



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES**

### **CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

#### **“EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN AL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DEL LAGO SAN PABLO, ECUADOR”**

##### **AUTORAS**

CRISTINA ARACELY MIÑO ARIAS  
JENIFER ANDREA RODRÍGUEZ FUELANTALA

##### **DIRECTORA**

Ing. Elizabeth Velarde MSc

##### **ASESORES**

Ing. Melissa Layana MSc  
Ing. Renato Oquendo MSc  
Dr. Juan Carlos García PhD

**Ibarra – Ecuador  
2018**

**Lugar de investigación:** Lago San Pablo-Ecuador

**HOJA DE VIDA**



**APELLIDOS:** MIÑO ARIAS

**NOMBRES:** CRISTINA ARACELY

**C. CIUDADANÍA:** 172720244-0

**TELÉFONO CELULAR:** 0983449511

**CORREO ELECTRÓNICO:** cristina.aracely63@yahoo.es

**DIRECCIÓN:** Quito – Pichincha

**FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO:** 07 de septiembre de 2018

**HOJA DE VIDA**



**APELLIDOS:** RODRÍGUEZ FUELANTALA

**NOMBRES:** JENIFER ANDREA

**C. CIUDADANÍA:** 040163685-7

**TELÉFONO CELULAR:** 0968363627

**CORREO ELECTRÓNICO:** rodriguezjenifer05@gmail.com

**DIRECCIÓN:** Tulcán – Carchi

**FECHA DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADO:** 07 de septiembre de 2018

## EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN AL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DE LAGO SAN PABLO, ECUADOR

Cristina Miño\*, Jenifer Rodríguez\*<sup>1</sup>, Elizabeth Velarde<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Técnica del Norte

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales Av. 17 de julio 5-21 y José  
Córdova,

Ibarra-Ecuador Teléfono: 00593-6-2997800

\*Autor correspondiente: e-mail: cristina.aracely63@yahoo.es, rodriguezjenifer05@gmail.com

### RESUMEN

El desarrollo antrópico ha evidenciado un deterioro de los ecosistemas acuáticos por la pérdida de la calidad y cantidad de los recursos hídricos. Así, es importante ampliar el conocimiento de los cuerpos de agua existentes, para contribuir al manejo del recurso hídrico. El presente estudio se realizó en el lago San Pablo, con el objetivo de evaluar el estado trófico con relación al comportamiento de los parámetros físicos y biológicos. Para esto, se caracterizó las condiciones climáticas y morfológicas, para lo que se determinó los parámetros físicos, los taxones de fitoplancton y zooplancton de la columna de agua y finalmente se relacionó la información obtenida con el estado trófico. Se estableció que el área presenta dos épocas lluviosas y una seca durante el año. El lago posee una profundidad de 34,77 m, su longitud es 3,62 km, su amplitud máxima de 2,30 km. El análisis de los parámetros físicos confirmó la presencia de una termoclina entre octubre y diciembre a una profundidad de 5 a 10 m. La conductividad es constante en la columna del

agua, el oxígeno disuelto presentó valores bajos en la columna de agua con un promedio anual de 3,22 mg/L, el agua es alcalina con un pH de 8,13 y el disco Secchi con un promedio de 3,55 m. Las especies bioindicadoras más importantes del fitoplancton fueron la división Chlorophyta, Bacillariophyta y Cyanobacteria, mismas que se encuentran en lagos de características de eutrofización, en la que se destaca la presencia de *Mycrosistis Aeruginosa* especie bioindicadora que provoca floraciones de algas o blooms que representan una amenaza para la biota de un ecosistema acuático. En el caso del zooplancton, los grupos Rotífera y Copépoda reflejan condiciones de eutrofización, mientras que el grupo Cladóceras es característico de estado mesotrófico. Finalmente, el análisis de los parámetros físicos no permitió evaluar el estado trófico de un lago, mientras que los parámetros biológicos evaluaron al lago San Pablo como un ecosistema mesotrófico en un proceso de eutrofización.

**Palabras clave:** lago, parámetros físicos, parámetros biológicos, estado trófico, eutrófico.

### SUMMARY

The anthropic development has evidenced a deterioration of the aquatic ecosystems. It is important to expand the knowledge of existing water bodies to contribute to the management of water resources. The present study was performed in Lake San Pablo with the objective of evaluating the trophic state in relation to the behavior of the physical and biological parameters. We characterized the climatic and morphological conditions, the physical parameters, phytoplankton and

zooplankton taxa of the water column. And finally, the information of the physical and biological parameters was correlated with the trophic state of the lake. It was determined that the area presents two rainy seasons and one dry season during the year. The lake has a depth of 34,77 m, with a length of 3,62 km, the maximum amplitude is 2,30 km. The analysis of the physical parameters confirmed the presence of a thermocline between October and December from 5 to 10 m deep. The

conductivity is constant in the water column, the dissolved oxygen had low values in the water column with an annual average of 3,22 mg/L, the water is alkaline with a pH of 8,13 and the Secchi disk transparency had an average of 3,55 m. The important bioindicator species of phytoplankton were Chlorophyta, Bacillariophyta and Cyanobacteria, which were found in lakes with eutrophication characteristics. The presence of *Mycrosistis aeruginosa* as a bioindicator species is especially important because it causes blooms

of algae or blooms that present a threat for the biota of an aquatic ecosystem. In the case of zooplankton, the Rotifera and Copépoda groups reflect eutrophication conditions, while the Cladocera group is characteristic of the mesotrophic state. The analysis of the physical parameters did not allow an evaluation of the trophic state of the lake, while the biological parameters evaluated in Lake San Pablo are of a mesotrophic ecosystem in a process of eutrophication

**Keywords:** lake, physical parameters, biological parameters, trophic status, eutrophic.

## INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos se encuentran presentes en la biósfera en distintos ecosistemas a manera de ríos, lagos, glaciares, humedales, entre otros (Murillo, López, y Rodríguez, 2010). El recurso hídrico albergado en estos ecosistemas genera beneficios para los seres humanos pero paralelamente es condicionado por el medio físico, la dinámica atmosférica y el factor antrópico, el cual tiene una incidencia directa sobre la cantidad y calidad del recurso hídrico (Dasso *et al.*, 2014).

Los servicios ecosistémicos constituyen propiedades ecológicas que se incorporan en la producción y la distribución de beneficios materiales e inmateriales para los humanos (Quétier, Tapella, Conti, Cáceres, y Díaz, 2007). Referente al recurso hídrico, la importancia de este tipo de ecosistemas se centra sobre todo en los servicios de provisión de abastecimiento de agua para la población, además controlan y regulan la temperatura ambiental (Ramsar, 2014). Si bien, la disponibilidad del recurso propiamente aprovechable a los seres humanos se da en un porcentaje mínimo frente al total del agua presente en el planeta, considerando la incidencia del factor antrópico sobre el recurso hídrico, se genera una necesidad de conservar la calidad de los ecosistemas que contengan dicho elemento.

La eutrofización es el proceso de cambio de un estado trófico a otro de nivel superior por adición

de nutrientes, esto se ocasiona por la presencia de factores que influyen directamente para acelerar el proceso, en la mayoría de los casos la eutrofización está relacionada con la descargas de fuentes puntuales no tratadas provenientes de las áreas urbanas (Quirós, 2000). La alteración de la biota y diversidad biológica son consecuencias de la eutrofización que afectan directamente a los ecosistemas acuáticos, que a su vez generan la imposibilidad de llevar a cabo la fotosíntesis en lugares profundos de la columna de agua reduciendo la producción de oxígeno libre (Moreno, Quintero, y López, 2010).

Partir de variables físicas, químicas y biológicas permite determinar la calidad de agua, la cual puede ser evaluada valorando diferentes parámetros que pueden ser determinados individualmente o en forma grupal (Ruiz, Carvajal y Escobar, 2007).

Dentro de los componentes biológicos se encuentran el fitoplancton y el zooplancton, los cuales están directamente relacionados y son los primeros eslabones de la cadena trófica en los ecosistemas acuáticos. Cuando un ecosistema está alterado por el proceso de la eutrofización, la energía que ingresa al sistema provoca que exista una menor eficiencia en el fitoplancton, lo que provocará el crecimiento de especies que no son aptas para el alimento del zooplancton (Fontúrbrl, Molina, y Richard, 2006)

## MATERIALES Y MÉTODOS

El ecosistema de estudio es el lago San Pablo, se encuentra en la provincia Imbabura, denominada como "La provincia de los lagos". El lago está ubicado a 28,8 Km desde la ciudad de Ibarra y a 12,6 Km del centro poblado de Otavalo.

El ecosistema del lago se ha visto afectado por las diferentes actividades del sector, así como el crecimiento poblacional. Según el INEC, para el 67% de la población se dedica a la agricultura, ganadería, caza y silvicultura, actividades que tienen incidencia directa con las actividades del Lago.

Para la realización del estudio se lo realizó mediante etapas.

En la Etapa 1 para la descripción de las condiciones climáticas se realizó un análisis de la información proporcionada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la estación de Otavalo, se utilizó los datos desde 1980-2015 y se elaboró el diagrama ombrotérmico.

Para determinar las condiciones morfológicas del lago, se realizó una batimetría integral, empleando un GPS Garmin 526s conectado a la ECO SONDA.

Para la etapa 2 se determinaron los parámetros físicos de temperatura, conductividad, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, pH y turbidez, en base el protocolo de monitoreo propuesto por el proyecto "Manejo Sostenible de lagos en el Norte del Ecuador, bajo las Crecientes Actividades Económicas y el Cambio Climático", conjuntamente a las consideraciones técnicas del Standart Methods Ed. 2001.

Durante la etapa 3 para la determinación de los taxones de fitoplancton y zooplancton de la columna de agua del lago se realizó dos fases: de campo y laboratorio.

En la Fase de campo se realizó un muestreo mensual; se colectó muestras a diferentes profundidades de la columna de agua. La metodología de colecta para fitoplancton fue el uso de la botella vertical de Van Dorn de 2,2 litros y la caja Schindler Patalas de 30 litros para la toma de muestras de zooplancton. Las muestras fueron colocadas en tubos falcon y preservadas con formol al 2% de concentración.

Para la fase laboratorio del componente fitoplancton se procedió a integrar las 7 muestras mensuales, se obtuvo una muestra integrada y para su conteo se utilizó la cámara Sedgewick-Rafter y el microscopio.

En el caso del componente zooplancton, se realizó la siguiente metodología en la fase de laboratorio

Se homogenizó la muestra mediante ligeros movimientos, evitando que sean bruscos para impedir posibles daños en la morfología de las especies.

Con la ayuda de una pipeta se colocó 10 ml en una caja Petri dividida en cuadrículas, se realizó el conteo con la ayuda de un microscopio invertido realizando un barrido total de la muestra.

Etapa 4. Relación de la información de los parámetros físicos y biológicos (fitoplancton y zooplancton) con el estado trófico del Lago San Pablo

Para la relación de la información de los parámetros físicos con la calidad del agua se realizó primero comparación con las tablas del TULSMA, de agua para uso recreacional y de riego, utilizando los parámetros físicos, posterior a ello se realizó la correlación mediante un método estadístico multivariado denominado Análisis Canónico de Correspondencias debido a la alta cantidad de datos a relacionar.

Para determinar mediante los parámetros biológicos la estimación del estado trófico, se realizó un levantamiento de información bibliográfico en base a los taxones de fito y zooplancton, en el cual se encontraron géneros y especies bioindicadoras de la calidad del agua del lago.

## RESULTADOS

### **Caracterización de las condiciones climáticas y morfológicas del área de estudio.**

El diagrama ombrotérmico (1980-2015) determina en base a la fluctuación de la temperatura y la precipitación promedio según datos del INAMHI, dos épocas lluviosas marcadas comprendidas entre los meses de enero - mayo y septiembre - diciembre, las cuales registraron valores de precipitación de 94,4 mm a 128,3 mm, y una época seca entre los meses de junio a agosto con precipitaciones no mayores a 19,3 mm. Según estudios previos Casallas y Gunkel (2001), durante el período 1998-1999 confirman las épocas seca y lluviosa en la temporalidad de los datos actuales.

Los patrones de viento identificadas fueron similares a las que detalla Casallas (2005), en las

que establece que los primeros meses coinciden con la época lluviosa con bajas velocidades y la época seca registró un incremento de vientos durante el segundo semestre del año.

Gunkel (2002) manifiesta que en el año 2001, el área del espejo de agua fue 6,68 Km<sup>2</sup> y una profundidad media de 26 m, en el presente estudio se obtuvo un valor de 6,23 Km<sup>2</sup> en el área de espejo de agua y 22 m en la profundidad media (Figura 1). Al realizar énfasis en la profundidad media, (Roldán y Ramírez, 2008) manifiestan que la profundidad media mantiene una correlación inversa con la productividad en todos los niveles tróficos de lagos grandes, es decir, al observar una clara disminución de la profundidad media, las comunidades biológicas van a presentar un aumento en su densidad poblacional. La longitud máxima del lago fue de 3,62 km y la amplitud máxima 2,30 km, valores similares a los determinados por Gunkel y Casallas, (2001).

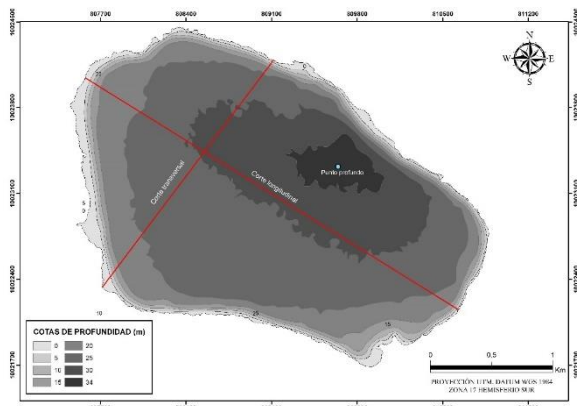


Figura 1. Cortes longitudinal y transversal del lago San Pablo

### Determinación los parámetros físicos *in situ* en base el protocolo de monitoreo propuesto.

#### Temperatura

Los valores más bajos de temperatura superficial registrada en el cuerpo de agua se presentaron septiembre del 2016 con 17,51 °C y agosto del 2017 con 17,30 °C mientras que los valores más altos fueron en el mes de noviembre y diciembre del 2016 con valores de 19,69 °C y 20 °C respectivamente. El valor promedio de la temperatura durante periodo de estudio fue de 17,69 °C.

Roldán y Ramírez (2008) mencionan que para las zonas tropical y ecuatorial la termoclina es definida como aquella zona donde el gradiente térmico oscila entre 0,2 a 0,5 °C, en el lago San Pablo según Casallas y Gunkel (2001) se presenta un período de estratificación entre septiembre y mayo aproximadamente, en el presente estudio, la estratificación térmica que sobresale es la que se presentó entre los meses de octubre y diciembre 2016, ya que la temperatura en el cuerpo lacustre presentó un alto gradiente de variación dentro del estrato de 5 a 10 m, con valores de hasta 0,25 °C por metro en el mes de diciembre 2016.

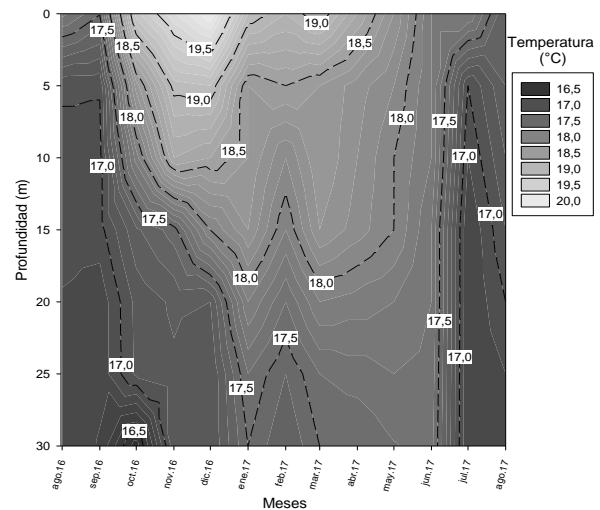


Figura 2. Isotermas (°C) de la columna de agua del lago San Pablo 2016-2017

#### Conductividad

Los valores de conductividad se mostraron constantes a lo largo de la columna de agua, es decir, presentaron homogeneidad en cada lectura, consecuencia de esto, según el Centro de Ecología Aplicada (CEA, 2014) la columna se encontró mezclada, por efecto del viento. Otero (2011) manifiesta que en las aguas continentales naturales como es el caso del lago San Pablo, los iones más corrientes directamente responsables de los valores de conductividad son entre otros el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos, es decir la lectura de conductividad expresará los valores de concentración de estos elementos. Se puede evidenciar que los valores de conductividad para el Lago San Pablo fluctúan entre 200 y 300 µS/cm durante el periodo de estudio, lo que demuestra que la calidad de agua en relación a la

conductividad según Massol (2010) oscila entre pura- poco contaminada

#### *Oxígeno Disuelto*

Los valores medios presentan un valor de 6 mg/L, en los meses de diciembre 2016 a mayo 2017, a una profundidad de 5m. Para el mes de Agosto 2016 se observó un valor de 6 mg/L desde los 10m de profundidad hasta los 30m. Los valores bajos de oxígeno disuelto van desde los doce metros hasta el fondo del lago en los meses de septiembre 2016 a mayo 2017 con valores menores a 4 mg/L, El registro de estos valores se ubica en la época de estratificación, motivo que explicaría el descenso de unidades de oxígeno disuelto, ya que Carrasco (2001) asevera que debido a la presencia de la termoclina, ésta impide la difusión del oxígeno hacia el fondo de la cubeta lacustre.

#### *Potencial de hidrógeno*

Los valores del potencial hidrógeno registrados durante el periodo de estudio se encuentra en un rango desde 5,5 hasta 9,8, la varianza de los datos es de 0,76 y su desviación estándar es de 0,87. En el estudio del lago realizado en 1998-1999 se confirma que el lago se caracteriza por la alcalinidad de sus aguas, ya que las mediciones se presentaron dentro de un rango de 7,6 a 9 datos que denotaron un pH de tendencia básica en su mayor distribución tanto temporal como espacial (Casallas y Gunkel, 2001). El consumo de dióxido de carbono durante la intensa actividad fotosintética de las comunidades biológicas eleva el pH del agua a valores muy básicos (Lampert y Sommer, 2007).

#### *Disco Secchi*

La medida del disco Secchi a lo largo del año fue variando sin presentar un patrón considerable, se registró un amplio rango de distribución entre 2,4 a 6,3 m. La distancia media de penetración de la luz en el agua para el período de estudio fue de 3,55 m. La transparencia medida a en 1998-1999 en el lago vario de 3 a 4,2 m y registro un promedio de 3,2 m (Casallas y Gunkel, 2001).

Los valores registrados bajo al promedio de la turbidez correspondieron en su mayoría a la época seca comportamiento que se presenta en otros estudios de lagos altoandinos, en la laguna Toreadora existió el incremento paulatino de la

visibilidad durante los meses de mezcla (Carrasco 2001). Las variaciones de transparencia pueden variar por factores bióticos, asociada a floraciones de fitoplancton, ya que éstas disminuyen el valor de la profundidad del disco Secchi (Portilla, 2015).

#### **Determinar los taxones de fitoplancton y zooplancton de la columna de agua del lago San Pablo.**

#### *Distribución temporal de los grupos de Zooplancton*

Se registró 3 grupos de zooplancton: la clase Rotífera, la subclase Copépoda y la subclase Cladóceras para el lago San Pablo, esta composición es características de los lagos ecuatorianos ya que según Steinitz Kannan (1979) afirma, que son pobres en especies de zooplancton, en la mayoría se ha encontrado que la comunidad está típicamente formada por un máximo de dos especies de copépodos, tres especies de cladóceros y cuatro especies de rotíferos.

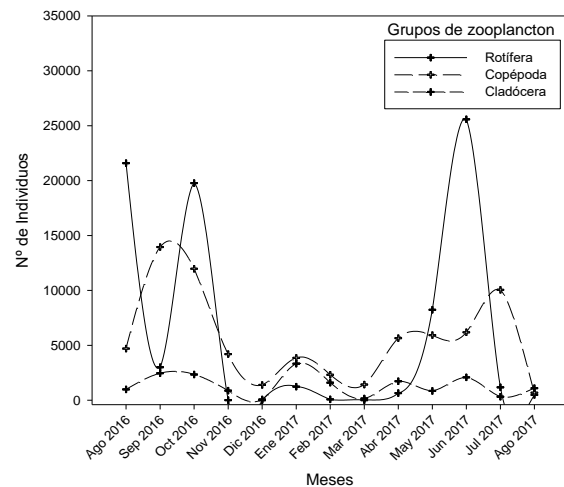


Figura 3. Distribución temporal de zooplancton del lago San Pablo 2016-2017

#### *Distribución vertical de los grupos de zooplancton*

La variación del zooplancton dentro de la columna del agua del lago San Pablo no presentó una relación aparente entre los grupos estudiados, la distribución tuvo fluctuaciones de la densidad a lo largo de la columna de agua, sin embargo, las mayores densidades se presentaron dentro de los rotíferos, seguidos de



los copépodos y la menor densidad es ocupada por los cladóceros

El análisis del zooplancton diferenciado por épocas presento un cambio en la distribución a lo largo de la columna de agua, durante la época lluviosa los tres grupos se concentran en el estrato inferior concentrando las mayores densidades de individuos bajo los 20 m, en contraste durante la época seca las mayores densidades se ubican en las capas superiores a los 20 m.

### Fitoplancton

En el período de estudio se registraron un total de 33 géneros distribuidos en 26 familias, 15 órdenes, 10 clases y 8 filos de fitoplancton en las muestras integradas mensualmente como se visualiza en la Figura 4, se reconocieron bajo la metodología de conteo, es así como se identificaron en promedio 17 géneros de algas por muestra integrada, se denotó un máximo de 34 géneros en septiembre 2016 y un mínimo de 11 géneros en mayo 2017.

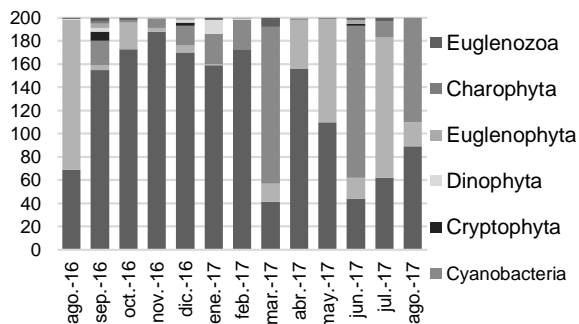


Figura 4. Distribución de divisiones de fitoplancton del estudio

Se encontrar/on 3 géneros que poseen una presencia permanente, es decir, su permanencia no se ve condicionada por ningún factor durante el período de estudio, dentro de este grupo se encuentran *Chlamydomonas*, *Planktosphaeria* y *Microcystis*.

Por el contrario, existieron géneros que su presencia se encuentra en el rango denominado raro, en el que se localizan *Coelastrum*, *Golenkinia*, *Lagerheimia*, *Scenedesmus*, *Volvox*, *Westella*, *Nitzschia*, *Pseudanabaena*, *Merismopedia*, *Chroomonas*, *Cryptomonas*, *Gyrosigma*, *Peridinium*, *Gymnodinium*, *Phacus* y *Elakatothrix*.

Respecto a la abundancia de los géneros de fitoplancton en el lago San Pablo, existe únicamente una abundancia considerada alta en la Chlorophyta *Ankyra judayi*, una abundancia media se presenta con la cianobacteria *Microcystis aeruginosa* y la bacillariophyta *Aulacoseira granulata*, además una especie de Chlorophyta tiene abundancia baja en relación al total de individuos correspondiente a *Planktosphaeria gelatinosa*, así excluyendo a las especies mencionadas previamente la abundancia restante para los 30 registros contempla una abundancia muy baja, es decir que su registro en número de individuos en comparación al total de los individuos contabilizados presenta un bajo porcentaje

El aumento de la abundancia en el caso de la cianobacteria *Microcystis aeruginosa*, se puede manifestar como un deterioro de la calidad ambiental según Gunkel y Casallas (2001). Se afirman que las cianobacterias presentan una extrema sensibilidad a la radiación UV y que se ha demostrado que esta condición afecta a la fisiología del grupo (Häder, 1999), por lo cual cambios en la turbidez del lago podrían haber generado aportes al cambio de abundancia mencionado

### Relación de la información de los parámetros físicos y biológicos (fitoplancton y zooplancton) con el estado trófico del lago San Pablo.

#### Análisis de correspondencia canónica (CCA)

El análisis de correspondencias canónicas permitió relacionar la información existente de los puntos de muestreo, las variables ambientales y las comunidades zooplanctónicas, el gráfico muestra esta distribución mediante vectores y puntos, de los cuales se hallan relacionados si se encuentran en el mismo cuadrante. Como se visualiza en la Figura 5, no existe una aparente relación de las variables ambientales sobre las comunidades biológicas.

El CCA presentó que no existe una relación de las variables físicas, con las comunidades biológicas. Sin embargo, presenta una relación entre las variables ambientales, tanto el valor del disco Secchi, la temperatura y el oxígeno disuelto se ven relacionados en el mismo cuadrante, adicional a ello en menor proporción se ubica el pH cercano al vector de la medida del disco Secchi.

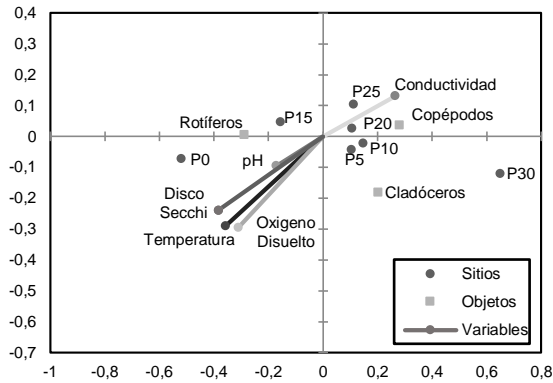


Figura 5. Análisis de correspondencia canónica del lago San Pablo 2016 – 2017

Entre las variables ambientales existió un menor ángulo entre los vectores del pH, la medida del disco Secchi, la temperatura y el oxígeno disuelto. Vincent et al., (1986) menciona que los procesos biogeoquímicos de los lagos altoandinos se ven influenciados por la geomorfología de la cuenca, flujo de irradiación solar, bajas temperaturas y deficiencia de oxígeno regulan la producción biológica. En el análisis por parámetros ya se evidenció un comportamiento estacional con cambios similares entre la temperatura y el oxígeno disuelto de manera que se puede corroborar que el CCA los presente como vectores cercanos entre sí, esta relación ya se registró previamente ya que según Casallas (2005), la conductividad y la temperatura presentaron patrones similares: una corta estratificación durante la época lluviosa y una tendencia a la homogeneidad durante la mezcla.

#### *Especies bioindicadoras de estado trófico*

##### Fitoplancton

Según Bourrelly (1985) el componente de fitoplancton constituye excelentes indicadores biológicos: permiten reconocer el grado de contaminación, la salinidad, el pH de las aguas, puesto que ciertas especies pueden vivir solo en un medio bien definido.

Las especies más abundantes del estudio como *Ankyra judayi*, *Microcystis aeruginosa* y *Alaocoseira granulata*, se reportaron como bioindicadoras de lagos eutróficos (Duque y Donato, 1992; Pino, 1995; Espino y Pulido, 2000; Reynolds, Huszar, Kruk, Naselli-Flores, y Melo, 2002; Confederación Hidrográfica del Guadiana, 2010), además *Chlamydomonas* sp, *Plankstophacteria gelatinosa* y *Microcystis aeruginosa* que presentaron una presencia

permanente también caracterizan a lagos en estado eutrófico. (Espino y Pulido, 2000; Confederación Hidrográfica del Guadiana, 2010; Guillén, 2015)

En los grupos más importantes de la caracterización del fitoplancton tanto en las especies más abundantes, como las más constantes en cuanto a presencia durante el periodo de estudio, fueron bioindicadoras del proceso de eutrofización por el que atraviesa el lago San Pablo.

#### *Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.*

En el caso de las actividades recreativas que poseen contacto secundario se realizó una comparación con los datos obtenidos durante 13 meses en el lago San Pablo. Con los resultados de los parámetros físicos, se observó que el potencial de hidrógeno, la medida del disco Secchi y el valor de oxígeno disuelto se encuentran dentro del límite permisible, para realizar dichas actividades, cumple con la normativa vigente.

## **CONCLUSIONES**

Las condiciones climáticas están caracterizadas por dos épocas lluviosas con alta precipitación y vientos moderados, una seca con precipitaciones bajas y fuertes vientos, comprendida en los meses de junio, julio y agosto.

El lago posee una profundidad de 34,77 m ubicada en la parte noreste, la longitud máxima es 3,62 km y amplitud máxima 2,30 km.

Se evidenció la presencia de una frágil termoclina en los meses de septiembre 2016 a mayo 2017 aproximadamente, a una profundidad en el estrato comprendido de 5 a 10 m, la conductividad es constante en la columna de agua en cada mes, el oxígeno disuelto presentó valores bajos y constantes en la columna de agua durante temporada seca, el agua es alcalina y la medida del disco Secchi tiene un promedio de 3,55 m lo que indica una tendencia al estado mesotrófico.

La distribución vertical y temporal del zooplancton es dominada por rotíferos, seguido de los copépodos y cladóceros; los tres grupos no tienen un patrón de comportamiento que sugiera un condicionamiento por parte de las variables ambientales.

El análisis de fitoplancton determina los géneros *Ankyra* y *Microsystis* con una alta abundancia, la permanencia constante de *Microsystis* durante el estudio evidenció una preocupación por las características invasoras del grupo en ecosistemas eutrofizados.

Las comparaciones de los parámetros físicos del estudio tales como; medida del disco Secchi, oxígeno disuelto y potencial hidrógeno con relación a los parámetros establecidos para uso recreativo en el TULSMA, señalan que el agua si es apta para actividades recreativas.

Según el CCA no existe una correspondencia significativa entre las variables físicas y biológicas, sin embargo, las comunidades planctónicas son bioindicadoras de que el lago se halla en un proceso de eutrofización.

El comportamiento de los parámetros físicos del lago San Pablo no permiten determinar el estado trófico, sin embargo, el estado ecológico en base a las especies bioindicadoras determinan que el lago San Pablo es mesotrófico en un proceso de eutrofización.

## RECOMENDACIONES

Para una caracterización climatológica más precisa se sugiere utilizar el método de interpolación con al menos 3 estaciones meteorológicas cercanas al área de estudio. La disminución de la profundidad puede ser evaluada realizando un estudio referente a las tasas de sedimentación en el lago.

Realizar las curvas hipsográficas relacionando la temperatura y las diferentes profundidades para lograr establecer la profundidad específica en la que se presenta la termoclina.

Evaluar de manera específica la concentración de iones más corrientes directamente responsables de los valores de conductividad, es decir, el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos.

El oxígeno disuelto se considera un indicador de contaminación por materia orgánica, debido a esto es recomendable realizar un monitoreo de este parámetro en las principales entradas de agua, para identificar que afluente es el que aporta con mayor cantidad de materia orgánica.

Es recomendable añadir puntos de muestreo en zonas de orilla y con macrófitas del lago para obtener una base completa de las comunidades zooplanctónicas considerando su amplia capacidad de movilidad.

Realizar un constante monitoreo del género *Microsystis* podría ayudar a evidenciar el deterioramiento del lago y tomar medidas al respecto además se deben realizar análisis de toxicología por la frecuente asociación de este grupo con toxinas dañinas a la salud humana.

## BIBLIOGRAFÍA

Bourrelly, P. (1985). Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique. Tome I: Les algues bleues et rouges. Les Eugléniens, Péridiniens et Cryptomonadines. Société nouvelle des éditions Boubée, Paris. • Bourrelly, P. 1985b. Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique, 3, 1179-92.

Carrasco M. (2001). El Zooplancton en la laguna Toreadora, en Estudio Limnológico de la laguna Toreadora. Informe Técnico. DGA-ETAPA. Cuenca- Ecuador.

Casallas, J. (2005). Limnological investigations in Lake San Pablo, a high mountain lake in Ecuador. <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-1034>

Casallas, J., y Gunkel, G. (2001). Algunos aspectos limnológicos de un lago altoandino: el lago San Pablo, Ecuador. *Limnetica*, 20, 215–232.

Centro de Ecología Aplicada. (2014). *Diagnóstico de la condición Trófica de cuerpos lacustres utilizando nuevas herramientas tecnológicas*. Recuperado de <http://documentos.dga.cl/LGO5517.pdf>

Confederación Hidrográfica del Guadiana. (2010). *DISEÑO Y EXPLOTACIÓN DE LA RED DE CONTROL BIOLÓGICO EN RÍOS Y EMBALSES EN APLICACIÓN DE LA DIRECTIVA MARCO DEL AGUA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL GUADIANA*.

Dasso, C., Piovano, E., Pasquini, A., Córdoba, F., Lecomte, K., Guerra, L., y Campodonico, V. (2014). Geología y recursos naturales de la Provincia de Córdoba: relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino, 2 al 6 de junio de 2014, Córdoba. Córdoba: Asociación Geológica Argentina.

Fontúrbrl, F., Molina, C., y Richard, E. (2006). Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titikaka (Bolivia) y su uso como indicador del grado de contaminación (Vol. 29).

Gunkel, G. (2002). Limnology of an equatorial high mountain lake — Lago San Pablo, Ecuador: The significance of deep diurnal mixing for lake productivity. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 32(1), 33–43. [https://doi.org/10.1016/S0075-9511\(02\)80015-9](https://doi.org/10.1016/S0075-9511(02)80015-9)

Häder, D. P. (1995). Influence of ultraviolet radiation on phytoplankton ecosystems. *Algae, environment and human affairs*, 41-55.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2014). Lo que Debemos Saber sobre Meteorología. Quito.

Lampert, W., y Sommer, U. (2007). *Limnoecology* (2nd ed). Oxford : New York: Oxford University Press Inc.

Massol, A. (2010). Curso Ecología Microbiana. UPRM.

Moreno, D., Quintero, J., y López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, (78), 25–33.

Murillo, D., López, G., y Rodríguez, H. (2010). Desarrollo Sostenible, Uso Conjunto Y Gestion Integral de Recursos Hidricos. España: IGME.

Otero, L. (2011). *Temporalidad de parámetros de calidad en el Lago Yojoa, Honduras*. (Tesis inédita de Maestría). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.

Portilla, K. (2015, julio 20). Evaluación del Comportamiento de los Parámetros Físicos del Agua, para determinar el estado trófico Del lago Yahuarcocha, Provincia Imbabura. (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Quétier, F., Tapella, E., Conti, G., Cáceres, D., y Díaz, S. (2007). Servicios ecosistémicos y actores sociales. Aspectos conceptuales y metodológicos para un estudio interdisciplinario. *Gaceta Ecológica*, (84–85). Recuperado a partir de <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=53908503>

Quirós, R. (2000). La eutrofización de las aguas continentales de Argentina. *El Agua en Iberoamérica: acuíferos, lagos y embalses*, 43–47.

Ramsar. (2014). La importancia de los humedales. Recuperado el 5 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.ramsar.org/es/acerca-de/la-importancia-de-los-humedales>

Roldán, G., y Ramírez, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia.

Ruiz, N., Escobar, C., y Escobar., C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, (27), 172-181.

Steinitz Kannan, M. (1979). *Comparative limnology of Ecuadorian lakes: a study of species number and composition of plankton communities of the Galapagos Islands and the Equatorial Andes* (Tesis inédita de Doctorado), The Ohio State University, Ohio, Estados Unidos.

Vincent W, Wurtsbaugh W, Neale P, Richerson P. (1986). Polimixis and algal production:latitudinal effects on the seasonality of photosynthesis. *Freshwater Biology* 16: 781-803.

EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN AL COMPORTAMIENTO DE  
LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DEL LAGO SAN PABLO, ECUADOR