size of its population throughout the year, partly because of the disturbances in the treatments, which make them change their structure.

Key words: Abundance, composition, bioindicators, active suspension.

Diversidade do perifiton presente num sistema de produção de tilápia em biofloc

Resumo

Introdução. O perifiton está formado por uma complexa comunidade de organismos aquáticos que

se aderem aos substratos sob a água, se constitui em componente fundamental das comunidades bióticas aquáticas e permite compreender o funcionamento destes ecossistemas. Algumas variações na qualidade do biofloc em quanto a proteína crua e a níveis de ácidos graxos poli-insaturados podem ser condicionadas principalmente pela estrutura do perifiton. **Objetivo.** Determinar a composição, abundância e índices de diversidade do perifiton presente nos diferentes tratamentos para o cultivo de tilápia em biofloc. **Materiais e Métodos.** Se tomaram cinco amostras de um cultivo de tilápia em biofloc associado a três tratamentos com seu respectivo controle num período de seis meses. Se empregou um microscópio invertido com câmera integrada para a montagem e contagem da amostra (câmera de Sedgwick-Rafter). Para a determinação e composição da montagem se empregaram chaves taxonômicas e se estimaram os índices de diversidade, dominância, riqueza e equidade de espécies. Para o cálculo do índice de diversidade e o esquema de agrupamento, se empregaram os programas Biodiversity-Professional (Versão 2) e PAST (Versão 2.17c). **Resultados.** A montagem esteve composta por 15 táxones. A classe Eurotatoria foi a de maior representatividade com respeito à riqueza de táxones. A espécie mais abundante foi *Crucigenia fenestrata*. As amostras realizadas em distintos meses do ano mostraram diferenças em quanto à densidade populacional e o número de táxones encontrados. Os índices de diversidade oscilaram entre 0,3428 bel nat/ind e 0,7357 bel nat/ind. Para a equidade se encontraram valores próximos ou maiores a 1 e menores a 0,8 como o tratamento 2 e a riqueza de táxones mostrou regularidade entre os tratamentos. **Conclusão.** As microalgas perifíticas representam uma das comunidades com maior variabilidade espacial em termos de biomassa e composição, mas nenhuma das espécies mantém ao longo do ano um tamanho considerável de sua população, em parte devido a que as perturbações nos tratamentos modificam sua estrutura.

Palavras chave: abundância, composição, bio-indicadores, suspensão ativa.

Introducción

El perifiton es un componente fundamental de las comunidades bióticas acuáticas en las que 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 sistemas acuáticos (Montoya y Aguirre, 2013). En adición a esta utilización primordial está

su uso como bioindicador en tanto permite determinar parámetros como saturación de oxígeno, condiciones de anoxia, condiciones de pH, estratificación térmica y de oxígeno en la columna de agua, nivel eutrófico y fenómenos de sedimentación (Arce, Herbas, Rivero y González, 2006).

El perifiton está formado por una compleja comunidad de organismos acuáticos que se adhieren a los sustratos bajo el agua y que son colonizados por bacterias, hongos, protozoos, fitoplancton y zooplancton. Se puede utilizar como una fuente de alimento por los peces de cultivos acuícolas (Schveitzer et al., 2013). Además, la importancia de su uso para detectar procesos en los ecosistemas acuáticos radica en que las poblaciones de animales y plantas acumulan información que los análisis fisicoquímicos no develan (Ospina y Peña, 2004).

Por otra parte, una alternativa al uso individual de esos sistemas bioindicadores es la asociación entre perifiton y biofloc. Algunos autores han sugerido que el perifiton y el biofloc pueden actuar de forma sinérgica en la mejora de la calidad del agua y la nutrición de los animales (Azim & Little, 2008; Schveitzer et al, 2013), mejorando el sistema. Ray y colaboradores (2010) hacen referencia a las principales técnicas de clasificación de los microorganismos presentes en sistemas biofloc, notando que la más común es la de microscopía, que a su vez permite de manera sencilla identificar los principales grupos asociados a este sistema (Newall, Bate & Metzeling, 2006).

Variaciones en la calidad del biofloc en cuanto a proteína cruda y niveles de ácidos grasos poliinsaturados pueden ser condicionadas por la relación C:N, intensidad de luz y principalmente por la estructura de la población de microorganismos (Emerenciano, Ballester, Cavalli & Wasielevsky, 2012; Azim & Little 2008, Ekasari, Crab & Verstraete, 2010). Por consiguiente el objetivo de este estudio fue determinar la composición, abundancia e índices de diversidad del perifiton presente en los tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc con el fin de determinar su ensamble en dicho sistema.

Materiales y métodos

Área de estudio

Localización: las muestras de perifiton se tomaron de un cultivo de tilapia en biofloc de la estación piscícola de la Corporación Universitaria Lasallista en el municipio de Caldas, departamento de Antioquia, a una altitud de 1750 metros y a una temperatura promedio de 19 °C.

Método para la recolección de las muestras

Los muestreos se realizaron en un periodo experimental de seis meses, cada 36 días, para un total de cinco muestras por cada tratamiento. Los tratamientos fueron: biofloc-*Bacillus megaterium* (T1); biofloc-*Bacillus polymixa* (T2); biofloc-bacterias lácticas (T3) y el control solo biofloc (T4). Haciendo un *pool* de cada tratamiento y sus réplicas, las muestras se tomaron en tubos falcon de 50 mL, se fijaron con lugol y se llevaron al laboratorio para su análisis.

Preparación del biofloc y manejo del sistema

Al agua del sistema se le hicieron las pruebas microbiológicas para coliformes totales y fecales comprobando su calidad. Con estos resultados se procedió a inocular cada tanque con 1 kg de melaza, más 1 kg de concentrado del 19% de PB, 2,5 gr NaCl L-1 y 10 ml de bacterias nitrificantes. El periodo de maduración fue de 20 días después del cual se agregaron los probióticos garantizando una concentración final de $1,2 \times 10^5$ microorganismos mL⁻¹ y sembrando los peces a una densidad de 20 peces por tanque.

Se suministró aireación las 24 horas al día desde la adición del inóculo hasta finalizar el periodo experimental. Se alimentó con concentrado comercial del 32% de PB hasta aparente saciedad durante todo el ensayo. La fuente de carbono para el manejo del biofloc fue melaza y la cantidad fue ajustada con base en lo reportado por De Schryver, Crab, Defoidt, Boon & Verstraete (2008), manteniendo una relación 20:1 de C:N. Las pérdidas por evaporación fueron repuestas,

aproximadamente cada 15 días, con agua en las mismas condiciones descritas.

Análisis de laboratorio

Para la observación de las muestras se empleó un microscopio invertido marca Boeco®, con cámara integrada, para el montaje de la muestra se utilizó una cámara de conteo Sedgwick-Rafter de 1 mL de capacidad (Wetzel & Likens, 1990) y para efectuar comparaciones válidas entre los análisis cuantitativos, todas las muestras se llevaron a un volumen de 100 mL. Este volumen se agitó en un recipiente plástico de arriba a abajo 40 veces, e inmediatamente con una pipeta plástica se tomó un mililitro de muestra que se dispuso en la cámara de conteo.

Para efectuar el conteo se seleccionaron 30 campos de observación siguiendo un sistema de muestreo al azar y el dato obtenido es la densidad de algas por unidad de volumen (ind/mL). El conteo se realizó con una magnificación total de 40X.

Para la determinación taxonómica se emplearon los textos de Bourrelly (1966,1985), Prescott, Croasdale & Vinyard (1982), Strelbel y Krauter (1988), Das Phytoplankton des Süßwasser (Hrsg. Huber-Pestalozzi, 1938): Band XVI Teil 1 Blaualgen (1938), Band XVI Teil 2, 1. Hälfte Chrysophyceae (1976), Band XVI Teil 4 Euglenophyceae (1955), Band XVI Teil 5 Chlorophyceae (1961), Band XVI Teil 7, 1. Hälfte Chlorophyceae (1983) y Ramírez (2000).

Análisis de los datos

Para determinar la composición de la asociación perifítica se estimaron los índices de diversidad, dominancia, riqueza de especies y equidad (Shannon, 1948; Simpson, 1949; Margalef, 1981).

Para contrastar la información de presencia-ausencia de taxones de algas perifíticas, así como también la de sus abundancias entre las estaciones se realizó un análisis de agrupamiento, aplicando el índice de similaridad de Bray-Curtis, utilizando los datos de abundancia registrados. Los esquemas

de agrupamiento son realizados con base en un ligamiento completo de los datos. Para el cálculo del índice de diversidad y el esquema de agrupamiento, se emplearon los programa *Biodiversity-Professional* (Versión 2) y *PAST* (Versión 2.17c).

Resultados

Caracterización de perifiton encontrado en los diferentes tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc. En la tabla 1 se muestran los taxones encontrados en los tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc, con su respectiva clasificación.

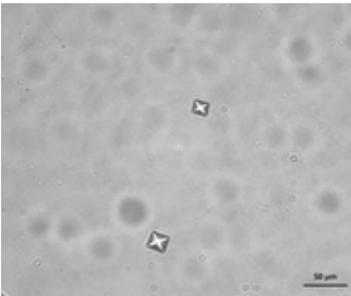
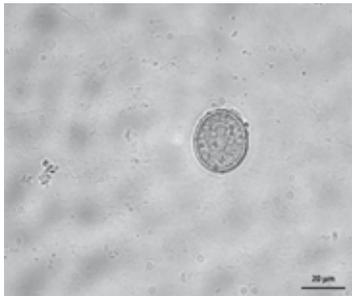
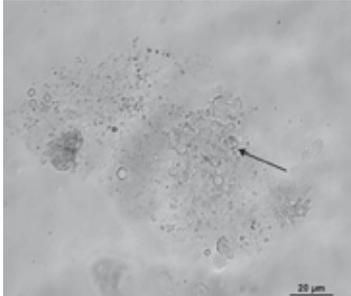
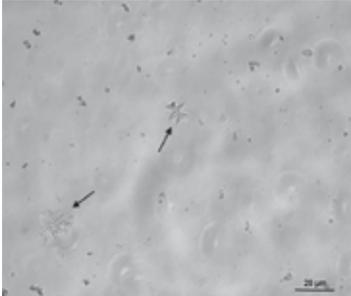
Distribución y abundancia del perifiton

De acuerdo con el análisis cualitativo y cuantitativo realizado en diferentes periodos a las muestras de perifiton en los tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc, se estableció que el ensamble estuvo compuesto por 15 taxones que se agruparon en seis clases, 10 órdenes y 11 familias, de las cuales siete pertenecían a algas y cuatro a rotíferos.

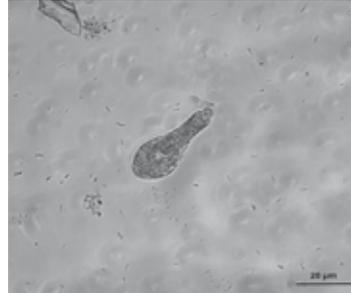
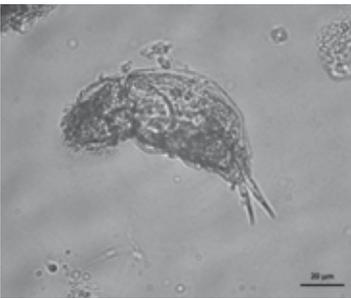
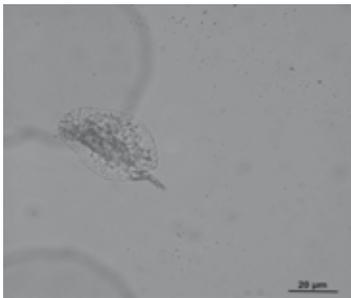
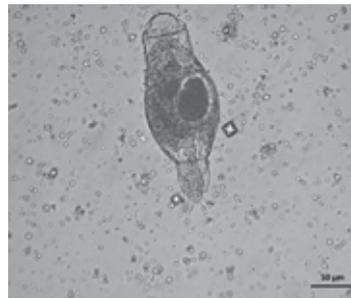
La clase Eurotatoria del filo Rotífera fue la de mayor representatividad con respecto a la riqueza de taxones, debido a que aportó siete, lo que significó el 46.6% del total registrado, seguida de la clase *Cyanophyceae* de la división algales, con tres taxones que representaron el 20% del total analizado. En tercer lugar, de esta misma división, se encontró con dos taxones la clase *Bacillariophyceae*, la cual ocupó el 13.3% y finalmente las clases *Chlorophyceae*, *Mediophyceae* y *Trebouxiophyceae* con un taxón cada una y un 6.6% de representatividad (tabla 2).

Como lo indican la tabla 2 y la figura 1, en cuanto a la densidad de cada una de las clases se encontró que *Trebouxiophyceae*, con solo un taxón aportado al ensamble, fue la más abundante con 6486 ind/mL de la especie *Crucigenia fenestrata*, seguida de las *Cyanophyceae* con 2657 ind/mL, divididos en tres taxones *Lyngbya*, *Microcystis* y *Oscillatoria*. Las clases *Chlorophyceae* y *Mediophyceae* alcanzaron densidades más bajas con valores de 231 ind/mL, y 118 ind/mL respectivamente.

Tabla 1. Clasificación taxonómica del perifiton encontrado en los diferentes tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc

<p><i>Oscillatoria geminata</i> (Schwabe ex Gomont 1892)</p>  <p>Clasificación taxonómica</p> <p>Dominio: Procariota Reino: Eubacteria SubReino: Negibacteria Filo: Cyanobacteria Clase: Cyanophyceae Subclase: Oscillatoriophyceae Orden: Oscillatoriales Familia: Oscillatoriaceae Género: <i>Oscillatoria</i> Especie: <i>Oscillatoria geminata</i></p>	<p><i>Crucigenia fenestrata</i> (Schmidle 1900)</p>  <p>Clasificación taxonómica</p> <p>Dominio: Eucariota Reino: Plantae SubReino: Viridiplantae Filo: Chlorophyta Clase: Trebouxiophyceae Orden: Trebouxiophyceae ordo incertae sedis Familia: Trebouxiophyceae Género: <i>Crucigenia</i> Especie: <i>Crucigenia fenestrata</i></p>	<p><i>Cyclotella sp</i> (Kützing; Brébisson, 1838)</p>  <p>Clasificación taxonómica</p> <p>Dominio: Eucariota Reino: Chromista Filo: Bacillariophyta Clase: Mediophyceae Orden: Stephanodiscales Familia: Stephanodisceae Género: <i>Cyclotella</i> Especie: <i>Cyclotella sp</i></p>
<p><i>Microcystis sp</i> (Lemmermann 1903)</p>  <p>Clasificación taxonómica</p> <p>Dominio: Procariota Reino: Eubacteria SubReino: Negibacteria Filo: Cyanobacteria Clase: Cyanophyceae Subclase: Oscillatoriophyceae Orden: Chroococcales Familia: Microcystaceae Género: <i>Microcystis</i> Especie: <i>Microcystis viridis</i></p>	<p><i>Scenedesmus dimorphus</i> (Turpin) Kützing 1834</p>  <p>Clasificación taxonómica</p> <p>Dominio: Eucariota Reino: Plantae SubReino: Viridiplantae Filo: Chlorophyta Clase: Chlorophyceae Orden: Sphaeropleales Familia: Scenedesmaceae Género: <i>Scenedesmus</i> Especie: <i>Scenedesmus acutus</i></p>	<p><i>Nitzschia angustata</i> (W.Smith1880)</p>  <p>Clasificación taxonómica</p> <p>Dominio: Eucariota Reino: Chromista Filo: Bacillariophyta Clase: Bacillariophyceae Orden: Bacillariales Familia: Bacillariaceae Género: <i>Nitzschia</i> Especie: <i>angustata</i></p>

(Continuación) Tabla 1. Clasificación taxonómica del perifiton encontrado en los diferentes tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc

<p style="text-align: center;"><i>Lyngbya sp</i> (Lemmermann 1898)</p>  <p style="text-align: center;">Clasificación taxonómica</p> <p>Dominio: Procariota Reino: Eubacteria SubReino: Negibacteria Filo: Cyanobacteria Clase: Cyanophyceae Subclase: Oscillatoriophyceae Orden: Oscillatoriales Familia: Oscillatoriaceae Género: <i>Lyngbya</i> Especie: <i>Lyngbya limnetica</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing 1849)</p>  <p style="text-align: center;">Clasificación taxonómica</p> <p>Dominio: Eucariota Reino: Chromista Filo: Bacillariophyta Clase: Bacillariophyceae Orden: Cymbellales Familia: Gomphonemataceae Género: <i>Gomphonema</i> Especie: <i>Gomphonema parvulum</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Habrotrocha crenata</i> (Murray, 1905)</p>  <p style="text-align: center;">Clasificación taxonómica</p> <p>Reino: Animalia Filo: Rotifera Clase: Eurotatoria Orden: Bdelloidea Familia: Habrotrochidae Género: <i>Habrotrocha</i> Especie: <i>Habrotrocha crenata</i></p>
<p style="text-align: center;"><i>Cephalodella sp</i> (Saint-Vincent 1826)</p>  <p style="text-align: center;">Clasificación taxonómica</p> <p>Reino: Animalia Filo: Rotifera Clase: Eurotatoria Orden: Ploima Familia: Notommatidae Género: <i>Cephalodella</i> Especie: <i>sp</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Colurella uncinata</i> (Mueller 1773)</p>  <p style="text-align: center;">Clasificación taxonómica</p> <p>Reino: Animalia Filo: Rotifera Clase: Eurotatoria Orden: Ploima Familia: Lepadellidae Género: <i>Colurella</i> Especie: <i>Colurella Uncinata</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Adineta barbata</i> (Janson, 1893)</p>  <p style="text-align: center;">Clasificación taxonómica</p> <p>Reino: Animalia Filo: Rotifera Clase: Eurotatoria Orden: Adinetida Familia: Adinetidae Género: <i>Adineta</i> Especie: <i>Adineta barbata</i></p>

(Continuación) Tabla 1. Clasificación taxonómica del perifiton encontrado en los diferentes tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc

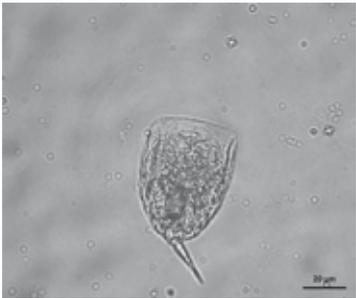
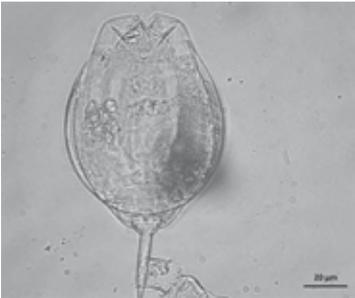
<i>Lecane tenuiseta</i> (Harring, 1914)	<i>Lecane bulla</i> (Gosse 1851)	<i>Lepadella patella</i> (Müller, 1786)
		
Clasificación taxonómica	Clasificación taxonómica	Clasificación taxonómica
Reino: Animalia Filo: Rotífera Clase: Eurotatoria Orden: Ploima Familia: Lepadellidae Género: <i>Lecane</i> Especie: <i>Lecane tenuiseta</i>	Reino: Animalia Filo: Rotífera Clase: Eurotatoria Orden: Ploima Familia: Lepadellidae Género: <i>Lecane</i> Especie: <i>Lecane bulla</i>	Reino: Animalia Filo: Rotífera Clase: Eurotatoria Orden: Ploima Familia: Lepadellidae Género: <i>Lepadella</i> Especie: <i>Lepadella patella</i>

Tabla 2. Composición taxonómica de los individuos presentes en los diferentes tratamientos del cultivo de tilapia en biofloc (ind/mL)

Clase	Familia	Género	T1	T2	T3	T4
Bacillariophyceae	Bacillariaceae	<i>Nitzschia angustata</i>	41	21	108	416
	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema parvulum</i>	0	0	51	26
Chlorophyceae	Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus dimorphus</i>	113	0	113	5
Cyanophyceae	Oscillatoriaceae	<i>Oscillatoria geminata</i>	514	0	0	540
	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya sp</i>	35	184	360	170
	Microcystaceae	<i>Microcystis sp</i>	108	128	617	0
Mediophyceae	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella sp</i>	56	5	0	57
Trebouxiophyceae	Trebouxiophyceae	<i>Crucigenia fenestrata</i>	1778	1516	1115	2076
Eurotatoria	Lepadellidae	<i>Lecane bulla</i>	139	30	30	26
	Lepadellidae	<i>Lecane tenuiseta</i>	0	0	41	41
	Lepadellidae	<i>Colurella uncinata</i>	10	5	10	0
	Lepadellidae	<i>Lepadella patella</i>	36	0	0	26
	Adinetidae	<i>Adineta barbata</i>	73	0	62	0
	Habrotrochidae	<i>Habrotrocha crenata</i>	0	0	15	0
	Notommatidae	<i>Cephalodella sp</i>	0	0	0	5

Biofloc-*Bacillus megaterium* (T1); Biofloc-*Bacillus polymixa* (T2); Biofloc-Bacterias lácticas (T3) y el control solo biofloc (T4).

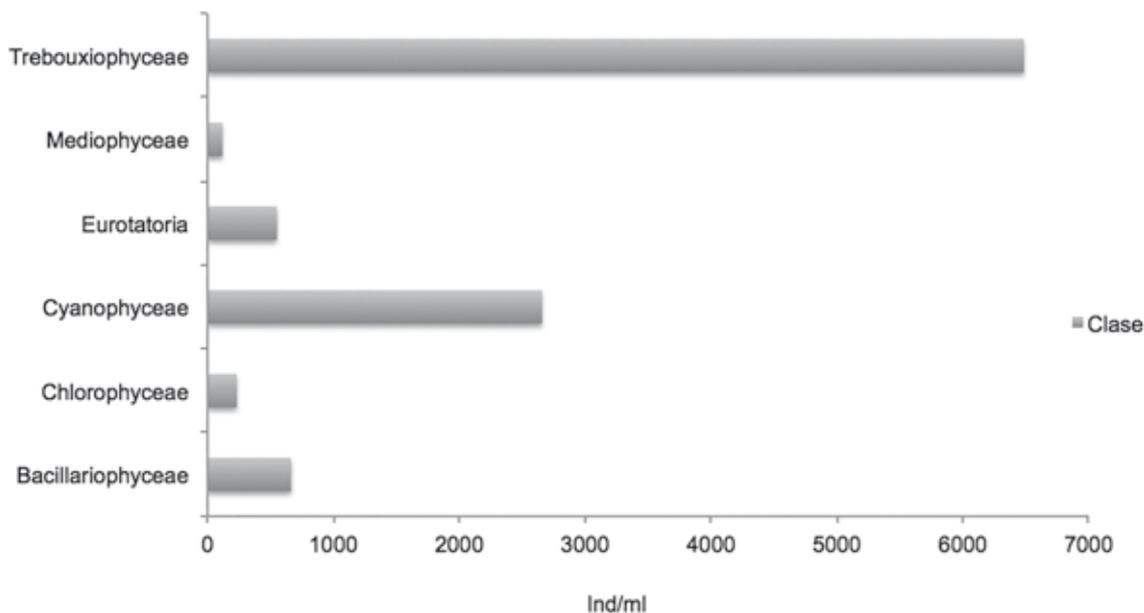


Figura 1. Densidad de cada una de las clases que componen el perifiton en los diferentes tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc

En cuanto a la frecuencia de ocurrencia de los taxones en los tratamientos analizados, las especies *Crucigenia fenestrata* de la división algales y *Lecane bulla* de la división rotífera, obtuvieron un mayor número de registros, ocurriendo el 76.92% de las veces muestreadas, seguida de la especie *Lyngbya* que se registró con una ocurrencia del 61.53%. Con respecto a las especies que presentaron menor frecuencia, se encontró *Cephalodella* sp y *Habrotrocha crenata*, las cuales solo se registraron con una ocurrencia del 7.6% del total analizado.

Por otro lado, los muestreos realizados en distintos meses del año arrojaron diferencias en cuanto a la densidad poblacional y al número de taxones encontrados en cada uno de los tratamientos, siendo el mes de octubre el que mayor densidad mostró con valores de 570 ind/mL, 920 ind/mL, 1120 ind/mL y 1552 ind/mL, en T1, T3 y control respectivamente; y el mes de julio fue el de menor densidad con valores de 26 ind/mL, 62 ind/mL, 170 ind/mL y 709 ind/mL, en T2, T3, T1 y control respectivamente.

De igual manera, en cuanto al número de taxones, el T1 obtuvo la mayor representación en el mes de octubre, gracias a que se registró

9 de los 15 taxones reportados en todo el análisis, sin embargo para el mes de junio, este mismo tratamiento reportó el valor más bajo con solo dos del total de especies registradas para un total de 11 en todo el muestreo. La figura 2 muestra el cambio de la composición poblacional en el tiempo por tratamiento.

Índices de diversidad

En la tabla 3 y en la figura 3 se presentan los resultados de los índices de diversidad aplicados al perifiton muestreado en los tratamientos de biofloc. La diversidad osciló entre 0,3428 bel nat/ind, en T2 y 0,7193 bel nat/ind, para T3. En el caso de T3 el valor hallado de índice de diversidad, se explica básicamente porque varios taxones, *Crucigenia fenestrata*, *Microcystis* sp, *Lyngbya* sp y *Scenedesmus dimorphus*, fueron muy representativos para el ensamble, lo que indica una menor dominancia y una mayor diversidad al igual que mayor equidad y mayor riqueza, contrario a lo que ocurrió en T2 donde *Crucigenia fenestrata* concentró el 40,76% de la densidad total del ensamble, mientras que los seis taxones restantes se distribuyeron el 59,24%, evidenciando una mayor dominancia y una menor diversidad y por consiguiente menor riqueza.

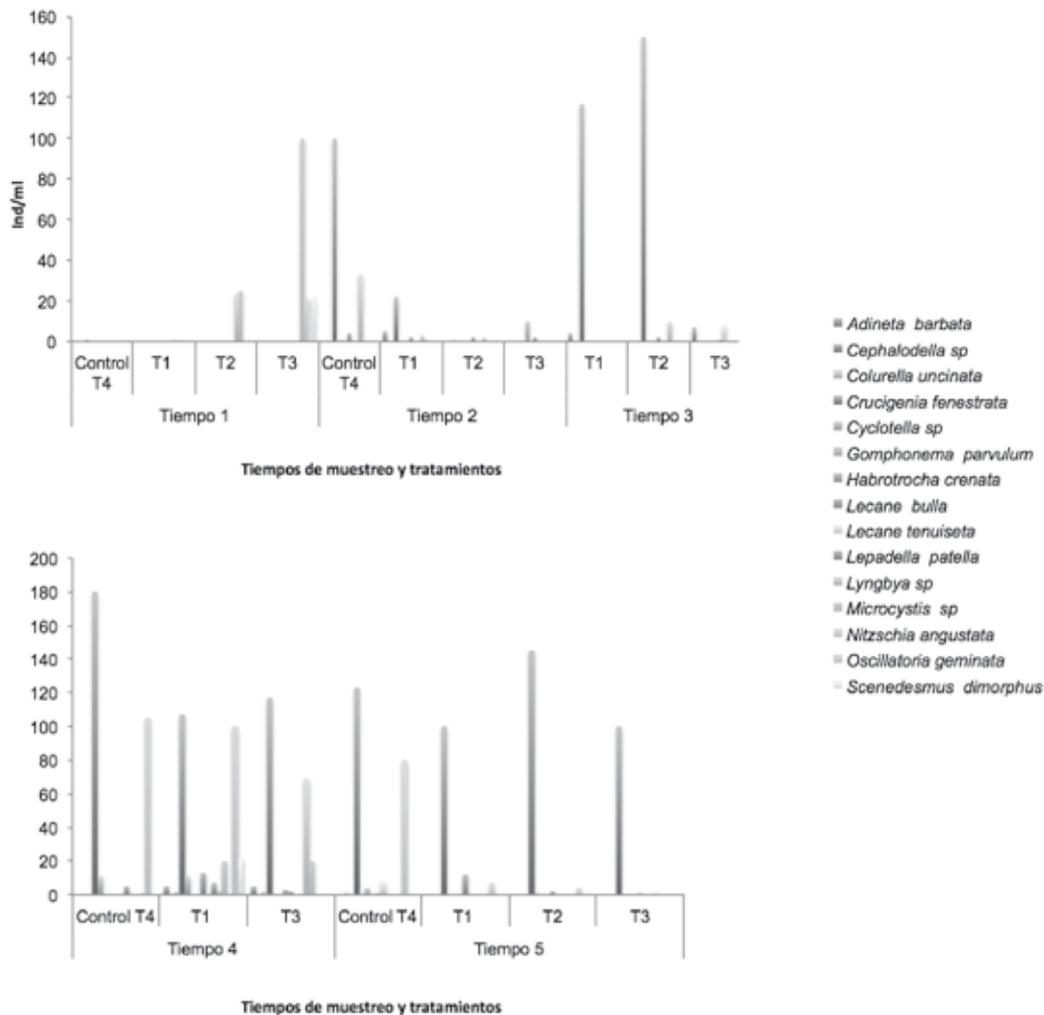


Figura 2. Composición de taxones relacionados con los diferentes muestreos para los diferentes tratamientos en el cultivo de tilapia en biofloc

En el primer caso, para T3, se evidencia que el aprovechamiento de los taxones ocurre bajo ciertas condiciones de equilibrio debido a que no se presentan escenarios específicos que pudiesen beneficiar a uno o dos taxones más que a los demás. En el caso de T2, es claro que *Crucigenia fenestrata* fue más favorecida por las condiciones del medio.

Con relación a la equidad se encontraron valores cercanos o mayores a 1, que indican que la estructura del ensamblaje en estos sitios es más homogénea, es decir, que todos hacen una contribución más o menos regular a la densidad total y que además hay mayor

diversidad de taxones. Por otro lado, valores menores a 0,8 como es el caso de T2, con solo siete taxones registrados y en cuyo caso, la especie *Crucigenia fenestrata* es la más dominante, hace de este tratamiento un sistema poco diverso.

La riqueza de taxones mostró cierta regularidad entre los tratamientos, sin embargo se obtuvieron valores que oscilaron entre 0,7952 para T2 y 1,277 para T3, valores que corresponde a 7 y 11 taxones respectivamente, siendo este último el tratamiento con mayor riqueza de especies registradas al igual que el T1 y el control T4.

Tabla 3. índices de diversidad del perifiton registrado en los tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc

Tratamiento	Taxones	Dominancia D	Simpson 1-D	Shannon H	Margalef
Control T4	11	0,4194	0,5806	1,253	1,23
T1	11	0,413	0,587	1,358	1,254
T2	7	0,6572	0,3428	0,7357	0,7952
T3	11	0,2807	0,7193	1,601	1,277

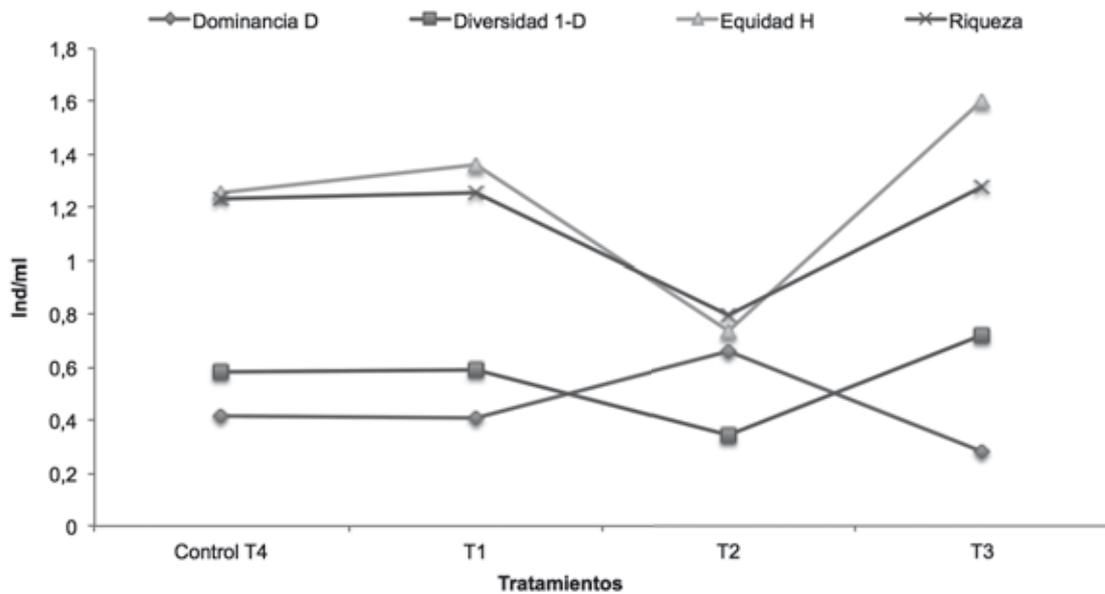


Figura 3. Variación espacial de la diversidad, equidad, dominancia y riqueza del perifiton registrado en los tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc

Dada cierta semejanza en la composición del ensamble perifítico entre los tratamientos de biofloc muestreados, el análisis de Bray Curtis basado en la presencia-ausencia de taxones en el ensamble, indica una asociación espacial media. Los controles T4 y T1, registraron el mayor porcentaje de similitud (78,92%), esto se explica porque además de un número igual de taxones (11), ocho fueron comunes para ambos (*Crucigenia fenestrata*, *Cyclotella* sp, *Lepadella patella*, *Lyngbya* sp, *Nitzschia angustata*, *Lecane bulla*, *Oscillatoria geminata*

y *Scenedesmus dimorphus*). El tratamiento T1 y el tratamiento T2 se asociaron con un porcentaje de similitud de 71,81%, seguido de los tratamientos T2 y T3 con un 67,28% de similitud en su riqueza y diversidad taxonómica. Teniendo en cuenta que la composición del perifiton está determinada por la influencia de factores como el sustrato, entre otros, una alta similitud en la composición podría indicar también condiciones muy similares entre los tratamientos con respecto a estos factores (tabla 4 y figura 4).

Tabla 4. Matriz de similitud del análisis de Bray-Curtis para el perifiton registrado en los en los tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc

	Control T4	T1	T2	T3
Control T4	*	78,9216	65,8228	50,4348
T1	*	*	71,8114	55,8712
T2	*	*	*	67,2875
T3	*	*	*	*

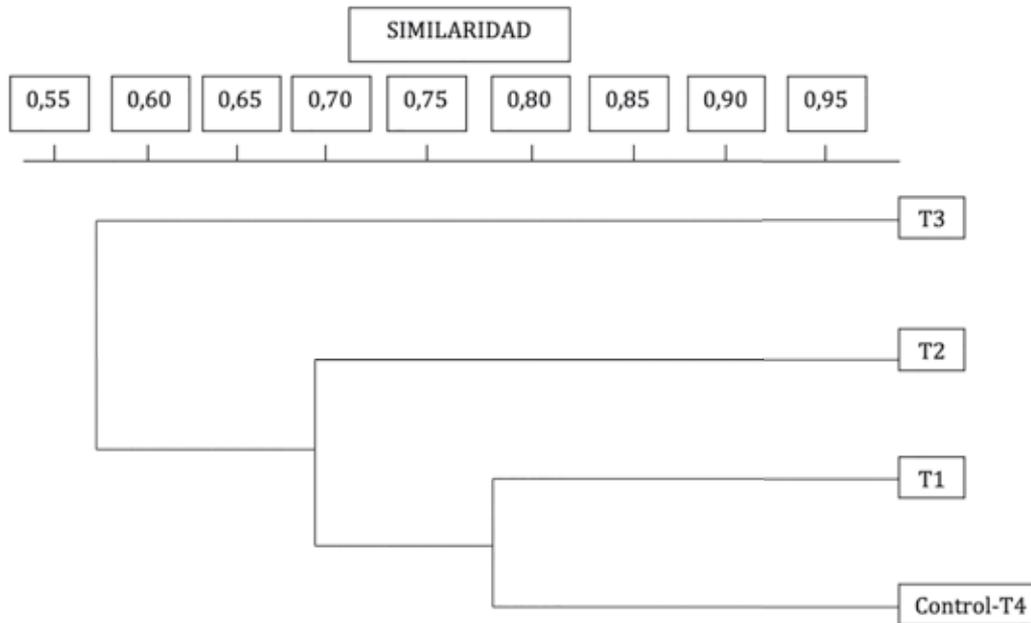


Figura 4. Dendrograma de similitud del perifiton registrado en los tratamientos para el cultivo de tilapia en biofloc

Discusión

Los sistemas de producción acuícola en biofloc presentan particularidades que los hacen complejos, en vista de la cantidad de relaciones o sinergias que se presentan en lo que puede denominarse como un “microcosmos”. Ebeling, Timmons & Bisogni (2006) sostienen que de manera funcional las actividades autótrofas como heterótrofas se desarrollan por los aportes exotróficos y estas se complementan con procesos que necesitan y no de oxígeno. Este conjunto de relaciones crean unas condiciones únicas que influyen directamente sobre el tipo de comunidades, su estructura, su diversidad entre otras características (Ray et al., 2010; Okabe y Watanabe, 2000).

Los valores de índices de diversidad encontrados en el presente estudio se pueden considerar bajos (Roldán, 1992), y característicos de ambientes eutróficos (Margalef, 1981). En este sentido y teniendo en cuenta la composición taxonómica reportada por diferentes autores para hábitats eutróficos (Abarca, Jahn, Zimmermann & Enke, 2014; Streble & Krauter, 1987; Cambra, 2002) y comparándola con la composición registrada en este análisis se concluye que efectivamente se trata de un sistema altamente eutrófico, con altos contenidos de sedimentación que presenta un ensamble perifítico homogéneo en la mayoría de los tratamientos muestreados.

Como lo mencionan Arcos, Ávila, Estupiñan y Gómez (2005), los cambios en la densidad poblacional durante los muestreos se deben a que las comunidades periféricas responden a ciertas condiciones para su distribución y abundancia, como por ejemplo, el drenaje de los sistemas, el tipo de sustrato, la concentración de nutrientes y la luz, factores que probablemente fluctuaron a lo largo del experimento y se ven reflejados en los resultados encontrados.

La densidad de cianófitas resalta las altas tasas de reproducción que caracterizan a estos grupos, así como su gran capacidad de desarrollar diferentes estructuras de fijación (pedúnculo, matriz de mucílago, rafe) que les proporcionan mayor capacidad de adherencia a los sustratos y a otros individuos, de tal manera que pueden llegar a formar abundantes masas. La presencia, pero esencialmente la densidad de cianófitas, evidencia que el proceso de enriquecimiento por nutrientes que enfrenta este sistema, está en aumento. Quiroz, Mora, Molina y García (2004) mencionan que en ecosistemas bajo este estado trófico, el crecimiento algal se manifiesta con un reemplazamiento de especies de clorófitas por diatomeas y cianófitas. Los géneros *Oscillatoria*, *Nitzschia* y *Cyclotella* son bioindicadores de la presencia de nitritos y amonio (Seeligmann, Tracanna, Martínez e Isasmendi, 2001), por lo que su presencia en todos los tratamientos, sugiere que se encontraban con altos niveles de estos compuestos al momento de tomar las muestras.

Es importante mencionar que la clase que ocupa el segundo lugar de densidad poblacional presente en los tratamientos de biofloc es *Cyanophyceae* y que los géneros de cianofíceas *Microcystis* y *Oscillatoria* son capaces de producir dos tipos de toxinas ampliamente conocidas: las microcystinas y las neurotoxinas.

Las microcystinas son solubles en agua y pueden ocasionar muerte por *shock* a la fauna acuícola (Aurazo de Zumaeta, 2004). Este excesivo crecimiento de las Cyanobacterias puede ser producido por deterioro en la calidad del agua o por el enriquecimiento de nutrientes que se presenta en un sistema de producción

intensivo como este. Este tipo de poblaciones no son reportadas por Monroy-Dosta, et al. (2013), asegurando que a pesar de que la colonización microalgal comienza con las clorófitas y que se pueden presentar cianobacterias, son las diatomeas las que predominan en el sistema. A su vez Ray et al. (2010) indican que las poblaciones predominantes fueron las clorófitas. Probablemente las diferencias se deban a las condiciones del cultivo y a los hábitos que tengan el conjunto de rotíferos que consumen las microalgas (Kuang et al. 2004). En este sentido, para el presente estudio la clase Eurotatoria del filo Rotifera, fue la de mayor representatividad con respecto a la riqueza de taxones, probablemente pudiendo influenciar la estructura poblacional de las microalgas. Es así como la especie *Lecane bulla* presentó concentraciones mínimas y máximas entre 5 y 67 ind/ml. Al respecto Ballester et al. (2010), en un ambiente salino, encontraron concentraciones mínimas y máximas de rotíferos de 4,6 a 151 ind/mL. El trabajo de Monroy-Dosta, et al. (2013) observa concentraciones similares entre 5 y 196 ind/ml, pero distribuidas en tres géneros *Lecane*, *Keratella* y *Philodina*.

Las microalgas periféricas representan una de las comunidades con mayor variabilidad espacial en términos de biomasa y composición (Arcos et al., 2005), pero ninguna de la especies mantiene a lo largo del año un tamaño considerable de su población, en parte debido a que las perturbaciones en los tanques modifican su estructura. Tilman et al. (1996) demostraron que las diatomeas son dominantes si la razón N:P y la temperatura son bajas, las algas verdes o clorófitas en la medida en que la temperatura y la razón N:P presentan valores intermedios y las cianobacterias cuando hay temperaturas altas y bajas razones N:P.

Conclusiones

Como ocurrió con los valores de diversidad, los resultados del estimativo de riqueza, probablemente se deban a las interacciones de factores como la calidad de los sustratos, la concentración de nutrientes, la luz y los parámetros fisicoquímicos.

En cuanto a las especies más representativas, se evidencia que la *Crucigenia fenestrata*

prefiere aguas eutróficas, con carga alta de materia orgánica, en algunas ocasiones presentan simbiosis con otros organismos, por ejemplo los rotíferos. Pueden utilizar determinadas sustancias orgánicas directamente como fuente de carbono y de nitrógeno. Por tanto podrían desempeñar un papel en la autodepuración biológica del medio donde se encuentran dado que su relación nitrógeno-fósforo es alta.

Por otro lado, la cianobacteria *Oscillatoria geminata*, siendo capaz de realizar fotosíntesis oxigénica, da lugar a formaciones conocidas como floraciones o *blooms*. Estas proliferaciones en masa ocurren en aguas eutróficas ricas en nutrientes (particularmente fosfatos, nitratos y amoníaco) bajo temperaturas medianamente altas (15 a 30 °C) y donde el pH oscila entre 6 y 9, en grandes concentraciones llegan a ser tóxicas. Con todo, las floraciones cianobacterianas necesitan aguas poco removidas y sin vientos para poder desarrollarse, como es el caso del biofloc en estudio.

El género *Microcystis*, al igual que la *Oscillatoria geminata*, se encuentra en aguas muy eutróficas como la que conforma nuestro biofloc. Es uno de los principales productores de microcistinas -toxinas implicadas en el envenenamiento de animales-, se puede presentar en condiciones de gran densidad poblacional o turbidez en el agua, influye también la temperatura del agua, así como el pH, siendo más propicias para su desarrollo las temperaturas entre 20 y 30 °C y pH neutros o básicos. Estas floraciones de cianobacterias producen efectos secundarios como por ejemplo: pueden consumir una gran cantidad de oxígeno por la respiración y por la degradación por parte de otras bacterias de la materia orgánica que se sedimenta. Esto lleva a condiciones de anoxia ocasionando la muerte de los organismos (peces por ejemplo) que viven cercanos al sedimento.

Los cambios en la estructura de las poblaciones de microalgas y rotíferos dan cuenta de lo dinámico del sistema y permiten suponer su influencia e importancia como alimento extra en los peces y sus parámetros zootécnicos en el ambiente de cultivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Sistema General de Regalías, a la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural y a la Corporación Universitaria Lasallista, que bajo el convenio de asociación No. 4600000982, permitieron la ejecución de este trabajo.

Referencias bibliográficas

- Abarca, N.; Jahn, R.; Zimmermann, J. & Enke, N. (2014). Does the cosmopolitan diatom *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing have a biogeography? *Plos One*, 9(1). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0086885>
- Arce, O.; Herbas, R.; Rivero, F. y González, A. (2006). Indicadores biológicos de calidad del agua. Recuperado de: [http://www.pnuma.org/agua-miaac/Curso%20Regional%20MIAAC/Conferencias/Dia%205%20\(14-agosto-2010\)/MIAAC%20PNUMA%20PAN%20AGO%2010%20MAX/BIBLIOGRAFIA/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf](http://www.pnuma.org/agua-miaac/Curso%20Regional%20MIAAC/Conferencias/Dia%205%20(14-agosto-2010)/MIAAC%20PNUMA%20PAN%20AGO%2010%20MAX/BIBLIOGRAFIA/indicadoresBiologicosCalidadAgua.pdf)
- Arcos, M.; Ávila, S.; Estupiñán, S. y Gómez, A. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *Nova*, 3(4), 69–79.
- Aurazo de Zumaeta, M. (2004). *Aspectos biológicos de la calidad del agua: tratamiento de agua para consumo humano: plantas de filtración rápida*. Tomo 1, 58–102. Recuperado de: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/dos.pdf>
- Azim, M. & Little, D. (2008). The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283(1-4), 29-35.
- Ballester, E.; Abreu, P.; Cavalli, R.; Emerenciano, M.; De Abreu, L. & Wasielesky, W. (2010). Effect of practical diets with different protein levels on the performance of *Farfantepenaeus paulensis* juveniles nursed in a zero exchange suspended microbial flocs intensive system. *Aquaculture Nutrition*, 16(2), 163-172.
- Bourrelly, P. (1966). *Les Algues d'eau douce: Initiation à la systématique*. Tome I: Les Algues vertes. París: Boubée & Cie.
- Bourrelly, P. (1985). *Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique*. Tome III. Les Algues bleues et Rouges. Les Eugléniens, Peridiniens et Cryptomonadines. París: Boubée & Cie.

- Cambra, J. (2002). Las diatomeas, nuevos bioindicadores de la calidad mediambiental del agua en los ríos de Cataluña. Recuperado de: <http://noticias.universia.es/ciencia-nn-tt/noticia/2002/11/06/630228/diatomeas-nuevos-bioindicadores-calidad-mediambiental-agua-rios-cataluna.html#>
- De Schryver, P.; Crab, R.; Defoirdt, T.; Boon, N. & Verstraete, W. (2008). The basics of bio-flocs technology: The added value for aquaculture. *Aquaculture*, 277(3-4), 125-137.
- Ekasari, J.; Crab, R. & Verstraete, W. (2010). Primary nutritional content of Bio-flocs cultured with different organic carbon sources and salinity. *Hayati Journal of Bioscience*, 17(3), 125-130.
- Emerenciano, M.; Ballester, E.; Cavalli, R. & Wasielesky, W. (2012). Biofloc technology application as a food source in a limited water exchange nursery system for pink shrimp *Farfantepenaeus brasiliensis* (Latreille, 1817). *Aquaculture Research*, 43(3), 447-457.
- Ebeling, J.; Timmons, M. & Bisogni, J. (2006). Engineering analysis of the stoichiometry of photoautotrophic, autotrophic, and heterotrophic removal of ammonia–nitrogen in aquaculture systems. *Aquaculture*, 257, 346-358
- Streble, H. & Krauter, D. (1987). *Atlas de los microorganismos de agua dulce: la vida en una gota de agua*. Barcelona: Omega.
- Huber–Pestalozzi, G. (1938). Das Phytoplankton des Süßwassers. In Thienemann, A.; Elster, H.-J. & Ohle, W. (Hrsg.). *Die Binnengewässer, bisher 16 Teile*. Stuttgart: Schweizerbart.
- Huber–Pestalozzi, G. (1938): Band XVI, Teil 1. Allgemeiner Teil Blaualgen. Bakterien. Pilze.
- Huber–Pestalozzi, G. (1955): Band XVI, Teil 4. Euglenophyceen. 606 S. und CXIV, Taf.
- Huber–Pestalozzi, G. (1961): Band XVI, Teil 5. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Volvocales. 774 S. CLVIII, Taf.
- Huber–Pestalozzi, G. (1976): Band XVI, Teil 2, 1. Hälfte. Chrysophyceen. Farblose Flagellaten. Heterokonten. 2. Unveränderter Nachdruck.
- Huber–Pestalozzi, G. (1983): Band XVI, Teil 7, 1. Hälfte. Von J. Komárek und B. Fott. Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales.
- Kuang, Q.; Bi, Y.; Xia, Y. & Hu, Z. (2004). Phytoplankton community and algal growth potential in Taipinghu reservoir, Anhui Province, China. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 9(2), 119-124.
- Margalef, R. (1981). *Limnología*. Barcelona: Omega.
- Montoya, Y. y Aguirre, N. (2013). Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente*, 16(3), 91–117.
- Monroy-Dosta, M.; De Lara-Andrade, R.; Castro-Mejía, J.; Castro-Mejía, G. y Coelho-Emerenciano, M. (2013). Composición y abundancia de comunidades microbianas asociadas al biofloc en un cultivo de tilapia. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 48(3), 511-520.
- Newall, P.; Bate, N. & Metzeling, L. (2006). Comparison of diatom and macroinvertebrate classification of sites in the Kiewa River system, Australia. *Hydrobiologia*, 572(1), 131-149.
- Ospina, N. y Peña, E. (2004). Alternativas de monitoreo de calidad de aguas: algas como bioindicadores. *Acta Nova*, 2(4), 513–517. <http://doi.org/10.4067/S0716-078X2007000200008>
- Okabe, S. & Watanabe, Y. (2000). Structure and function of growth culture evaluation of *Daphnia magna* feed with *Saccharomyces cerevisiae* enrichment with oat soy nitrifying biofilms as determined by in situ hybridization and the presence of microelectrodes. *Water Sci Technol*, 42, 21-32.
- Prescott, G.; Croasdale, E. & Vinyard, W. (1982). *A Synopsis of North American Desmids*. Part II. Desmidiaceae: Placodermatae Section 4. Nebraska: University of Nebraska Press.
- Quiroz, H.; Mora, M.; Molina, I. y García, J. (2004). Variación de los organismos fitoplanctónicos y la calidad del agua en el lago Chapala, Jalisco, México. *Acta Universitaria*, 14 (1), 47 – 57.
- Ramírez, J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Roldán, G. (1992). *Fundamentos de limnología neotropical*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- Ray, A.; Lewis, B.; Browdy, C. & Leffler, J. (2010). Suspended solids removal to improve shrimp (*Litopenaeus vannamei*) production and an evaluation of a plant-based feed in minimal-exchange, superintensive culture systems. *Aquaculture*, 299(1-4), 89-98.
- Schweitzer, R.; Arantes, R.; Baloi, M. F.; Costodio, P. F. S. ; Arana, L. V.; Seiffert, W. & Andreatta, E. (2013). Use of artificial substrates in the culture of *Litopenaeus vannamei* (Biofloc System) at different stocking densities: Effects on microbial activity, water quality and

- production rates. *Aquacultural Engineering*, 54, 93-103.
- Seeligmann, C.; Tracanna, B.; Martínez, S. e Isasmendi, S. (2001). Algas fitoplanctónicas en la evaluación de la calidad del agua de sistemas lóticos en el noroeste argentino. *Limnética*, 20(1), 123–133.
 - Shannon C. (1948). *The Mathematical Theory of Communication*. Illinois: University of Illinois.
 - Simpson, H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163, 688.
 - Strebel, H. & Krauter, D. (1988). *Das Leben im Wassertropfen. Mikroflora und Mikrofauna des Süßwassers. Franckh- Kosmos Naturführer*. Stuttgart.
 - Tilman, D.; Wedin, D. & Knops, J. (1996). Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. *Nature*, 379, 718-720.
 - Wetzel, R. & Likens, G. (1990). *Limnological Analyses*. London: Springer-Verlag.