



Diversidad de generos del fitoplancton del embalse de betania– huila y su importancia como bioindicadores

Diversity of Phytoplankton of the Water Reservoir of Betania-Huila and its Importance as Bioindicators

Diversidade dos Generos do Fitoplâncton nel Reservatório do Betania-Huila e Sua Importância como Bioindicadores

Paula Martinez Silva¹

Juan Felipe Delgado Fonseca²

Jorge Leonardo Muñoz Yustres³

Fecha de recepción: marzo 2016

Fecha de aceptación: abril 2016

Para citar este artículo: Martinez, P.M., Delgado, J.F. y Muñoz, J.L. (2016). Diversidad de generos del fitoplancton del embalse de betania– huila y su importancia como bioindicadores. *Revista Científica*, 25, 241-251. **Doi:** [10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a8](http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a8)

Resumen

El embalse de Betania es uno de los ecosistemas estratégicos del departamento del Huila, Colombia, siendo de vital importancia no solo para la generación de energía sino para la producción piscícola desde hace treinta años. Sin embargo, actividades como la piscicultura, el vertimiento de aguas residuales generadas por las actividades agrícolas que se llevan a cabo en las zonas aledañas al embalse generan un deterioro en la calidad del agua y una aceleración en el proceso de eutrofización. En esta investigación, se hicieron muestreos de fitoplancton a lo largo de un año con el fin de establecer mediante el uso de bioindicadores el estado actual de este cuerpo hídrico y la variación espacial y temporal que se presenta entre los géneros y especies de microalgas presentes en las diez estaciones de muestreo en los diferentes muestreos. Al final de

los análisis cualitativos, cuantitativos y estadísticos, se evidenció que existe un estado de eutrofización avanzado para todo el embalse y que las diferencias en cuanto a la composición de especies de algas no varían significativamente ni entre estaciones ni entre meses. Se recomienda disminuir la intensidad de cultivo de las piscícolas, implementar jornadas de limpieza de los alrededores del embalse y en lo posible implementar un sistema de biorremediación para carga orgánica empleando algas o macrófitas.

Keywords: Calidad del agua, ecosistema, eutrofización, fitoplancton.

Abstract

The Betania reservoir of water is one of the strategic ecosystems of the Huila department, being of vital importance not only for the generation of electricity but for the production of fish which is the main

1. Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA. Neiva, Huila Colombia. Contacto: paula.martinez@corhuila.edu.co

2. Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico Piscícola Surcolombiano ACUAPEZ. Neiva, Huila Colombia. Contacto: ingambiental.acuapez@gmail.com

3. Corporación Universitaria del Huila-CORHUILA. Neiva, Huila Colombia. Contacto: leonardoyus@hotmail.com

activity for the last thirty years. Nevertheless, activities such as pisciculture, the dumping of wastewater generated by agricultural activities, have diminished the quality of the water and accelerated the eutrophication process. In this research, phytoplankton samples were taken along one year with the objective to establish through the use of bioindicators, such as microalgae, the actual state of this water body as well as the spatial – temporal variation of species and genres of algae amongst stations and samplings.

Palabras Clave: Ecosystem, eutrophication, phytoplankton, water quality.

Resumo

O reservatório do agua Betania é um dos ecossistemas estratégicos do Huila departamento, sendo de vital importância não só para a geração de energia, mas para a produção de peixe por trinta anos o mais. No entanto, as atividades como a piscicultura, o despejo de águas residuais geradas pelas atividades agrícolas, levaram a uma deterioração da qualidade da água e uma aceleração no processo de eutrofização. Neste estudo, amostras de fitoplâncton foram feitas durante mais de um ano para estabelecer usando bioindicadores o estado atual deste corpo de água e a variação espacial e temporal que ocorre entre gêneros e espécies de microalgas presente em dez estações de amostragem em diferentes amostras. No final da análise qualitativa, quantitativa e estatística evidenciou que um estado de adesão avançada em torno do reservatório e as diferenças na composição de espécies de algas não variaram significativamente entre as estações ou meses. Recomenda-se para diminuir a intensidade de cultivo em peixes, programar limpezas no reservatório e, possivelmente, programar medidas de biorremediação carga orgânica utilizando algas e plantas aquáticas.

Palavras chave: Ecossistema, eutrofização, fitoplâncton, qualidade da água.

Introducción

El embalse de Betania fue construido sobre el cauce del río Magdalena en 1987, el cual almacena los aportes hídricos de los ríos Yaguará y Magdalena,

con una extensión del espejo de agua de 7.400 Ha. (Rueda et al., 2008). Actualmente el embalse se utiliza para la generación de energía, turismo y producción piscícola a través de cultivos intensivos en jaulas flotantes de Tilapia (*Oreochromis* sp.), siendo esta última la que más genera cambios a corto, mediano y largo plazo de las condiciones limnológicas del ecosistema.

Durante el llenado y funcionamiento del embalse de Betania, se han llevado a cabo estudios de seguimiento y control de las características físico-químicas y biológicas del agua, con el objetivo de evaluar la calidad ambiental del embalse y los efectos que puedan tener las actividades antrópicas y naturales sobre la dinámica del ecosistema acuático (Duque & Donato, 1988).

Con el represamiento de un río, ocurren cambios, tanto en los factores bióticos como abióticos, que pueden ser acelerados por la acción antrópica alterando los ciclos biológicos naturales (CALA, 1995), La eutrofización es uno de los problemas con mayor repercusión sobre los cuerpos de agua y el medio ambiente (Dolbeth *et al.*, 2003), esta ocasiona cambios en la diversidad y la abundancia de las especies (Lang, 1997; Agatz, Asmus & Deventer, 1999; Weithoff, Lorke & Walz, 2000; Dolbeth *et al.*, 2003), que funcionan como bioindicadores de calidad del agua.

El empleo de bioindicadores es una técnica ecológica que se sustenta en la medición de la diversidad y presencia o ausencia de organismos específicos en la columna de agua (De La Lanza et al., 2000), lo cual permite observar y evaluar el comportamiento ecológico del embalse con relación a las descargas de desechos líquidos y sólidos producto de la actividad agroindustrial y doméstica en el área de influencia.

Entre las comunidades más importantes se encuentran la fitoplanctónica que debido a la sensibilidad al cambio y facilidad de estudio, tienen un papel fundamental en la calidad del agua como bioindicador de procesos de eutrofización y contaminación. La prontitud con la cual responden las algas obedece a que presentan ciclos de vida muy

cortos (horas o días), lo que genera que reaccionen rápidamente ante los cambios fisicoquímicos del agua (Ramírez, 2000; Pérez, 2002; Vásquez, Ariza & Pinilla, 2016).

El presente trabajo describe los resultados preliminares obtenidos durante 1 año de estudio y monitoreo del Fitoplancton en el marco del proyecto de investigación “Diseño e Implementación de un Biomodelo para Evaluar el Comportamiento Ambiental y Productivo del Embalse de Betania como Herramienta de Mejora para la Productividad Piscícola”

En este documento se analizó la diversidad de especies de fitoplancton que habitan en el embalse de Betania, su variabilidad espacial y temporal, y la importancia como bioindicadores de la calidad del agua; todo direccionado a brindar una herramienta de apoyo para la evaluación, implementación y fomento de la piscicultura sostenible en el embalse.

Metodología

Colección de muestras

Las muestras de fitoplancton se tomaron utilizando una botella horizontal tipo Van – Dorn de 2,2 litros, para coleccionar muestras combinadas de agua (estrato superficial (20 cm.), medio (profundidad del disco secchi) y fondo (tres veces la profundidad del disco secchi)). Los muestreos se realizaron bimestralmente en diez (10) estaciones ubicadas en el embalse de Betania (Fig. 1) durante un periodo de un año comprendido entre Julio de 2014 a Agosto de 2015. Se tomaron 150 mililitros de cada muestra y se fijaron en campo con solución Transeau en proporción 1:1.

Análisis cualitativo y cuantitativo de las muestras

Una vez en el laboratorio las muestras se analizaron siguiendo la metodología de Utermöhl (1958). Se trabajó con un microscopio invertido (Olympus CKX31), una cámara o cubeta de sedimentación

de 50 mililitros, formularios para anotar el recuento de las especies con la ayuda de las listas taxonómicas de la página web algaebase.org, las claves taxonómicas para identificación de microalgas acuáticas (Bicudo & Menezes, 2006; Streble, H., & Krauter, D. 1987; Whitford, L. A., & Schumacher, G. J. 1969) y la consulta con expertos de la Universidad Nacional de Colombia (Marta Chapparro), espacios donde anotar el recuento y guías de identificación e iconografías adecuadas al ámbito de estudio. Las muestras se dejaron aclimatar por un periodo de 12 horas previo a su análisis, con el fin de limitar corrientes de convección y favorecer la distribución al azar del fitoplancton sedimentado en la muestra. Además, cada muestra se homogenizó manualmente por una sola persona durante un periodo de tres minutos, combinando giros horizontales y verticales. El análisis cualitativo del fitoplancton, consiste en realizar un inventario de taxones, generando una lista de especies; una vez hecho esto se procede al análisis cuantitativo de las mismas en la cual se hace un recuento del número de individuos por taxón utilizando la metodología de recuentos por campos, utilizando la cuadrícula del ocular y contando un número determinado de campos ópticos elegidos al azar hasta completar 500 individuos por muestra (Vicente et al., 2005). El nivel taxonómico empleado en esta investigación fue el de especie, varios taxones tuvieron que dejarse a nivel de género. El recuento se hizo utilizando toda la cubeta de sedimentación, debido a la presencia de varias especies poco representadas; no se presentaron casos con pocos organismos, por lo cual no fue necesario aumentar el volumen de sedimentación. Para el cálculo de la concentración de fitoplancton se empleó la siguiente fórmula (Vicente et al., 2005).

$$N = X \times \frac{(A)}{(a \times v)}$$

Dónde:

N = número de células en la muestra (cel/ml)

X = número total de células de la cámara

A = área de la cámara
 v = volumen de muestra sedimentado en la cámara
 a = área del campo óptico o de la cuadrícula

Análisis de Diversidad

Se aplicaron algunos índices ecológicos de diversidad alfa y beta, para alfa se utilizaron el índice de Margalef, Shannon-weiner y Equidad de Pielou (Tabla II. y Tabla III) y para diversidad beta el índice de Sorensen y Magurran, 1998 (Tabla IV.).

primera Hipótesis Nula establece que no existe diferencia significativa entre las medias del número de individuos obtenido entre las estaciones y la segunda Hipótesis Nula establece que no existe diferencia significativa entre las media del número de individuos obtenido en los diferentes meses de muestreo. El ANOVA se hizo utilizando el programa QtiPlot para UBUNTU 15.0 (de distribución gratuita). Para poder realizar el ANOVA primero se normalizaron los datos, cuya distribución no era normal y se utilizó un intervalo de confianza del 99.5% debido a la amplia distribución de los datos (Stiles, 1998).

Análisis de bioindicación

Utilizando artículos científicos (Martínez, 2015; Hernández-Atilano et al., 2008; De León, L. 2002) y literatura especializada (Ramírez, 2000; Streble, H., & Krauter, D. 1987; Whitford, L. A., & Schumacher, G. J. 1969) se buscó que tipo de contaminación puede estar mostrando los géneros de microalgas más abundantes e identificados durante el estudio.

Resultados

Durante el periodo comprendido entre Julio de 2014 a agosto de 2015 se identificaron en el embalse de Betania 14 clases de algas, las cuales abarcan 54 familias y contienen 76 géneros, cuyos nombres se relacionan en la Tabla 1.

Las especies de algas más abundantes fueron: *Nitzschia* sp, *Eudorina elegans*, *Tetraedron trigonum*, *Staurastrum chaetoceras*, *Staurastrum tetra-cerum*, *Melosira crenulata*, *Melosira granulata*, *Melosira italica*, *Microcystis aeruginosa*, *Choococcus turgidus*, *Anabaena circinalis*, *Sp.irulina platen-sis*, *Ceratium* sp. y *Fragilaria capucina*.

A continuación se presenta los resultados por índices de diversidad alfa y beta correspondientes al análisis realizado a la especies de algas identificadas en las diez (10) estaciones de muestreo.

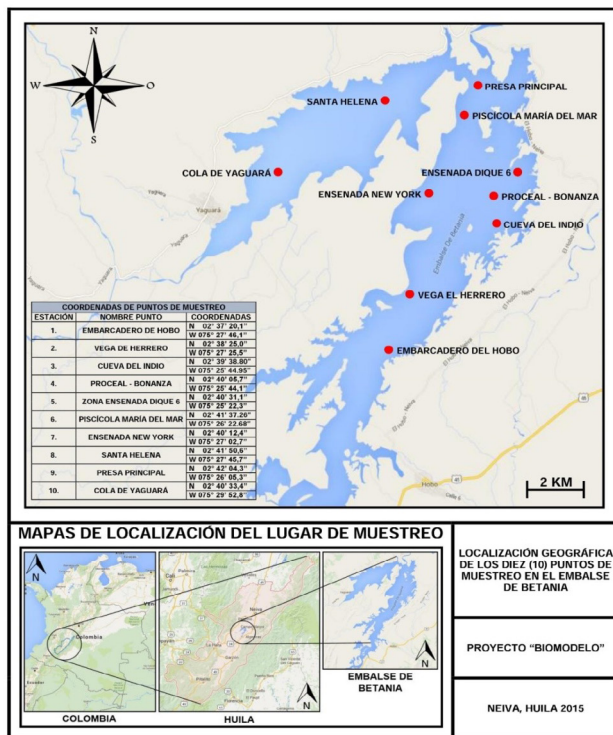


Figura 1. mapa de las estaciones de muestreo escogidas en el embalse.

Fuente: ACUAPEZ, 2015.

Análisis Estadístico

Se realizó un análisis de varianza simple ANOVA con el fin de comprobar dos Hipótesis que nos permitieron demostrar si existe variación espacial (entre estaciones) o temporal (entre meses) entre el número promedio de individuos colectados; la

Tabla 1. Especies de algas encontradas en el embalse de Betania.

Clase	Orden	Familia	Género	Especie
BACILLARIOPHYCEAE	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia</i>
		Cocconeidaceae	<i>Cocconeis</i>	<i>Cocconeis placentula</i>
	Naviculales	Amphipleuraceae	<i>Amphipleura</i>	<i>Amphipleura pellucida</i>
		Naviculaceae	<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma acuminatum</i>
			<i>Pleurosigma</i>	<i>Pleurosigma elongatum</i>
		Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia biceps</i>
		Naviculaceae	<i>Navicula</i>	<i>Navicula phyllepta</i>
		Cymbellaceae	<i>Cymbella</i>	<i>Cymbella ventricosa</i>
	Cymbellales	Gomphonemataceae	<i>Gomphonema</i>	<i>Gomphonema parvulum</i>
	Surirellales	Surirellaceae	<i>Surirella</i>	<i>Surirella robusta</i>
	Chaetophorales	Chaetophoraceae	<i>Stigeoclonium</i>	<i>Stigeoclonium helveticum</i>
		Chlamydomonadaceae	<i>Chlamydomonas</i>	<i>Chlamydomonas</i> sp.
	Chlamydomonadales	Volvocaceae	<i>Eudorina</i>	<i>Eudorina elegans</i>
			<i>Pandorina</i>	<i>Pandorina morum</i>
Sphaerocystidaceae		<i>Sp.haerocystis</i>	<i>Sp.haerocystis</i> sp.	
		<i>Pediastrum</i>	<i>Pediastrum clathratum</i>	
		<i>Pediastrum</i>	<i>Pediastrum duplex</i>	
		<i>Pediastrum</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	
Hydrodictyceae		<i>Pediastrum</i>	<i>Pediastrum tetra</i>	
		<i>Tetraedron</i>	<i>Tetraedron trigonum</i>	
Neochloridaceae		<i>Golenkinia</i>	<i>Golenkinia</i> sp.	
		<i>Coelastrum</i>	<i>Coelastrum reticulatum</i>	
	<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>		
	<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus ecornis</i>		
Sphaeropleales	Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus maximus</i>	
		<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	
	<i>Eudorina</i>	<i>Eudorina</i> sp.		
	Chlamydomonadales	Volvocaceae	<i>Volvox</i>	<i>Volvox</i> sp.
		Sphaeropleales	Selenastraceae	<i>Ankistrodesmus</i>
<i>Selenastrum</i>	<i>Selenastrum gracile</i>			
CHLOROPHYCEAE	Chromulinales	Dinobryaceae	<i>Dinobryon</i>	<i>Dinobryon</i> sp.
	Hibberdiales	Stylococcaceae	<i>Diceras</i>	<i>Diceras</i> sp.
			<i>Closterium</i>	<i>Closterium acutum</i>
	Closteriaceae	<i>Closterium</i>	<i>Closterium moniliferum</i>	
		<i>Arthrodesmus</i>	<i>Arthrodesmus octocornis</i>	
		<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium</i> sp.	
	Desmidiales	Desmidiaceae	<i>Euastrum</i>	<i>Euastrum ansatum</i>
<i>Staurastrum</i>			<i>Staurastrum chaetoceras</i>	
<i>Staurastrum</i>		<i>Staurastrum tetracerum</i>		
<i>Staurodesmus</i>		<i>Staurodesmus cusp.idus</i>		
<i>Xanthidium</i>		<i>Xanthidium octocorne</i>		
CONJUGATOPHYCEAE	Desmidiales	Desmidiaceae	<i>Bambusina</i>	<i>Bambusina</i> sp.
			<i>Cosmocladium</i>	<i>Cosmocladium</i> sp.
	Zygnematales	Gonatozygaceae	<i>Gonatozygon</i>	<i>Gonatozygon kinahani</i>
		Zygnemataceae	<i>Sp.irogyra</i>	<i>Sp.irogyra</i> sp.
		<i>Zygnema</i>	<i>Zygnema</i> sp.	

		Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	<i>Melosira crenulata</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Melosira ítica</i>
COSCINODISCOMPHYCEAE	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>	
	Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae	<i>Urosolenia</i>	<i>Urosolenia</i> sp.	
		Chroococcaceae	<i>Chroococcus</i>	<i>Chroococcus turgidus</i>	
	Chroococcales		<i>Anacystis</i>	<i>Anacystis</i> sp.	
		Microcystaceae	<i>Gloeocapsa</i> <i>Microcystis</i>	<i>Gloeocapsa</i> sp. <i>Microcystis aeruginosa</i>	
	Nostocales	Nostocaceae	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena</i> sp.	
		Aphanizomenonaceae	<i>Aphanizomenon</i>	<i>Anabaena circinalis</i> <i>Aphanizomenon</i> sp.	
		Gloeotrichiaceae	<i>Gloeotrichia</i>	<i>Gloeotrichia</i> sp.	
	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	<i>Lyngbya</i> <i>Oscillatoria</i>	<i>Lyngbya lutea</i> <i>Oscillatoria</i> sp.	
CYANOPHYCEAE	Synechococcales	Merismopediaceae	<i>Aphanocapsa</i>	<i>Aphanocapsa</i> sp.	
	Spirulinales	Spirulinaceae	<i>Sp.irulina</i>	<i>Sp.irulina platensis</i>	
		coelosphaeriaceae	<i>coelosp.haerium</i>	<i>Coelosp.haerium</i> <i>naegelianum</i>	
	Synechococcales	Pseudanabaenaceae	<i>Pseudanabaena</i>	<i>Pseudanabaena</i> sp.	
		Merismopediaceae	<i>Merismopedia</i>	<i>Merismopedia</i> sp.	
	Peridinales	Peridiniaceae	<i>Peridinium</i>	<i>Peridinium cunningtonii</i> <i>Peridinium cinctum</i>	
DINOPHYCEAE	Gymnodiniales	Gymnodiciaceae	<i>Gymnodinium</i> <i>Amphiceratium</i>	<i>Gymnodinium excavatum</i> <i>Amphiceratium</i> sp.	
	Gonyaulacales	Ceratiaceae	<i>Ceratium</i>	<i>Ceratium</i> sp.	
			<i>Euglena</i>	<i>Euglena acus</i> <i>Euglena oxyuris</i> <i>Euglena polymorpha</i>	
		Euglenaceae		<i>Trachelomonas</i> <i>acanthostoma</i> <i>Trachelomonas</i> <i>acanthophora</i>	
			<i>Trachelomonas</i>	<i>Trachelomonas hisp.ida</i> <i>Trachelomonas volvocina</i>	
EUGLENOPHYCEAE	Euglenales			<i>Phacus longicauda</i> <i>Phacus pleuronectes</i> <i>Phacus triqueter</i>	
		Phacaceae	<i>Phacus</i>		
	Licmophorales	Ulnariaceae	<i>Synedra</i>	<i>Synedra ulna</i>	
FRAGILARIOPHYCEAE	Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Asterionella</i>	<i>Asterionella formosa</i>	
	Fragilariales	Fragilariaceae	<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria capucina</i>	
	Tabellariales	Tabellariaceae	<i>Tabellaria</i> <i>Actinastrum</i> <i>Closteriopsis</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Actinastrum</i> sp. <i>Closteriopsis longissima</i>	
	Chlorellales	Chlorellaceae	<i>Dictyosp.</i> <i>haerium</i> <i>Micractinium</i> <i>Oocystis</i>	<i>Dictyosp.haerium pulchellum</i> <i>Micractinium</i> sp. <i>Oocystis</i> sp.	
TREBOUXIOPHYCEAE		Oocystaceae			
MEDIOPHYCEAE	Trebouxiales	Botryococcaceae	<i>Botryococcus</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	
KLEBSORMIDIOPHYCEAE	Thalassiosirales	Stephanodiscaceae	<i>Cyclotella</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	
SYNUROPHYCEAE	Klebsormidiales	Elakatothricaceae	<i>Elakatothrix</i>	<i>Elakatothrix genevensis</i>	
	Synurales	Mallomonadaceae	<i>Mallomonas</i>	<i>Mallomonas</i> sp.	
XANTHOPHYCEAE	Mischococcales	phiocytaceae	<i>Ophiocytium</i>	<i>Ophiocytium cochleare</i>	

Tabla 2. índices ecológicos para los meses de muestreo.

	julio 2014	agosto 2014	octubre 2014	diciembre 2014	marzo 2015	mayo 2015	agosto 2015
Total de especies	24	27	19	18	44	50	46
Índice de Margaleff	2,391	2,433	1,599	1,517	3,841	4,144	4,151
Índice de Shannon/ wiener	2,177	1,919	1,560	1,675	2,454	2,811	2,241
Índice de equidad de Pielou	0,514	0,453	0,368	0,396	0,580	0,664	0,529

Tabla 3. índices ecológicos para las estaciones.

	Embarcadero del Hobo	Vega del Herrero	Cueva del Indio	Proceal – Bonanza	Ensenada Dique 6	Piscícola María del Mar	Ensenada New York	Santa Helena	Presa Principal	Cola de Yaguará
Número total de especies	39	43	58	49	50	48	47	38	50	43
Índice de Margaleff	3,661	3,886	5,320	4,336	4,493	4,145	4,221	3,387	4,520	3,739
Índice de Shannon-Wiener	2,344	2,374	2,608	2,691	2,727	2,759	2,699	2,662	2,616	2,637
Índice de equidad de Pielou	0,554	0,561	0,616	0,636	0,644	0,652	0,638	0,629	0,618	0,623

Tabla 4. índice de Sorensen y Magurran.

	Vega Del Herrero	Cueva Del Indio	Proceal – Bonanza	Ensenada Dique 6	Piscícola María Del Mar	Ensenada New York	Santa Helena	Presa Principal	Cola De Yaguará
Embarcadero del Hobo	0,85	0,78	0,84	0,81	0,78	0,84	0,91	0,83	0,83
Vega del Herrero		0,81	0,87	0,86	0,88	0,91	0,89	0,88	0,88
Cueva Del Indio			0,88	0,81	0,89	0,86	0,88	0,91	0,85
Proceal – Bonanza				0,91	0,89	0,90	0,94	0,89	0,89
Ensenada Dique 6					0,88	0,89	0,91	0,88	0,88
Piscícola María del Mar						0,86	0,95	0,94	0,88
Ensenada New York							0,92	0,89	0,84
Santa Helena								0,95	0,94
Presa Principal									0,90

En cuanto al análisis estadístico, se sometieron a prueba las dos hipótesis nulas planteadas inicialmente, cada una con un nivel de significancia de 0.05; Hipótesis Nula 1: No existe una diferencia significativa en las medias de número de individuos entre las estaciones de muestreo, en la cual se obtuvo un valor p de 0.035493 y por ende se acepta la hipótesis nula; Hipótesis Nula 2: No existe una diferencia significativa en las medias de

número de individuos entre los meses de muestreo, en la cual se obtuvo un valor p de 0.046619, y por consiguiente se acepta la hipótesis nula.

Discusión

El índice de Margalef realizado a los meses de muestreo nos deja ver un índice de biodiversidad media para la mayoría de los meses, siendo

muy baja la diversidad en los meses de Octubre de 2014 y diciembre de 2014, probablemente debido a un aumento en las precipitaciones (IDEAM) lo que aumenta el caudal y los patrones ecológicos a los que se habían adaptado las comunidades algales afectando su abundancia y diversidad. En cuanto a las estaciones la mayoría presentan un índice de diversidad media a excepción de la Cueva del Indio donde el resultado obtenido está por encima de 5 mostrando que es la estación de mayor diversidad, lo cual puede explicarse por la velocidad de los vientos y las corrientes de agua que transportan comunidades desde otras zonas del embalse enriqueciendo los muestreos.

El índice ecológico de Shannon-Wiener realizado para evaluar la diversidad en los meses corrobora el índice anterior mostrando una diversidad media tanto para meses como para estaciones, siendo Mayo el mes con el mayor valor de diversidad, lo que coincide con un aumento en la precipitación y puede relacionarse con una disminución en el estrés del sistema disminuyéndose la contaminación por los vertimientos de aguas servidas, la materia orgánica producida por las actividades piscícolas y el agua con fertilizantes proveniente de los cultivos aledaños al embalse. En cuanto a las estaciones, El Embarcadero del Hobo y Vega del Herrero presentan valores muy bajos lo que se traduce en niveles de contaminación altos, debido a que son las estaciones con menor profundidad y por ende la acumulación de contaminantes es mayor y la proliferación de solo algunos grupos de algas es más notable

El índice de Pielou refuerza lo que muestran los dos índices anteriores, arrojando valores más bajos para los meses de mayor sequía y para las estaciones de menor profundidad indicando que existe predominancia de unas pocas especies.

Finalmente el índice de Sorensen muestra que existe una similitud biológica alta entre todas las estaciones, lo cual es lógico si se tiene en cuenta que el embalse tiene corrientes de agua que permiten el flujo del fitoplancton entre las estaciones,

incluso para aquellas estaciones que se encuentran relativamente aisladas que cuentan con sistemas de ventilación lo que genera corrientes de agua que permiten el flujo continuo de las comunidades de algas. Es importante resaltar que, aunque los parámetros fisicoquímicos en todo el cuerpo de agua si pueden variar, (Duque & Donato, 1988), no se evidencian en esta investigación variaciones en cuanto a la composición fitoplanctónica en las estaciones de muestreo.

En cuanto al análisis estadístico de los datos, podemos afirmar que no existe una variación espacial (entre estaciones) ni temporal (entre meses) en cuanto al número promedio de individuos muestreado. Sin embargo, es importante aclarar que se observa una disminución en la concentración de individuos de algas en los meses de Junio, Julio y Agosto por temporada de lluvias, y de igual manera existe un aumento en dicha concentración durante la temporada más seca del año, que corresponde a los meses de Octubre a Marzo. Por otra parte se podrían realizar los análisis estadísticos utilizando un intervalo de confianza más bajo para validar los resultados.

Los géneros mas abundantes de microalgas encontrados son en general géneros de algas que viven en aguas eutrofizadas lo que refleja y comprueba la preocupación original de esta investigación, y es que efectivamente hay un fenómeno de eutrofización en el embalse, que desafortunadamente se está acelerando con el incremento de la sequía y con la construcción del embalse del Quimbo que durante su etapa de llenado le ha quitado una importante entrada de agua al embalse de Betania y que además le está aportando nuevas cargas orgánicas. Por otra parte, muchas de estas microalgas (*Ceratium sp*, *Anabaena sp.*) y cianobacterias como *Microcystis* más abundantes producen toxinas que son perjudiciales no solo para los peces sino para los humanos, como las microcistinas, que afectan principalmente las células del hígado (De León, 2002), anatoxinas y saxitoxinas, que son neurotóxicas y actúan como bloqueadores musculares y neuronales (Lucena,

2008; Hernández & Gárate, 2006). Por otra parte, géneros como *Ceratium* han sido asociados con la mortalidad de gran variedad de organismos acuáticos (entre los que se cuentan peces enjaulados) y la disminución de la calidad del agua (Vargas & Freer, 2004).

En cuanto a los géneros de microalgas más abundantes en el embalse de Betania y su importancia como bioindicadores de la calidad de agua, la mayoría de ellas arrojan información sobre el tipo de contaminación presente. *Microcystis* sp. y *Melosira* sp. muestran que existe un enorme aporte de aguas residuales y por ende alta concentración de materia orgánica (Pizzolon, 1996; Vasquez, Ariza & Pinilla 2006); *Anabaena* sp. es resíste a altas concentración de Nitrógeno y Fosforo (Guillen, 2010); *Nitzschia* sp. y *Eudorina* sp. reflejan una alta carga de materia orgánica (Cruz & Avila, 2010) *Tetraedron* sp., *Staurastrum* sp. y *Choococcus* sp. Proliferan mejor en aguas con condiciones oligotróficas (Duque, 2000; Valderrey, 2015). *Ceratium* sp. muestra alta carga de materia orgánica y está asociado con la mortalidad de organismos acuáticos y la disminución de la calidad de agua (Vargas, Maribelle & Freer, 2004).

Conclusiones

Se encontraron en total 14 clases, 39 ordenes, 54 familias, 76 géneros y 98 especies de microalgas en el embalse de Betania a lo largo de esta investigación. Los índices ecológicos muestran en general una diversidad media / baja lo que refleja junto con el análisis de los géneros más abundantes el grado de eutrofización del embalse, causado por el aporte de aguas residuales provenientes de actividades agrícolas y mayormente carga orgánica proveniente de actividades piscícolas. Las algas más abundantes están todas relacionadas con algún tipo de contaminación y son útiles como bioindicadores de la calidad de agua; sin embargo la literatura con respecto a su uso como bioindicadores sigue siendo escasa.

Agradecimientos

Los autores queremos expresar nuestro agradecimiento con el Laboratorio de Limnología de la Corporación Universitaria del Huila “CORHUILA”, por prestarnos las instalaciones e insumos de laboratorio necesarios durante esta investigación y a la Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico Piscícola Surcolombiano – ACUAPEZ por la colaboración en cuanto a la toma de muestras y el aporte de la cartografía.

Referencias Bibliográficas

- Agatz, M., Asmus, R. M., & Deventer, B. (1999). Structural changes in the benthic diatom community along a eutrophication gradient on a tidal flat. *Helgoland Marine Research*, 53(2), 92-101.
- Algaebase: Listing the World's Algae. (2016). Algaebase.org. <http://www.algaebase.org/>
- Bicudo, C. E. D. M., & Menezes, M. (2006). *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. Rima.
- Cala, P. (1995). Trophic levels of the most abundant fishes of the Betania Reservoir, Upper Rio Magdalena, Colombia. *Acta Biologica Venezuelica*, 16(1), 47-53.
- Cruz Sánchez, M. E. (2011). Identificación de bioindicadores de la laguna de Zupitlán Municipio de Acatlán, Hgo. México.
- Cruz Sánchez, M. E. (2011). Identificación de bioindicadores de la laguna de Zupitlán Municipio de Acatlán, Hgo. México.
- De la Lanza-Espino, G., Pulido, S. H., & Pérez, J. L. C. (2000). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*. Plaza y Valdés.
- De León, L. (2002). Floraciones de cianobacterias en aguas continentales del Uruguay: causas y consecuencias. *Perfil Ambiental del Uruguay*, 28-37.
- Dolbeth, M., Pardal, M. A., Lillebø, A. I., Azeiteiro, U., & Marques, J. C. (2003). Short-and

- long-term effects of eutrophication on the secondary production of an intertidal macrobenthic community. *Marine Biology*, 143(6), 1229-1238.
- Duque, S. R., & Avellaneda, M. N. (2000). Microalgas acuáticas de la Amazonía colombiana. *Biota Colombiana*, 1(2), 208-216.
- Duque, S., & Donato, J. C. (1988). Estudio del fitoplancton durante las primeras etapas de llenado del embalse de la central hidroeléctrica de Betania, Huila-Colombia. *Universitas Scientiarum*, 1(2), 29-52.
- Guillen, A., (2010), Biodiversidad virtual / Mundo microscopio, Anabaena, recuperado de: <http://www.biodiversidadvirtual.org/micro/Anabaena-img163.html>
- Hernández-Atilano, E., Aguirre, N. J., Palacio, J. A., & Ramírez-Restrepo, J. J. (2008). Variación espacio-temporal de la asociación fitoplanctónica en diferentes momentos del pulso hidrológico en la ciénaga de Ayapel (Córdoba), Colombia. *Actualidades Biológicas*, 30(88), 67-81.
- Hernández-Orozco, M. L., & Gárate-Lizárraga, I. (2006). Síndrome de envenenamiento paralizante por consumo de moluscos. *Rev Biomed*, 17, 45-60.
- IDEAM. (2016). *Ideam.gov.co*. <http://www.ideam.gov.co>
- Lang, C. (1997). Oligochaetes, organic sedimentation, and trophic state: how to assess the biological recovery of sediments in lakes? *Aquatic sciences*, 59 (1), 26-33.
- Lucena, E. (2008). Aspectos sanitarios de las cianotoxinas. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 8, 291-302.
- Martínez, M. P. (2015). Variación espacio-temporal de microalgas acuáticas del embalse de Betania–Huila y su relación con la calidad del agua. *Intropica: Revista del Instituto de Investigaciones Tropicales*, 10(1), 11-19.
- Pérez, M. D. C. (2002). Fitoplancton del río Negro, Uruguay. *Limnetica*, 21(1-2), 81-92.
- Pizzolon, L. I. N. O. (1996). Importancia de las cianobacterias como factor de toxicidad en las aguas continentales. *Interciencia*, 21(6), 239-245.
- Restrepo, J. J. R. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Universidad de Antioquia.
- Rueda, G., Ruiz, E., Rodríguez, O., Duque, S., Cubillos C., León, P., Perdomo, W., Sánchez, S., Morales, D., Hermosilla, S., Mariner, K., Betancourt, V., Morales, R., & Ramírez, A. (2008). Estudios Limnológicos Para El Ordenamiento Piscícola Del Embalse De Betania, Universidad Jorge Tadeo Lozano - Facultad de Ciencias Naturales - Programa de Biología Marina.
- Stiles, F. G. (1998). "Guía de campo de la estadística para estudiantes de ecología". Instituto de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Colombia. Notas de clase, 153.
- Streble, H., & Krauter, D. (1987). *Atlas de los microorganismos de agua dulce: La vida en una gota de agua*. Omega.
- Valderrey, J., (2015), *Chroococcus turgidus* (kützing) nageli, [asturnatura.com](http://www.asturnatura.com) (en línea) num. 220, disponible en <http://www.asturnatura.com/especie/chroococcus-turgidus.html>. ISSN 1887-5068
- Vargas-Montero, M., & Freer, E. (2004). Presencia de los dinoflagelados *Ceratium dens*, *C. fusus* y *C. furca* (Gonyaulacales: Ceratiaceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 52, 115-120.
- Vargas-Montero, M., & Freer, E. (2004). Presencia de los dinoflagelados *Ceratium dens*, *C. fusus* y *C. furca* (Gonyaulacales: Ceratiaceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Revista de biología tropical*, 52, 115-120.
- Vásquez, C., Ariza, A., & Pinilla, G. (2006). Descripción del estado trófico de diez humedales del Altiplano Cundiboyacense. *Universitas Scientiarum*, 11(2), 61-75.
- Vásquez, C., Ariza, A., & Pinilla, G. (2006). Descripción del estado trófico de diez humedales del Altiplano Cundiboyacense. *Universitas Scientiarum*, 11(2), 61-75.

Vicente, E., Hoyos, C., Sánchez, P., & Cambra, J. (2005). Metodología para el establecimiento el estado ecológico según la directiva marco del agua. Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton. Ministerio de Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica del Ebro. Zaragoza, España.

Weithoff, G., Lorke, A., & Walz, N. (2000). Effects of water-column mixing on bacteria, phytoplankton, and rotifers under different levels of herbivory in a shallow eutrophic lake. *Oecologia*, 125(1), 91-100.

Whitford, L. A., & Schumacher, G. J. (1969). manual of the fresh-water algae in North Carolina.

