



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**

Tesis previa a la obtención del Título de
Ingeniero (a) en Recursos Naturales Renovables

**AUTORAS: MIÑO ARIAS CRISTINA ARACELY
RODRÍGUEZ FUELANTALA JENIFER ANDREA**

DIRECTOR: Ing. DELIA ELIZABETH VELARDE CRUZ MSc

SEPTIEMBRE 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

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

Trabajo de titulación revisada por el Comité Asesor, previa a la obtención del Título de:

INGENIERAS EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

Ing. Elizabeth Velarde M.Sc

DIRECTORA

FIRMA

Ing. Eleonora Layana M.Sc

ASESORA

FIRMA

Biol. Renato Oquendo M.Sc

ASESOR

FIRMA

Ing. Juan Carlos Garcia PhD

ASESOR

FIRMA

IBARRA – ECUADOR
SEPTIEMBRE, 2018



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejamos sentada nuestra voluntad de participar en este proyecto, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1727202440	
APELLIDOS Y NOMBRES	Miño Arias Cristina Aracely	
DIRECCIÓN:	Quito – Pichincha	
EMAIL:	cristina.aracely63@yahoo.es	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0983449511

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	0401636857	
APELLIDOS Y NOMBRES	Rodríguez Fuelantala Jenifer Andrea	
DIRECCIÓN:	Tulcán – Carchi	
EMAIL:	rodriguezjenifer05@gmail.com	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0968363627

DATOS DE LA OBRA		
------------------	--	--

TÍTULO:	EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN RELACIÓN AL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DEL LAGO SAN PABLO, ECUADOR
AUTORAS:	Miño Arias Cristina Aracely Rodríguez Fuelantala Jenifer Andrea
FECHA:	5 de Septiembre de 2018
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	M.Sc. Elizabeth Velarde

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Nosotras, CRISTINA ARACELY MIÑO ARIAS, con cédula de identidad Nro. 1727202440 y JENIFER ANDREA RODRÍGUEZ FUELANTALA, con cédula de identidad Nro. 0401636857, en calidad de autoras y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hacemos la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3. CONSTANCIA

Las autoras manifiestan que la obra de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto, la obra es original y es la titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 05 de septiembre de 2018

LAS AUTORAS


Miño Arias Cristina Aracely


Rodríguez Fúelantala Jenifer Andrea

ACEPTACIÓN


Ing. Betty Mireya Chávez Martínez

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 05 de septiembre de 2018

CRISTINA ARACELY MIÑO ARIAS

JENIFER ANDREA RODRÍGUEZ FUELANTALA

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

TRABAJO DE GRADO

Ingenieras en Recursos Naturales Renovables. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Ibarra, 05 de Septiembre de 2018.

DIRECTORA: M.Sc. Elizabeth Velarde

La evaluación el estado trófico en relación al comportamiento de los parámetros físicos y biológicos del lago San Pablo, caracterizó las condiciones climáticas y morfológicas, determinó los parámetros físicos, los taxones de fitoplancton y zooplancton de la columna de agua y finalmente relacionó la información de los parámetros físicos y biológicos con el estado trófico del lago San Pablo.

Ibarra, 05 de septiembre de 2018

AUTORAS


Miño Arias Cristina Aracely


Rodríguez Fuelantala Jenifer Andrea

DIRECTORA


M.Sc. Elizabeth Velarde

PRESENTACIÓN

Nosotras, CRISTINA ARACELY MIÑO ARIAS y JENIFER ANDREA RODRÍGUEZ FUELANTALA como autoras del trabajo de titulación de tema “EVALUACIÓN DEL ESTADO TRÓFICO CON RELACIÓN AL COMPORTAMIENTO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS Y BIOLÓGICOS DEL LAGO SAN PABLO, ECUADOR”, nos hacemos responsables de los resultados, discusión, conclusiones y recomendaciones; y ponemos este documento a disposición de los fines académicos para estudiantes de la academia.

AGRADECIMIENTO

Querido Dios queremos agradecerte todo el apoyo que nos has dado durante los años que hemos venido haciendo nuestra carrera profesional, pues sin tu ayuda y la fe que tenemos en ti no lo hubiéramos logrado. Gracias Señor por haber estado a nuestro lado.

A quienes nos han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a una hija: amor. A quienes, sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarnos y educarnos. A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirnos en personas de provecho. A quienes nunca podremos pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Por esto y más a nuestros padres... Gracias

Ing. Elizabeth Velarde, nuestra directora, por la predisposición, paciencia y por su confianza en ayudarnos a construir el conocimiento en el trabajo realizado.

Biol. Renato Oquendo por su orientación, experiencia y apertura al para brindar aportes a esta investigación.

Ing. Melissa Layana por su gentileza, amistad y apoyo incondicional para colaborarnos.

PhD. Juan García por sus sugerencias constructivas, su asesoría y aporte en el desarrollo del presente.

Ing. Oscar Rosales por la buena voluntad y los valiosos conocimientos que ha transmitido.

Ing. Tania Oña por su guía oportuna, las enseñanzas, ideas y conocimientos compartidos.

Ing. Paúl Arias por la disposición incondicional de colaborar con sus conocimientos para mejorar esta investigación.

Dr. Alonso Zuleta por su vocación para enseñarnos y estar presto a contribuir a los procesos de investigación.

Al grupo de personas que forman parte de la cooperación binacional VLIR-UTN, y al equipo LABINAM, Mary O., Eli A., Malqui T., Karlita V., Danny B., Edy E., y al resto del grupo por su colaboración en las largas jornadas tanto en campo como en laboratorio, por brindar ese compañerismo y compartir el amor a la ciencia e investigación, en especial a Jorge R., Erika P., y Diego O. los cuales formaron parte esencial de todo el desarrollo que hizo posible este trabajo.

*A mi mejor amiga Melany por su sincera amistad, y por compartir cada etapa juntas, hermana de mi corazón. A mis amigos Andre, Fer, Edi, Eli, Adri, Caro, Michael y David por haber confrontado diversas situaciones a mi lado, los llevo en mi corazón por cerca y no declinar ante los malos momentos, por haber compartido sonrisas, a veces lágrimas, pero siempre vivencias memorables: **Cristina Miño***

*A mis amigas Cristina M, Elizabeth A, María Elena O, Mercy E, Andrea M, Fernanda C, Andrea S, Erika A, Gaby E, Wendy F, Andrea Ch, Ángela C, Sofy G, Jhony Ch, Jorge R, la construcción de este sueño no hubiera sido lo mismo sin su presencia en mi vida, gracias por enseñarme tanto, por todas las vivencias y por todos los momentos compartidos los guardo en mi corazón: **Andrea Rodríguez***

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme, por acompañarme, brindarme la salud y la vida para llegar hasta este momento y por darme la certeza de que con él todo es posible.

*A mi padre **Renan**, mi ejemplo de trabajo constante, de humildad y de honradez, por demostrarme que solo requiero de decisión para obtener lo que deseo, por ser el pilar de nuestra familia y enseñarme como alguien puede ser el mejor padre.*

*A mi madre **Martha**, la tenacidad, la valentía y sabiduría para guiar un hogar, para educarnos y por ese impresionante coraje para salir de toda situación juntos y por ser mi mejor amiga, mi consejera y por ser la mejor mamá.*

*A mi hermana mayor **Rose**, mi ejemplo a seguir, gracias por crecer juntas, gracias por cada momento de apoyo, por ser mi amiga, por reprenderme cuando es necesario y por esa fortaleza que te caracteriza y que contagia de entusiasmo para continuar.*

*A mi hermano menor **Alejandro**, por apoyarme, cuidarme y quererme, por demostrarme su cariño y darme fuerzas para superarme, por ser el segundo hombre del hogar, y afrontar la delicadeza necesaria para velar por tus hermanas y madre.*

*A mi hermana menor y mejor amiga **Ariana**, siempre serás el motor que me levanta, mi fuerza cuando desfallezco, mis ganas de ser mejor, juntas cada día lo podemos todo.*

Para cada uno de mis amigos y para mi amiga Andre por haber compartido juntas todo el camino del final de un proyecto de vida, nuestro primer título universitario.

Esto es para ustedes...

Cristina Miño

DEDICATORIA

De manera especial a mi Dios, por ser mi guía, el compañero y amigo que nunca me abandona, por nutrirme de sabiduría y fortaleza necesarias para enfrentar los momentos más difíciles durante este proceso.

Este trabajo de investigación, también es dedicado a quienes muestran un particular interés en que pueda cumplir mis sueños y metas, me ayudan y me entregan ese combustible necesario llamado amor para no rendirme nunca, a ustedes mis personas favoritas quienes fueron mi principal fuente de motivación e inspiración.

A mis padres Zoila Fuelantala y Milton Rodríguez, por su apoyo incondicional y comprensión de principio a fin en este proyecto, porque creyeron en mí dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte y gracias a ustedes hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos difíciles de mi carrera y por el orgullo que sienten por mí, todo esto es por y para ustedes.

A Grace Puetate, gracias por la confianza, por brindarme ese voto de familiaridad que me he permitido explorar y aventurarme para cumplir mis metas, me ha impulsado a conseguir mucho de lo que he soñado, gracias hermana del alma.

Para mi ángel consentido Dylan Alejandro; mi vida, decirte que cuando leas esto sepas que todo es posible, haz que tus sueños sean más grandes que tus miedos, camina hacia el futuro mi amor y nunca te olvides de Dios, él sabrá guiarte por el camino correcto.

A mi hermano Brayan Rodríguez, por creer en mí, por ser una de mis principales fuerzas para continuar, también a mis hermanos de vida Henry Fuelantala y Gabriela Llanos que estuvieron siempre al pie del cañón junto a mí.

Jenifer A. Rodríguez

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, determinando 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.

ABSTRACT

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.

Key words: lake, physical parameters, biological parameters, trophic status, eutrophic.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de investigación y justificación.....	1
1.2 Pregunta directriz de la investigación	5
1.3 Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Marco legal.....	6
CAPÍTULO II METODOLOGÍA	8
2.1. Descripción del área de estudio.....	8
2.2. Materiales y métodos	10
2.2.1. Materiales.....	10
2.2.2. Método	11
2.3. Consideraciones Bioéticas	16
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
3.1 Condiciones climáticas.....	17
3.2 Condiciones morfológicas del lago San Pablo.....	19
3.3 Parámetros físicos y químicos del lago San Pablo.....	23

3.3.1 Temperatura	23
3.2.2 Conductividad	25
3.2.3 Oxígeno disuelto	27
3.2.4 Potencial hidrógeno (pH)	29
3.2.5 Profundidad Secchi	31
3.4 Parámetros biológicos del lago San Pablo	32
3.4.1 <i>Distribución temporal de los órdenes de Zooplancton</i>	32
3.4.2 <i>Distribución vertical de los órdenes de zooplancton</i>	34
3.4.3 <i>Fitoplancton</i>	38
3.5 Criterios de calidad para aguas con fines recreativos.....	41
3.6 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego	42
3.7 Análisis de correspondencia canónica (CCA).....	43
3.8 Especies bioindicadoras	45
3.8.1 Especies zooplanctónicas bioindicadoras.....	45
3.8.2 Especies fitoplanctónicas bioindicadoras.....	46
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
4.1 Conclusiones	49
4.2 Recomendaciones.....	50
REFERENCIAS	52
ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características del lago San Pablo.	8
Tabla 2. Materiales, equipos y reactivos	10
Tabla 3. Zonificación de escaneo	12
Tabla 4. Valor general de disco Secchi en la Clasificación de Estado Trófico Carlson (1977).....	15
Tabla 5. Promedios mensuales de 35 años de la estación meteorológica Otavalo (1980-2015).....	18
Tabla 6. Parámetros morfométricos del lago San Pablo	20
Tabla 7. Relación profundidad - superficie - volumen de agua del lago San Pablo	22
Tabla 8. Relación épocas-temperatura del agua.....	25
Tabla 9. Calidad del agua en función de la conductividad eléctrica	27
Tabla 10. Presencia y abundancia de fitoplancton de las especies registradas durante el estudio.	39
Tabla 11. Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos.....	41
Tabla 12. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola	42
Tabla 13. Especies zooplanctónicas bioindicadores de estado trófico.....	45
Tabla 14. Especies fitoplanctónicas bioindicadores de estado trófico	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del lago San Pablo.....	9
Figura 2. División de cuadrantes para la barimetría	12
Figura 3. Diagrama ombrotérmico del lago San Pablo entre 1980 y 2015.....	17
Figura 4. Diagramas de velocidad del viento del lago San Pablo 2013 – 2015...	19
Figura 5. Batimetría del lago San Pablo	21
Figura 6. Cortes longitudinal y transversal del lago San Pablo	22
Figura 7. Isotermas (°C) de la columna de agua del lago San Pablo 2016-2017.	23
Figura 8. Conductividad de la columna de agua del lago San Pablo 2016-2017.	26
Figura 9. Isopletras del Oxígeno disuelto mg/L del lago San Pablo 2016-2017...	28
Figura 10. Variación de pH en la columna de agua del lago San Pablo 2016-2017	30
Figura 11. Medida del disco Secchi del lago San Pablo 2016-2017.....	31
Figura 12. Distribución temporal de zooplancton del lago San Pablo 2016-2017	33
Figura 13. Distribución vertical por grupos zooplanctonicos del lago San Pablo 2016-2017	35
Figura 14. Distribución vertical del zooplancton en época lluviosa (a) y seca (b)	37
Figura 15. Distribución de divisiones de fitoplancton del estudio.....	38
Figura 16. Análisis de correspondencia canónica del lago San Pablo 2016 – 2017	44

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación y justificación

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.

Los humedales son ecosistemas en los cuales la presencia del recurso hídrico es su característica determinante. Este elemento se presenta en periodos prolongados, logrando modificar la estructura del suelo, los microorganismos, plantas y animales que allí habitan (Barbier, Acreman, y Knowler, 1997). La importancia de los humedales reside en que son esenciales para la supervivencia humana, constituyen uno de los entornos más productivos del mundo, además que incluyen una gran diversidad biológica, fuentes de agua y se encargan de la producción primaria de innumerables especies vegetales y animales (López, Vásquez, Gómez y Priego, 2010).

Al enfocarse en los humedales que agrupan únicamente aguas continentales, los lagos son uno de los representantes de dichos ecosistemas, los cuales son acumulaciones de agua permanentes cuya profundidad mínima es aquella que no le permite a la luz penetrar hasta su fondo (Vila y Mühlhauser, 1987). Sin embargo, los estudios limnológicos realizados afirman que los lagos alto andinos tropicales se caracterizan por estar localizados entre 2500 a 4000 m.s.n.m., ubicación que les otorga una alta radiación ultravioleta, siendo muchas veces una excepción a la condición de que la luz no tope su fondo (Gunkel y Casallas, 2004).

Según Wetzel (1981), la Limnología es el estudio de las relaciones funcionales y de productividad de las comunidades de agua dulce y la manera como les afecta el ambiente físico, químico y biológico. Conocer el estado trófico de un cuerpo de agua permite determinar un diagnóstico del balance de las interacciones en los ecosistemas. El estado trófico es una descripción biológica de las condiciones de un lago en términos de producción (Portilla, 2015). Con base en lo antes expuesto, la clasificación de los niveles tróficos se menciona a continuación; ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipertrófico, siendo el primero el que posee una dinámica equilibrada de sus componentes, y el último, el que más desequilibrio presenta (López y Madroñero, 2015).

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).

Una manera muy práctica de identificar las variaciones en la composición que ha sufrido el cuerpo de agua tanto espacial como temporal, por acción antrópica o de forma natural, es la determinación de una manera más específica de los parámetros físicos como pH, temperatura (T), conectividad o conductividad (K), Oxígeno disuelto (OD), entre otros. La selección de estos depende del nivel o grado de investigación que se esté realizando ya que comprueba el grado de contaminación orgánica o inorgánica del recurso hídrico (Mogollón *et al*, 1993).

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 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)

La provincia de Imbabura ubicada al norte del Ecuador es conocida localmente como provincia de los lagos por sus numerosas formaciones lacustres, uno los principales atractivos naturales es el lago San Pablo. Este tiene una extensión de 15.098 ha y se ubica sobre los 2.600 m.s.n.m. El principal afluente del lago es el río Itambí y las aguas del río Juntuyacu son el efluente (Casallas, 2005). Según Instituto Ecuatoriano de Estadística y Censo (Instituto Nacional de Estadística y Censo, 2010), el 51,70% de la población de la parroquia San Pablo del Lago se dedica a la agricultura, el 12,3% realiza actividades de manufactura y el 10,5% realizan actividades económicas de comercio. Las actividades económicas de la población crean problemas evidentes como la deforestación, actividad agrícola, los procesos de erosión y la falta de tratamiento de aguas residuales que han producido alteraciones al equilibrio del sistema, llevando al lago a un proceso de eutrofización (Gunkel y Casallas, 2002).

La escasez de estudios limnológicos en el Ecuador genera vacíos de información fundamental para la gestión adecuada de los recursos hídricos, la falta de conocimiento acerca de los componentes del lago genera ambigüedad sobre los

potenciales recursos que se podrían deteriorar si se continúan con los períodos de degradación ecosistémica. Por consiguiente, es importante desarrollar un conocimiento amplio de los cuerpos de agua existentes para contribuir a la generación de un manejo adecuado del recurso hídrico. Aunque existen estudios en el lago San Pablo, su temporalidad es puntual y no se ha presentado un seguimiento o monitoreo frente al constante crecimiento demográfico y al auge del sector turístico que se asienta a su alrededor. Para lo cual el presente trabajo parte con las referencias de Casallas (2005), quien afirma que:

“Basado en los resultados se puede decir que el Lago San Pablo es un lago mesotrófico a eutrófico con un alto nivel de fósforo... Estos resultados pueden ser utilizados como base para la planificación de futuros programas para la mitigación y control de eutrofización en el lago” (p.7).

Es decir, que en la última década se determinó que el lago tiene una tendencia a la eutrofización, que es la respuesta a una cadena de eventos e impactos que se producen en la cuenca hidrográfica (Madox, 2014). El presente estudio generará información sobre el comportamiento del estado trófico en relación al comportamiento de los parámetros físicos y biológicos (fitoplancton y zooplancton) en el lago San Pablo. Esta información contribuirá a controlar este proceso junto a la generación de políticas públicas ejecutables y compromisos de gobernanza, se asegurará la continuidad de la calidad del recurso hídrico encontrado dentro del lago, generando la seguridad necesaria para las comunidades que lo utilizan y las personas que lo visitan.

El presente estudio se fundamenta además en la Constitución Política de Ecuador, la cual, en el Capítulo segundo de los Derechos de Buen Vivir, sección segunda referente a un ambiente sano, menciona en su Art. 14 “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el Buen Vivir, *Sumak Kawsay*” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

La Universidad Técnica del Norte como una de las principales instituciones académicas del Norte del país, reconoce la vitalidad de realizar énfasis en los

estudios limnológicos. Dentro de este contexto en cooperación con VLIR-UOS Bélgica han generado el proyecto “Manejo sostenible de Lagos en el Norte del Ecuador, bajo la creciente actividad Económica y el Cambio Climático”. Investigación en la cual, se desarrolla el presente estudio enmarcado a los objetivos del proyecto para generar el conocimiento amplio de los recursos lacustres como el lago San Pablo, información esencial para proponer estrategias que conlleven a un uso adecuado de los recursos hídricos asegurando su calidad y su conservación en el tiempo, brindando un estado ecológico saludable para el cuerpo de agua y para los beneficiarios.

1.2 Pregunta directriz de la investigación

¿La relación del comportamiento entre los parámetros físicos y biológicos determinará el estado trófico del lago San Pablo?

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el estado trófico en relación al comportamiento de los parámetros físicos y biológicos del lago San Pablo, Ecuador.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las condiciones climáticas y morfológicas del área de estudio.
- Determinar los parámetros físicos *in situ* en base el protocolo de monitoreo propuesto.
- Determinar los taxones de fitoplancton y zooplancton de la columna de agua del lago San Pablo.
- Relacionar la información de los parámetros físicos y biológicos (fitoplancton y zooplancton) con el estado trófico del lago San Pablo.

1.4 Hipótesis

Ha: La relación del comportamiento de los parámetros físicos y biológicos (Fitoplancton y zooplancton) determina el estado trófico del lago San Pablo.

Ho: La relación del comportamiento de los parámetros físicos y biológicos (fitoplancton y zooplancton) no determina el estado trófico del lago San Pablo.

1.5 Marco legal

La presente investigación tiene como principal fundamento legal, la Constitución de la República del Ecuador establecida en el año 2008, mencionando lo siguiente: Título II Derechos: Capítulo segundo; Derechos del buen vivir Sección primera Agua y alimentación, menciona en el Art. 14 “Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak kawsay”.

En cuanto respecta a los tratados internacionales es preciso mencionar a La Convención de Ramsar, que se trata de un tratado intergubernamental a nivel internacional que proporciona medidas para la conservación de los humedales. El convenio se puede tomar como punto de partida para la conservación a nivel nacional e internacional.

La ideología Ramsar se trata del “uso racional”. El uso racional de los humedales se define como "el mantenimiento de sus características ecológicas, logrado mediante la implementación de enfoques por ecosistemas, dentro del contexto del desarrollo sostenible". Por consiguiente, la conservación de los humedales, así como su uso sostenible y el de sus recursos, se hallan en el centro del "uso racional" en beneficio de la humanidad (Ramsar, 2014).

Además, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. La presente ley de aguas, garantiza y considera de gran importancia la conservación y el control para la contaminación, con el fin de proteger este recurso y sea aceptable, asequible para uso recreacional y doméstico. En el Art. 64 se menciona que la naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las

aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida. La protección de sus fuentes, zonas de captación, regulación, recarga, afloramiento y cauces naturales de agua, en particular, nevados, glaciares, páramos, humedales y manglares. El Art. 65 menciona que los recursos hídricos serán gestionados de forma integrada e integral, con enfoque ecosistémico que garantice la biodiversidad, la sustentabilidad y su preservación conforme con lo que establezca el Reglamento de esta Ley.

Basados en la el Código Orgánico Ambiental (COA), el estudio se sustenta en el Art. 26, el cual manifiesta las facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental, haciendo énfasis en el literal 6 que señala la responsabilidad de los GAD's en generar normas y procedimientos para prevenir, evitar, reparar, controlar y sancionar la contaminación y daños ambientales, una vez que el Gobierno Autónomo Descentralizado se haya acreditado ante el Sistema Único de Manejo Ambiental.

También en el Art. 30 en el que se mencionan los objetivos del estado relativos a la biodiversidad, en el literal 3 se considera el establecer y ejecutar las normas de bioseguridad y las demás necesarias para la conservación, el uso sostenible y la restauración de la biodiversidad y de sus componentes, así como para la prevención de la contaminación, la pérdida y la degradación de los ecosistemas terrestres, insulares, oceánicos, marinos, marino-costeros y acuáticos

Se consideró el Plan Nacional de Desarrollo, “Toda una vida” cuyo objetivo tercero es “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones” determina en su política 3.1 “Conservar, recuperar y regular el aprovechamiento del patrimonio nacional y social, rural y urbano, continental insular y marino-costero, que asegure y precautele los derechos de las presentes y futuras generaciones.” (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

El presente estudio muestra características importantes en las cuales, fue necesario aplicar una metodología que cumpla con los requerimientos y particularidades de los rasgos que presenta el lago San Pablo, así como también tomando como punto de partida los objetivos que se desea alcanzar en la investigación, el periodo de muestreo fue de trece meses para que el estudio tenga un nivel de significancia.

2.1. Descripción del área de estudio

Gunkel y Casallas (2002) manifiestan que; el lago San Pablo, es el segundo lago más grande en el Ecuador, sus características morfológicas principales según López (2012) se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características del lago San Pablo

Lago	San Pablo
Coordenadas	Latitudinal 0°12'21" N Longitudinal 78°13'09"W
Altitud	2 660 m.s.n.m
Profundidad máxima	35m
Superficie	6,7 km ²
Temperatura	13,5°C
Época lluviosa	Enero a junio; septiembre a diciembre
Época seca	Julio y agosto

El ecosistema de estudio se encuentra en la provincia Imbabura, denominada por la sociedad como “La provincia de los lagos”. El lago esta ubicado a 28,8 Km desde la ciudad de Ibarra y a 12,6 Km del centro poblado de Otavalo, (Figura 1). Uno de sus principales afluentes es el río Itambi. Los resultados que se obtendrán en el presente estudio son sugestivos, puesto que es un ecosistema que se ha visto

afectado por las diferentes actividades del sector, así como también el crecimiento poblacional.

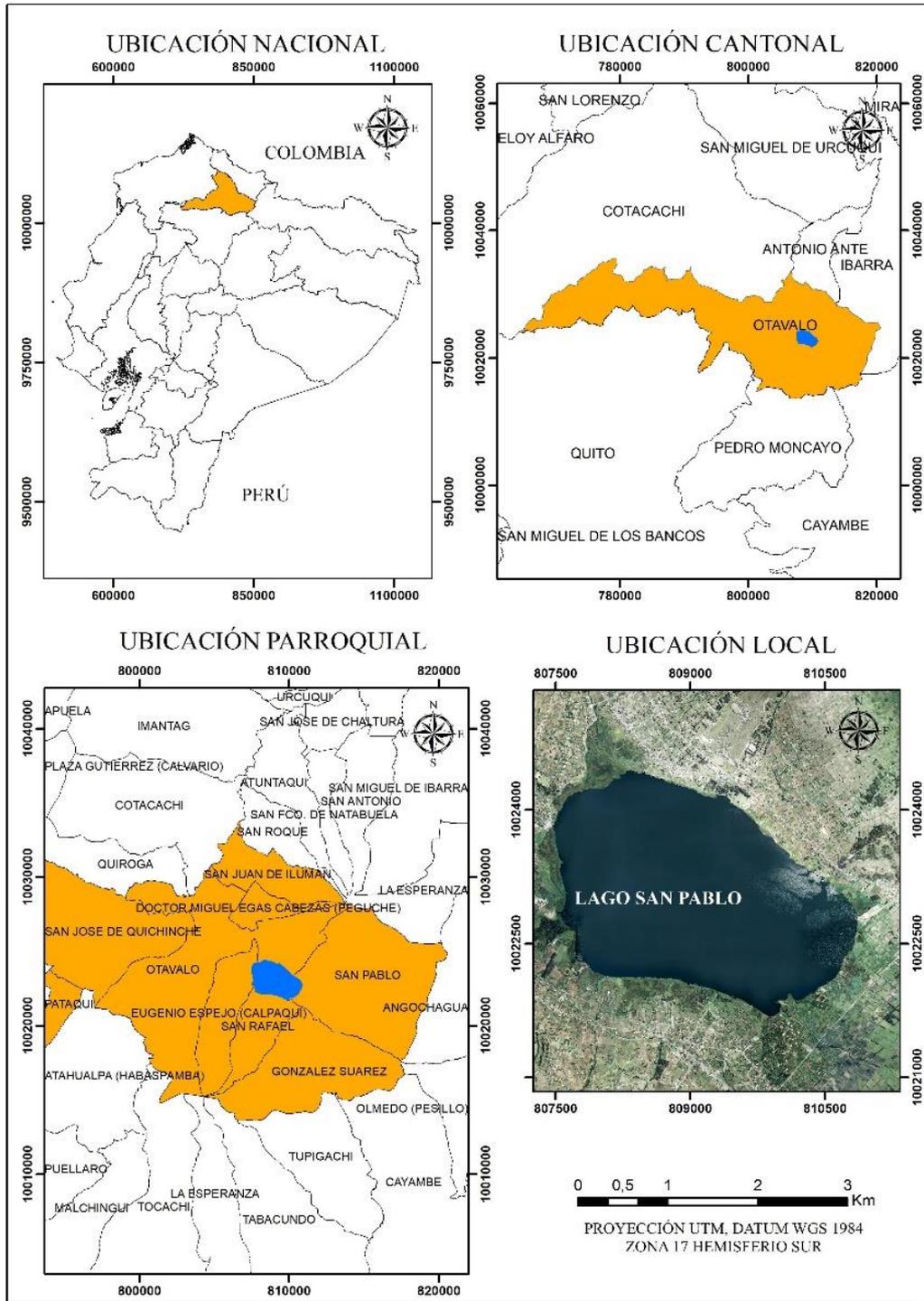


Figura 1. Ubicación del lago San Pablo

La población mas influyente en la zona de estudio es la parroquia San Pablo de Lago, puesto que se encuentra dentro de la cuenca del río Itambi. Según el INEC, para el año 2010 el 67,02% de la población se dedica actividades como la agricultura, ganadería, caza y silvicultura, para el presente estudio también se considera el nivel de educación en los habitantes de la parroquia, el cual señala que, la mayoría de la población posee un nivel de educación primaria.

2.2. Materiales y métodos

2.2.1. Materiales

Los materiales, equipos y reactivos que se utilizaron en la presente investigación se detallan en la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales, equipos y reactivos

Materiales	Equipos	Reactivos
Fichas de campo	Microscopio invertido LEICA	Alcohol 100%
Papel secante	Microscopio óptico LEICA	de pureza
Cuerdas	GPS Garmin 62sc	Formol 37%
Pipeta plástica de 4ml	GPS map Garmin 526s	Agua destilada
Guantes quirúrgicos	Multiparámetro YSI	
Etiquetas	Medidor de profundidad SM-5	
Frascos falcon 50ml	Schindler Patalas Sampler de 30 litros	
Cajas Petri	Cilindro Van Dorn de 2,2 litros	
Cubre objetos	Estereoscopio LEICA	
Fichas de conteo	Computadora de escritorio Lenovo G41	
Guías y libros de identificación	Computadora de campo Durabook	
Mandil	Cámara fotográfica Samsung MV800	
Mascarilla de laboratorio	Cámara Leica MC 120 HD	
Porta objetos	Cámara Sedgewick-Rafter 1ml	
Chalecos salva vidas	Disco Secchi	
	Medidor de variables ambientales	
	Equipo de batimetría	
	Bote inflable Zodiac	
	Lámpara LEICA	
	Convertidor de voltaje	

2.2.2. Método

A continuación se describe la metodología a utilizar a través de etapas, correspondiendo a cada objetivo específico del presente trabajo:

Etapas 1. Descripción de las condiciones climáticas y morfológicas que del área de estudio

Se realizó la descripción de las condiciones climáticas en base al análisis de la información proporcionada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de la estación de Otavalo, se encuentra aproximadamente a 13 km del área de estudio. Se utilizó los datos de 35 años (1980-2015), con una frecuencia diaria en los parámetros de temperatura, precipitación y velocidad del viento, luego se elaboró el diagrama ombrotérmico y gráficos para cada uno de los parámetros ambientales en el programa SigmaPlot 11.

Según Montoya (2008), la caracterización morfológica de un cuerpo de agua idealmente debe ser el punto de partida de las investigaciones limnológicas, ésta genera una idea global sobre el funcionamiento del sistema, estableciendo medidas y condiciones para implantar distintos criterios en el momento de realizar investigaciones de sus diferentes componentes.

Para determinar las condiciones morfológicas del lago, se realizó una batimetría integral, empleando un GPS Garmin 526s conectado a la ECO SONDA de la misma serie complementándolo con un computador de campo Durabook y una batería de 110 voltios de automóvil para su alimentación energética, con un transformador de voltaje que reguló la corriente a 12 voltios, permitiendo la compatibilidad entre el suministro de energía y los equipos.

Los equipos fueron instalados en una estructura de metal adaptada al bote para la estabilidad y precisión del escaneo. Por la extensión del lago se dividió en cinco zonas: orillas, zona noroeste, suroeste, noreste, sureste, esta actividad duró nueve días (Tabla 3).

Tabla 3. Zonificación de escaneo

Zona del lago	Días destinados
Orillas	1 día
Zona noroeste	2 días
Zona suroeste	2 días
Zona Noreste	2 días
Zona Sureste	2 días

La división de los cuadrantes de la división para el trabajo de levantamiento de información batimétrica se detalla a continuación, (Figura 2)

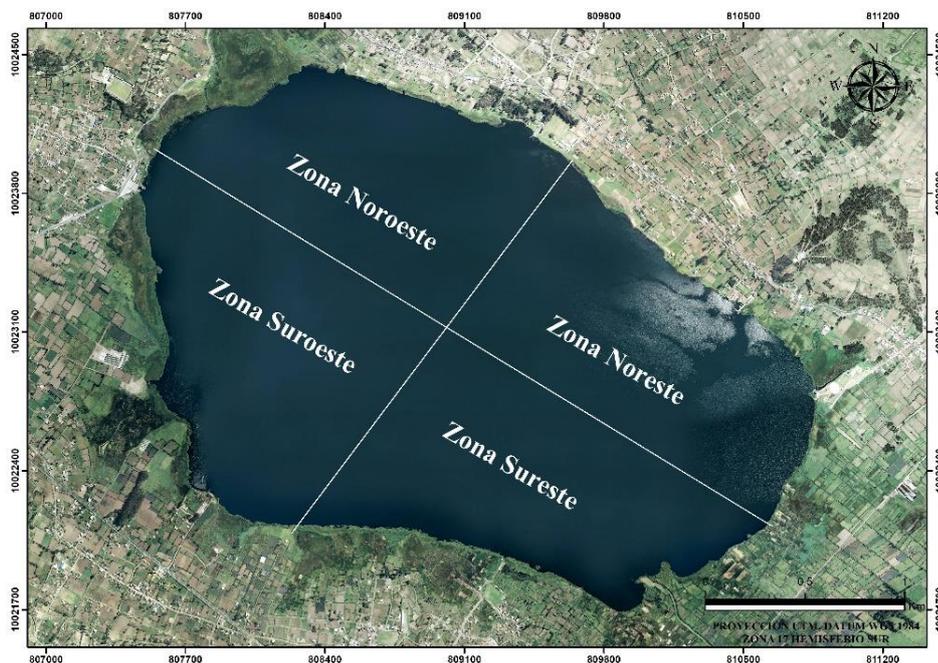


Figura 2. División de cuadrantes para la batimetría

Los puntos batimétricos se obtuvieron con el programa DrDepth en formato (.drd), y fueron cambiados a formato Excel (.xls), para modificar los valores de profundidad positivos a negativos y cargar estos puntos al programa ArcMaps 10.4, luego se procesó la información con la herramienta TIN para la interpolación de los datos de profundidad y se obtuvo las curvas de nivel del lago identificadas por colores, posteriormente se aplicó la herramienta TIN TO RASTER para obtener el perfil de la profundidad del lago.

Etapa 2. Determinación de los parámetros físicos in situ en base el protocolo de monitoreo propuesto

El monitoreo se realizó mediante salidas de campo durante un período de trece meses (agosto 2016 – agosto 2017), las fechas de monitoreo se establecieron durante la penúltima y última semana de cada mes. Al ser un lago polimíctico (Gunkel, 2001), se estableció como punto de monitoreo el punto más profundo (30 m), los datos fueron tomados a diferentes profundidades (0m, 5m, 10m, 15m, 20m y 30m).

El protocolo de muestreo de los parámetros físicos (temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y turbidez) fue establecido por el proyecto “Manejo Sostenible de lagos en el Norte del Ecuador, bajo las Crecientes Actividades Económicas y el Cambio Climático”, el mismo que ha tomado consideraciones técnicas del Standart Methods Ed. 2001 y adaptado al área de estudio. Además, se aplicó estadística descriptiva para los valores obtenidos en cada parámetro.

Etapa 3. Determinación de los taxones de fitoplancton y zooplancton de la columna de agua del lago San Pablo

Para determinar los taxones existentes de fitoplancton y zooplancton, se realizó dos fases: de campo y laboratorio.

Fase de campo

En la fase de campo se realizó un muestreo mensual en el punto más profundo del lago bajo los criterios de Casallas y Gunkel (2001); se colectó muestras a diferentes profundidades de la columna de agua: 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30 m. La metodología de colecta que se utilizó es la descrita según Rice, Baird, Eaton y Clesceri (2012) en el Standard Methods Ed. 2001, para las muestras de fitoplancton 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 de 50 ml previamente etiquetados, y preservadas con formol al 2% de concentración, finalmente fueron transportadas en recipientes que permitieron proteger de la radiación solar al Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Universidad Técnica del Norte (LABINAM).

Fase laboratorio

Para el análisis del componente biótico fitoplancton se cumplió la siguiente metodología en la fase de laboratorio:

- Se obtuvieron 7 muestras de 50 ml en cada mes de muestreo (13 meses).
- Debido a que, según Gunkel (2002), San Pablo es un lago polimíctico y no posee estratificación constante, se procedió a integrar las 7 muestras mensuales de manera que se obtuvo una muestra integrada por mes, dando un total de 13 muestras.
- Para integrar las muestras, en un frasco falcon se colocó el 10% de cada muestra equivalente a un volumen de 5ml, total de agua previamente homogenizada, proveniente de cada profundidad de muestreo.
- La muestra integrada se vació en una jeringuilla de 60ml. Se procedió a bloquear la salida de líquido con un pedazo de papel secante, el émbolo se golpeó 10 veces sobre la superficie plana y sólida como recomienda Caicedo (2015). La fuerza de los golpes permitió aumentar súbitamente la presión del agua al interior de la jeringuilla colapsando así las vacuolas de gas de las cianobacterias, de tal forma que posteriormente se sedimentó en el fondo de la cámara de conteo.
- Se vació el contenido de la jeringuilla en un frasco falcon, del cual se tomó el volumen final a contabilizarse (35µl mensuales) con la ayuda de una micropipeta.
- El volumen preciso (1 ml) se ubicó en la cámara Sedgewick-Rafter de conteo y luego en el microscopio.
- El procedimiento finalizó realizando el conteo de la placa hasta llegar a los 200 individuos.

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 para evitar el recuento de la muestra.
- Se realizó el conteo con la ayuda de un microscopio invertido realizando un barrido total de la muestra, empezando desde la parte superior izquierda.
- Este procedimiento se repitió las veces que fueron necesarias hasta cumplir el conteo total del volumen 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 el estado trófico se realizó primero la estimación del estado trófico con el TSI (Trophic State Index) utilizando la medida del disco Secchi, posterior a esto se efectuó el procesamiento individual de cada parámetro físico utilizando gráficas en Sigmaplot 11. con datos mensuales, finalizando con la correlación mediante un método estadístico multivariado denominado Análisis Canónico de Correspondencias debido a la alta cantidad de datos a relacionar.

Para la determinación del estado trófico se utilizó el TSI de Carlson 1977 detallado en la Tabla 4.

Tabla 4. Valor general de disco Secchi en la Clasificación de Estado Trófico Carlson (1977)

Estado trófico		Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipertrófico
Disco Secchi (m)	Promedio	9,9	4,2	2,45	-
	Rango	5,4 – 28,3	1,5 – 8,1	0,8 – 7,0	4,0 – 0,5

Para determinar el estado trófico con los parámetros biológicos, primero se identificó los principales grupos de zooplancton (cladóceros, copépodos y rotíferos) y en el caso del fitoplancton las divisiones (Cianobacterias, Clorófitos, Diatomeas,

Dinoflagelados, entre otros), luego se describió su ecología y finalmente se establecieron los parámetros físicos que influyen en las poblaciones de zooplancton, mediante el análisis multiparámetro de correspondencia canónico sugerido por Caicedo (2016).

2.3. Consideraciones Bioéticas

En base a las necesidades, se generan acciones para suplir las mismas, dentro de este contexto y relacionando a la vez con el tema ambiental, el incremento de los conflictos por el mal uso de los recursos naturales renovables a nivel mundial provocó que se fueran proponiendo acciones que aborden este tema con mayor profundidad, con la finalidad de establecer medidas que permitan el uso adecuado del capital ambiental.

Uno de los principales temas que pretende aportar con conocimientos para dar un uso racional a los recursos naturales, es la aplicación de la ética ambiental o también llamada Ecoética, ya que gracias a estas ciencias, se puede obtener una mejor comprensión de los actos responsables del hombre sobre el ambiente, de hecho, es un tema tratado en muchas de las cumbres que se han realizado en pro de la conservación del ambiente, para lo cual García (2014) señala los dos primeros capítulos que se mencionan en la Carta de la Tierra, el primer capítulo “Respeto y cuidado de la comunidad de la vida” y el segundo capítulo que se trata de “Integridad ecológica”.

Dentro de “Integridad ecológica” existen dos enunciados que manifiestan principalmente la necesidad de mantener en buen estado a los ecosistemas con especial énfasis en la diversidad, así como también evitar dañar es el mejor método de protección. Haciendo énfasis en dichos enunciados, el presente estudio se estructurará en base al principio de beneficencia en el cual, se aportará con información que permita tomar medidas en caso de una posible pérdida de la diversidad de las comunidades de fitoplancton y zooplancton, para de esta manera garantizar la conservación ecosistémica del lago San Pablo y también apreciar su belleza paisajística.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo expone cada uno de los resultados que se obtuvieron a partir de la aplicación de la metodología previamente mencionada. Los resultados se presentan en orden de cada uno de los objetivos.

3.1 Condiciones climáticas

El diagrama ombrotérmico (1980-2015) es de tipo bimodal por la fluctuación de la temperatura y la precipitación promedio según datos del INAMHI, con 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 (Figura 3). Según estudios previos Casallas y Gunkel (2002), durante el período 1998-1999 confirman las épocas seca y lluviosa en la temporalidad de los datos actuales.

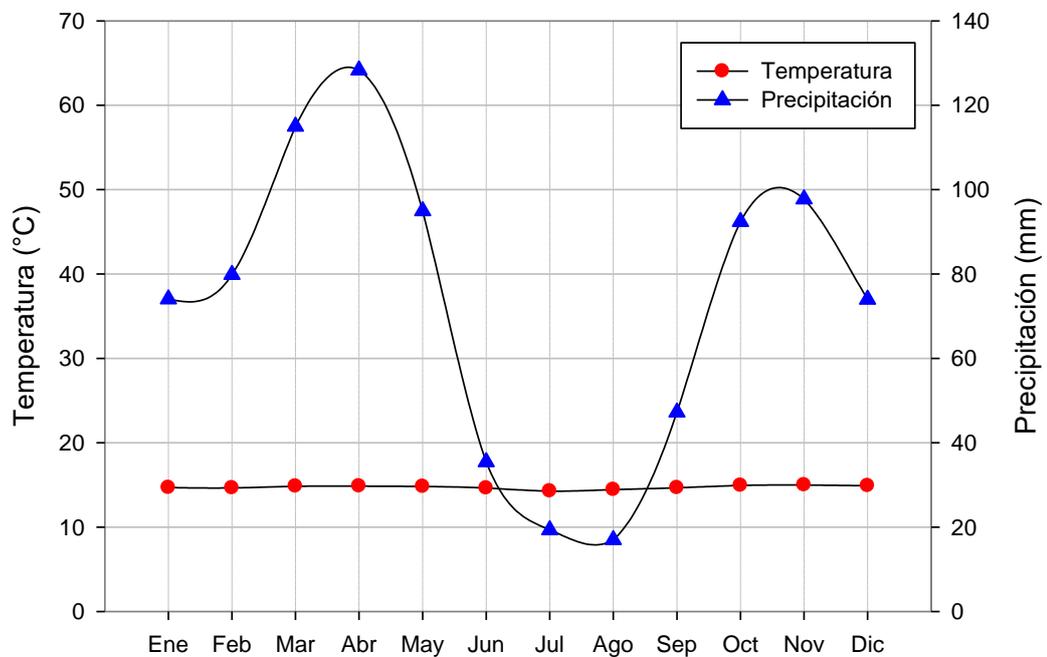


Figura 3. Diagrama ombrotérmico del lago San Pablo entre 1980 y 2015
Fuente: INAMHI

Los resultados indicaron que la temperatura media fue de 14,7 °C, con una variación de 0,5 °C a lo largo del año. La temperatura máxima y mínima comprende a 31 °C y 0 °C respectivamente. En cuanto a las precipitaciones anuales, éstas llegan a 875,2 mm, presentando su máximo valor en el mes de abril con un total de 128,3 mm y el mes más seco fue agosto con 17,0 mm de precipitación registrada (Tabla 5).

Durante el estudio previo de Casallas y Gunkel (2001), se confirman valores muy cercanos a las medias de las temperaturas máxima con 29,5 °C y la mínima con 0,5 °C, que están dentro de la desviación estadísticamente aceptada, de igual manera el registro de las precipitaciones presenta una ligera variación siendo 858 mm el valor encontrado durante 1998. Así, la caracterización climática de la zona de estudio respecto a temperatura y precipitación no presentó variaciones.

Tabla 5. Promedios mensuales de 35 años de la estación meteorológica Otavalo (1980-2015)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom	Total
T (°C)	14,7	14,6	14,8	14,9	14,8	14,6	14,3	14,4	14,7	14,9	15,0	14,9	14,7	176,6
P (mm)	74,0	79,8	115,0	128,3	94,9	35,4	19,3	17,0	47,2	92,4	97,8	74,0	72,9	875,2

Los patrones de viento presentados evidencian un aumento de la velocidad durante los meses de junio, julio y agosto, los cuales son cercanos a la época seca y registraron valores de hasta 5,49 m/s durante el mes de julio. Durante los meses de las épocas lluviosas se mantuvo dentro de un rango limitado de 1,27 m/s a 2,32 m/s, correspondiendo el menor registro en abril (Figura 4).

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.

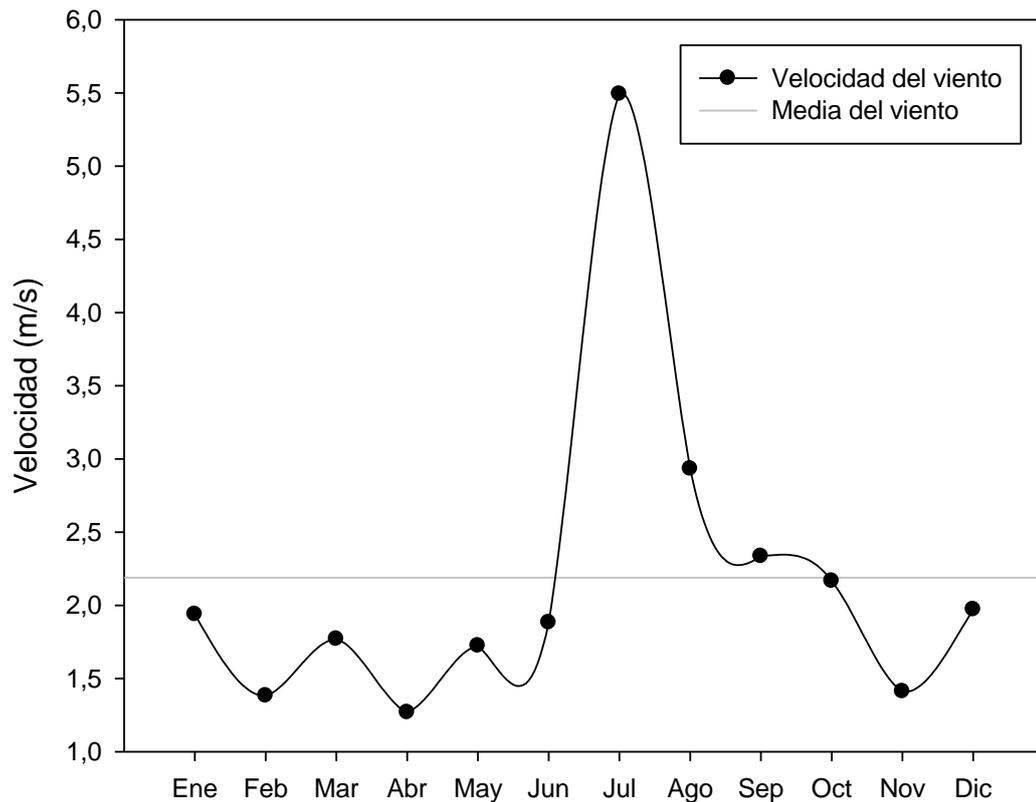


Figura 4. Diagramas de velocidad del viento del lago San Pablo 2013 – 2015

Las variaciones del viento son vitales para el comportamiento de los lagos, dichos cambios pueden modificar la estabilidad y distribución térmica de los lagos como respuesta a dichos eventos. (Kuha *et al.*, 2016). Aún cuando los patrones de viento pueden variar cada año, en el lago San Pablo, dichos patrones coincidieron con el inicio de las épocas ecológicas secas.

3.2 Condiciones morfológicas del lago San Pablo

Gunkel (2002) manifiesta que, en el año 2001, el área del espejo de agua fue 6,68 Km² y una profundidad media de 26 m, en el presente estudio se obtuvo un valor de 6,23 Km² en el área de espejo de agua y 22 m en la profundidad media (Tabla 6). 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.

A continuación, se detalla los parámetros morfométricos del lago (Tabla 6), 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).

Tabla 6. Parámetros morfométricos del lago San Pablo

Parámetro	Sigla	Valor
Latitud	(N)	10°023.045,909 m
Longitud	(W)	809.196,169 m
Altitud	(m)	2.660 m.s.n.m
Longitud máxima	(l)	3,62 km
Amplitud máxima	(b)	2,30 km
Área del espejo de agua	(km ²)	6,18 km ²
Volumen	(V)	140°903.219,5 m ³
Profundidad máxima	(Zm)	34,77 m
Profundidad media	(\bar{Z})	22 m
Perímetro	(L)	11,73 km
Línea de desarrollo costero	(DL)	1,21 km
Forma del lago	F.L	Oval redondo u oval oblongo

El perímetro u orilla fue de 11,73 Km y la línea de desarrollo costero de 1,21 Km. En el cálculo del coeficiente de compacidad se obtuvo un valor de 1,32 que indica una forma oval redonda (Figura 5), característica que se presenta en lagos encontrados en cuencas hidrográficas ovales o circulares, según (Roldán y Ramírez, 2008) también señala que; al presentar éstas características el lago es de origen volcánico.

Así también, (Benjumea H., Wills Toro, y Aguirre Ramírez, 2008) expresa que al tener un cuerpo lacustre con características similares a las anteriormente

mencionadas y tomando como referencia a la línea de desarrollo costero, se puede apreciar que existe gran capacidad para el desarrollo de comunidades bénticas.

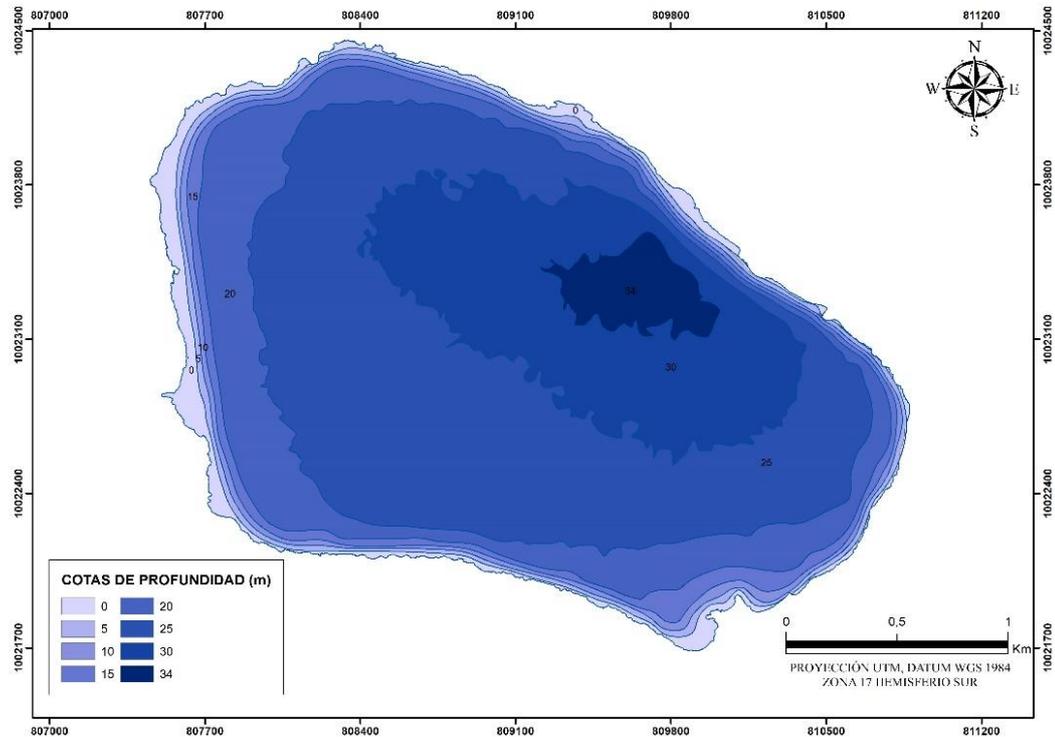


Figura 5. Batimetría del lago San Pablo

Las condiciones morfológicas del lago San Pablo se detallan a continuación: la mayor profundidad fue de 34,77 m y se encuentra ubicada en la parte noreste con un área de 0,21 km², la cota de 25 m es la que presenta mayor área con 2,65 km². En la Figura 6 se muestra el mapa batimétrico en el cual las cotas de profundidad se encuentran especificadas en rangos de 5 m, también presenta la localización del punto profundo.

En cuanto al diagrama de las curvas hipsográficas en relación al área y volumen del lago además de los perfiles del corte longitudinal y del corte transversal de la cubeta lacustre, se hallan especificadas en el Anexo 2 y 3. Al compararlo con el trabajo de Casallas (2005) y Gunkel (2002) se determina una disminución en el punto más profundo, con una disminución ya que indican un valor de 35m, denotando una reducción de 0,23 cm.

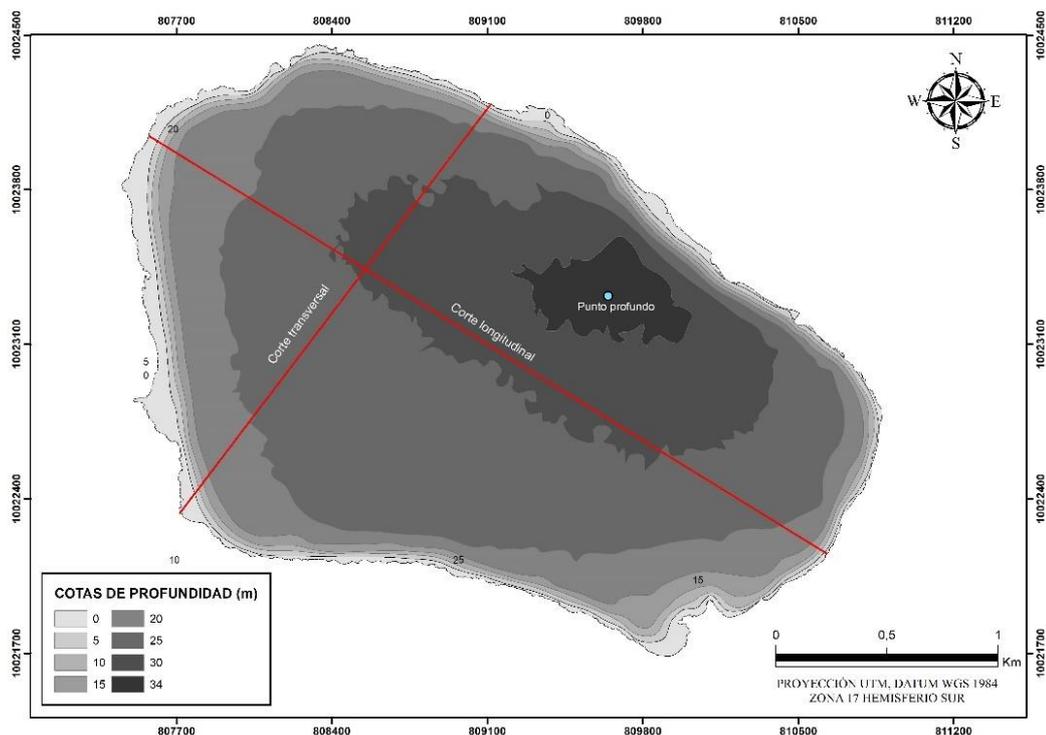


Figura 6. Cortes longitudinal y transversal del lago San Pablo

El lago San Pablo presenta un volumen de 140'903.220 m³ y área de espejo de agua 6,18 Km², la mayor área se encuentra en las cotas de 20, 25 y 30 m de profundidad, con porcentajes marcados de 17,18%, 42,90%, y 20,37% respectivamente. Se pudo determinar que las cotas con menor valor son las de 5, 10 y 15 metros de profundidad con un valor correspondiente al 3,09%, 3,19 y 5,04% (Tabla 7).

Tabla 7. Relación profundidad - superficie - volumen de agua del lago San Pablo

Profundidad (m)	Área (m ²)	Porcentaje (%)	Volumen (m ³)	Porcentaje (%)
0	290.974	4,69	0	0
5	191.366	3,09	956.830	0,68
10	198.040	3,19	1'980.400	1,41
15	312.318	5,04	4'684.770	3,32
20	1'064.780	17,18	21'295.600	15,11
25	2'659.580	42,90	66'489.500	47,19
30	1'262.940	20,37	37'888.200	26,89
34,77	218.807	3,53	7'607.919,5	5,40
Total	6198805 m ²	100	140903220 m ³	100

3.3 Parámetros Físicos y Químicos del lago San Pablo

3.3.1 Temperatura

En la (Figura 7) se muestran las isotermas de la columna de agua durante el periodo de muestreo. Las fases de circulación muestran diferenciaciones en la gama de colores, la época más cálida (coloración roja) y la época menos cálida (coloración azul). 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, por lo que se puede señalar la presencia de una frágil termoclina. El valor promedio de la temperatura durante periodo de estudio fue de 17,69 °C. Por otro lado, a la máxima profundidad la temperatura más baja fue en el mes de septiembre 16,79°C y octubre 16,34°C del 2016. La temperatura más alta se registró en el mes de mayo con 17,59°C y junio 17,64°C del 2017 (Tabla 8).

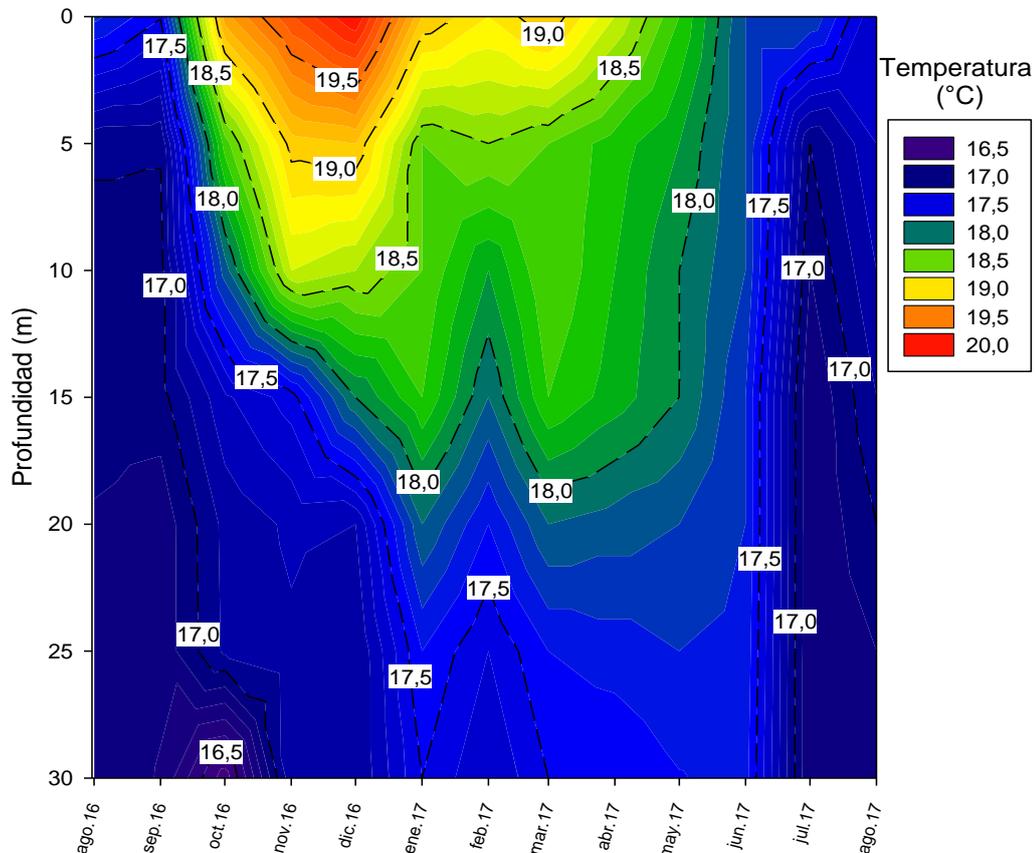


Figura 7. Isotermas (°C) de la columna de agua del lago San Pablo 2016-2017

Roldán y Ramírez (2008) mencionan que para la zona 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, 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.

A pesar de que en el lago San Pablo no existe una estratificación marcada, debido a que, en bajas latitudes la variación de la temperatura en la columna de agua de un lago es de pocos grados centígrados, presentándose una estratificación leve a comparación de altas latitudes, en los ecosistemas templados (Carrasco 2001). Sin embargo, es importante determinar los puntos donde pueda existir un cambio brusco de temperatura (termoclina) ya que; como lo afirma Ortega, Restrepo, Correa, Gómez, y Toro (2010), estas pequeñas diferencias verticales de la temperatura son capaces de generar una estructura térmica estable, que afecta la calidad del agua y limita la oxigenación.

Según Painter, Rittger, McKenzie, Slaughter, Davis, y Dozier. (2009). La fracción de la radiación incidente que es reflejada por la superficie se llama albedo, los cuerpos lacustres poseen un albedo de 0,1 a 1. El Albedo desempeña un papel importante en el balance energético de la superficie de la tierra. La porción de la radiación solar no reflejada por la superficie de la tierra es absorbida por el suelo, la vegetación o el agua, que interactúa con la radiación incidente. La absorción energía puede aumentar la temperatura del agua o la tasa de evapotranspiración de la superficie. De la energía que es absorbida y transforma en calor se refleja en una longitud de onda más larga que la radiación entrante.

Los resultados presentan relación con los valores de temperatura en la época seca y lluviosa. La temperatura más alta y más baja registrada en el punto más profundo de la columna de agua correspondió a la época lluviosa (Tabla 8).

Tabla 8. Relación épocas-temperatura del agua

Épocas	Meses	Temperatura superficial		Temperatura profunda	
		Baja	Alta	Baja	Alta
Seca	Julio-Agosto	Sep 2016- Ago2017			
	Marzo-Mayo				May-Jun 2017
Lluviosa	Octubre-Noviembre		Nov-Dic 2016	Sep-Oct 2016	

3.3.2 Conductividad

El diagrama de isolíneas de la conductividad indicó valores constantes a lo largo de la columna de agua en todos de los meses de monitoreo. El mayor valor se encontró expresado en una gama de rojo-naranja, es así como en el periodo de agosto 2016 a febrero 2017. El mayor valor de conductividad que fue de 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, (Figura 8). En el mes de marzo se comprobó una conductividad equivalente a 280 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y se encuentra representado con el color amarillo. Finalmente, para los meses de mayo-agosto del 2017 se presentó una disminución de la conductividad, mismos que se encuentran simbolizados en una gama de azul y denotan valores $< 240 \mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores máximos se encuentran al inicio del periodo de estudio, mientras que los menores se encuentran al finalizar el estudio.

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.

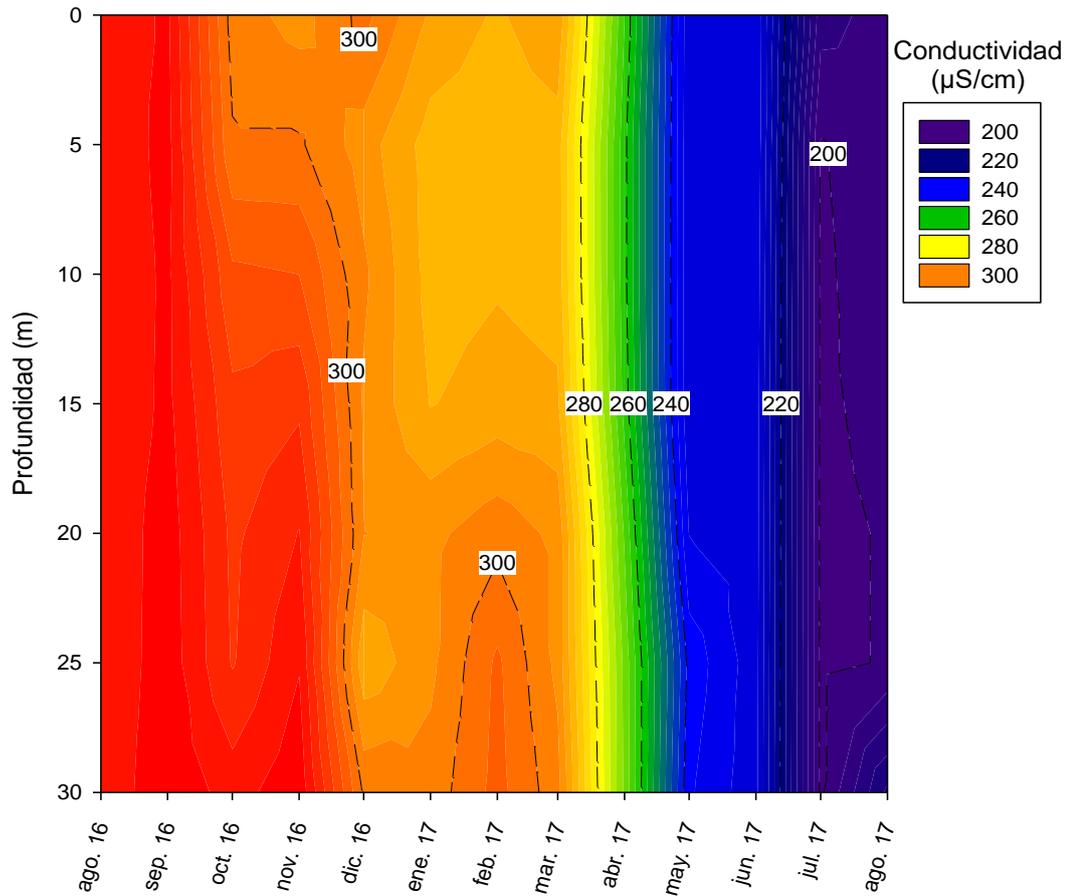


Figura 8. Conductividad de la columna de agua del lago San Pablo 2016-2017

El valor promedio de conductividad fue de $274,16 \mu\text{S}/\text{cm}$, los valores promedios más altos en los meses se registraron en agosto y septiembre 2016 con $314 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $318 \mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, por el contrario, los valores promedios más bajos se establecieron en los meses de julio y agosto 2017 con valores de $200 \mu\text{S}/\text{cm}$ y $202 \mu\text{S}/\text{cm}$, lo que evidencia una disminución de conductividad durante el periodo de estudio.

Se puede evidenciar que los valores de conductividad para el Lago San Pablo fluctúan entre 200 y $300 \mu\text{S}/\text{cm}$ 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 (Tabla 9).

Tabla 9. Calidad del agua en función de la conductividad eléctrica

Calidad Agua	Pura	Poco Contaminada	Contaminada	Muy Contaminada	Excesivamente Contaminada
Conductividad $\mu\text{S/cm}$	<280	280 - 430	430 - 600	600 - 860	>860

3.3.3 Oxígeno Disuelto

La solubilidad de oxígeno en el agua disminuye ligeramente con el aumento de la salinidad, de forma intermedia con la disminución de la presión atmosférica y notablemente con el aumento de temperatura, es decir, el oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la temperatura y la salinidad; Álvarez *et al.*, (2008) manifiesta que la turbulencia favorece los intercambios entre el aire y el agua, por tanto aguas más frías y más agitadas contienen mayor cantidad de oxígeno y, al revés, aguas más cálidas y menos agitadas contienen menos oxígeno.

Los valores de Oxígeno disuelto se expresan en unidades de mg/L, los resultados se expusieron mediante un diagrama de Isopletas, (Figura 9). Los valores altos se mostraron en una gama de colores rojo-naranja, mismos que en el mes de agosto 2016 fueron mayores a 6,5 mg/L entre la superficie hasta aproximadamente los 7 metros de profundidad.

Los valores medios se presentaron en una gama de colores verde que representan 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 (Figura 9). Finalmente, los valores bajos de oxígeno disuelto se encontraron representados en una gama de azul y 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,

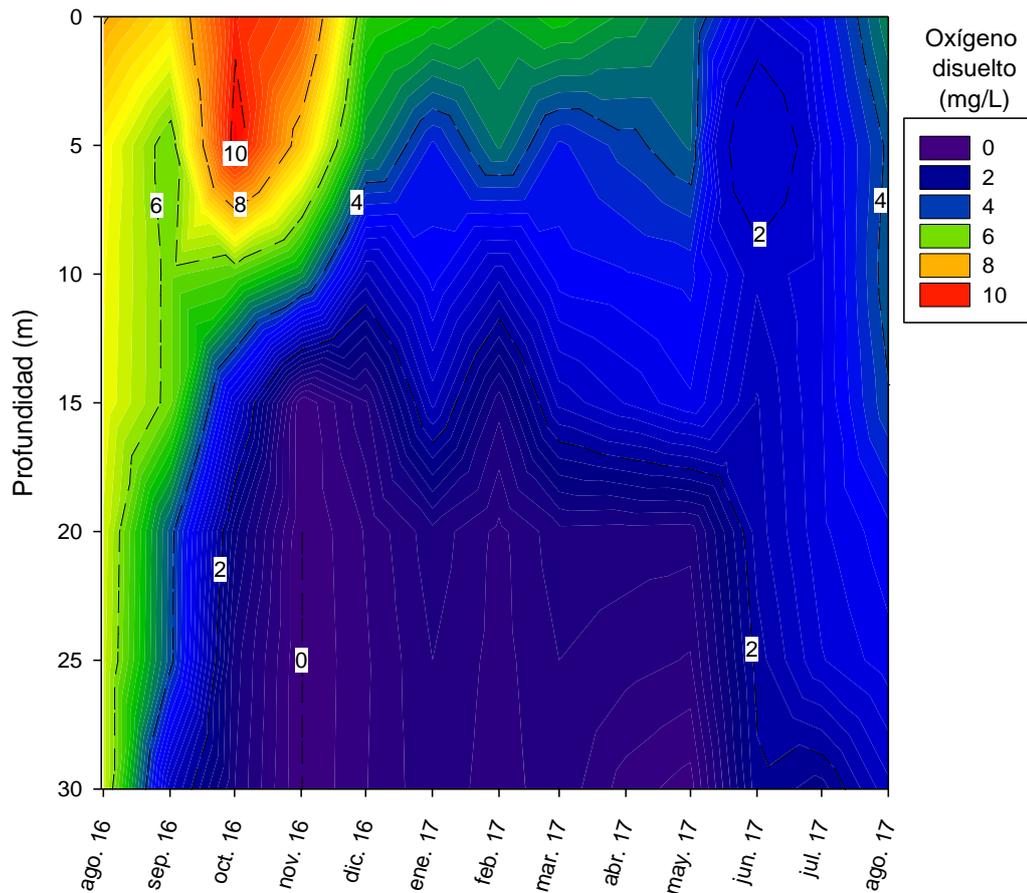


Figura 9. Isopletas del Oxígeno disuelto mg/L del lago San Pablo 2016-2017

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.

Según Peña *et al.*, (2006); el oxígeno disuelto se considera un indicador de contaminación por materia orgánica debido a descargas de residuales tanto domésticos como industriales en cuerpos de agua, las aguas con concentraciones de oxígeno disuelto por encima de 4,1 mg/L son consideradas de buena calidad, en el presente estudio se observaron valores que oscilan entre 0 a 10 mg/L, durante el periodo de estudio, el oxígeno disuelto en la columna de agua presenta una media equivalente a 3,22 mg/L, lo que indica un agua poco contaminada ya que el valor es ligeramente inferior al establecido para agua de buena calidad, con una desviación estándar de 2,4.

3.3.4 *Potencial Hidrógeno (pH)*

Los valores del potencial hidrógeno registrados durante el periodo de estudio se expresaron mediante un diagrama de isolíneas con una gama de colores entre rojo para los valores más altos y los valores más bajos en coloración azul (Figura 10), el rango de los registros fue desde 5,5 hasta 9,8, la varianza de los datos es de 0,76 y su desviación estándar es de 0,87, por lo tanto, el registro del menor dato particularmente sale fuera de la desviación estándar de los datos registrados, situación que puede ser atribuida a un error técnico en el manejo del equipo, que pudo ocasionar que el equipo de medición tope el sedimento del lago, el mismo que tiene valores de pH con tendencia a la acidez, su promedio es de 6,8 pero las variaciones de las mediciones están en un rango de 5.4 a 7 (Gunkel, 2003).

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).

La variación de los rangos se explica debido a la metodología aplicada en cada estudio ya que en 1998 se consideró el muestro únicamente de la zona trofógena (0 - 20 m) y otro valor para la trofólita (>20), sin embargo, mantienen la tendencia de la disminución del pH a medida que aumenta la profundidad en la columna del agua. El dato más alto se obtuvo durante- septiembre 2016 en el estrato superficial del lago y el menor dato correspondió a diciembre 2016 registrado en el fondo del lago.

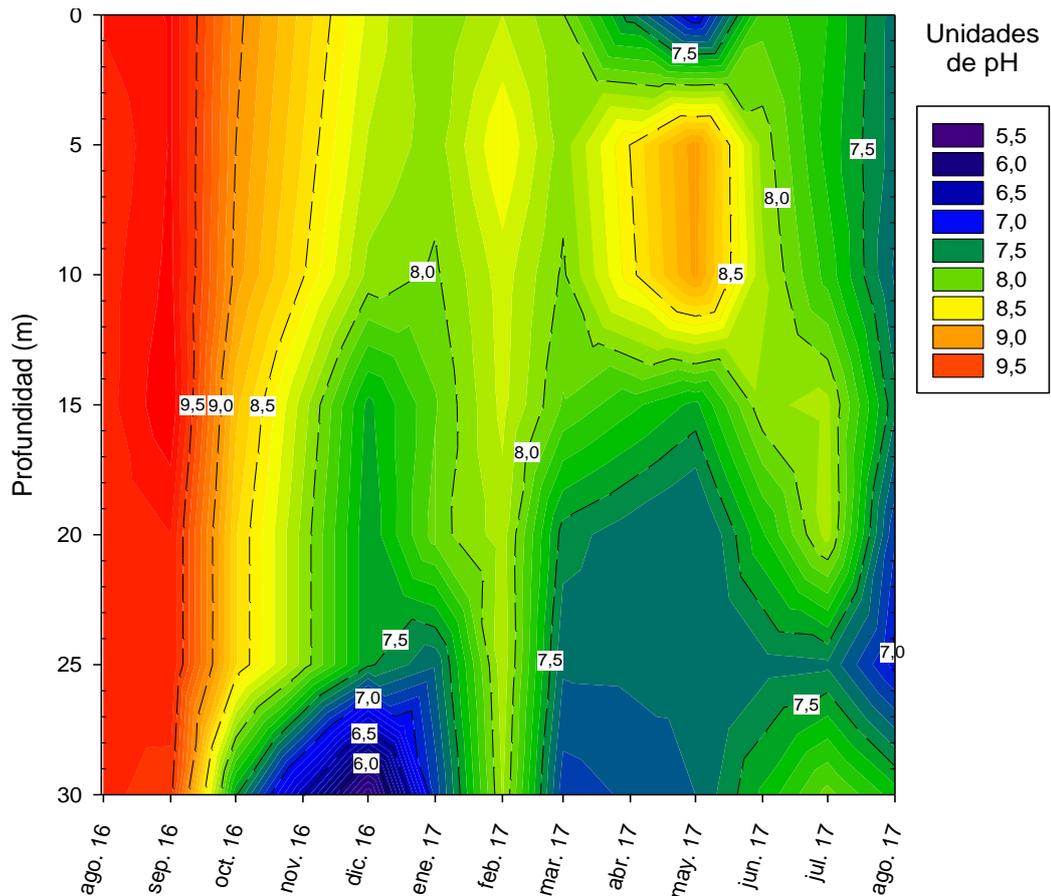


Figura 10. Variación de pH en la columna de agua del lago San Pablo 2016-2017

En cuanto a la variación espacial y temporal de la Figura 10 se interpreta que existen periodos notables de homogeneidad en la distribución vertical de la columna de agua, estos datos comprenden al trimestre de agosto a octubre 2016 y de enero a marzo 2017, finalmente un último periodo de homogeneidad registrado durante el mes de agosto 2017.

En contraste los meses restantes se presentó un comportamiento que varía durante la distribución vertical sin embargo no se puede dar una lectura de una conducta repetitiva ya que en el periodo de noviembre a diciembre 2016 y en el mes de abril 2017 se observa un decrecimiento de las unidades de pH que genera una lectura inversamente proporcional entre la profundidad y el pH del agua; pero en el trimestre restante de mayo a julio 2017 existió una estratificación que presenta un pH elevado en la superficie, un leve crecimiento en el estrato entre los 5 a 15 metros de profundidad y posteriormente se observó nuevamente un decrecimiento que se

mantiene hasta el fondo en el segundo mes del trimestre, pero en los dos meses restantes se registró un aumento nuevamente al llegar cerca del fondo del lago. En estudios previos no se presenta un análisis de las fluctuaciones de pH en toda la columna de agua, pero se corroboró que la tendencia a generar períodos de homogeneidad es concurrente debido a los procesos de mezcla diaria durante la noche (Casallas y Gunkel, 2001) que conlleva a una constante mezcla del agua del lago.

3.3.5 Profundidad Secchi

La medida del disco Secchi a lo largo del año fue variando sin presentar un patrón considerable y descartando alguna relación en función a las épocas seca y lluviosa en el área de estudio, además 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 como se presenta en la Figura 11. 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).

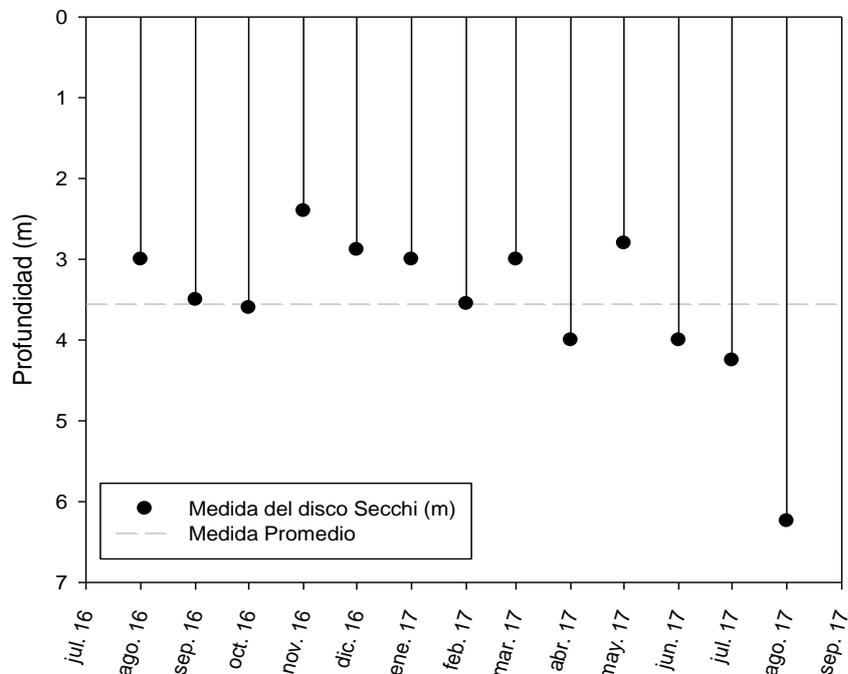


Figura 11. Medida del disco Secchi del lago San Pablo 2016-2017

Los valores máximos coincidieron con el periodo de estratificación y se ubicaron dentro de la época lluviosa y los valores más bajos se registraron cercanos a la mitad del año durante 1998-1999 (Casallas y Gunkel, 2001). En el presente estudio no coincidió estos patrones ya que los valores sobre el promedio se ubican cercanos a la época lluviosa, y los valores más profundos se presentaron en durante la época seca, además no existió una relación con la estratificación del lago.

Los valores registrados debajo de la línea del 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).

3.4 Parámetros biológicos del lago San Pablo

3.4.1 Distribución temporal de los grupos de zooplancton

Se registró 3 grupos de zooplancton: el orden 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.

Se presentaron variaciones en los distintos meses de muestreo de los organismos zooplanctónicos (Figura 12). Las densidades menores se encontraron en los meses de noviembre y diciembre 2016 con rangos menores a 200 ind/L. Por el contrario, las densidades mayores se hallaron en los meses de junio y julio 2017 con rangos mayores a 400 ind/L, al observar el cambio temporal del zooplancton en San Pablo, es claramente visible que existen varias fluctuaciones relacionadas directamente con las épocas ecológicas.

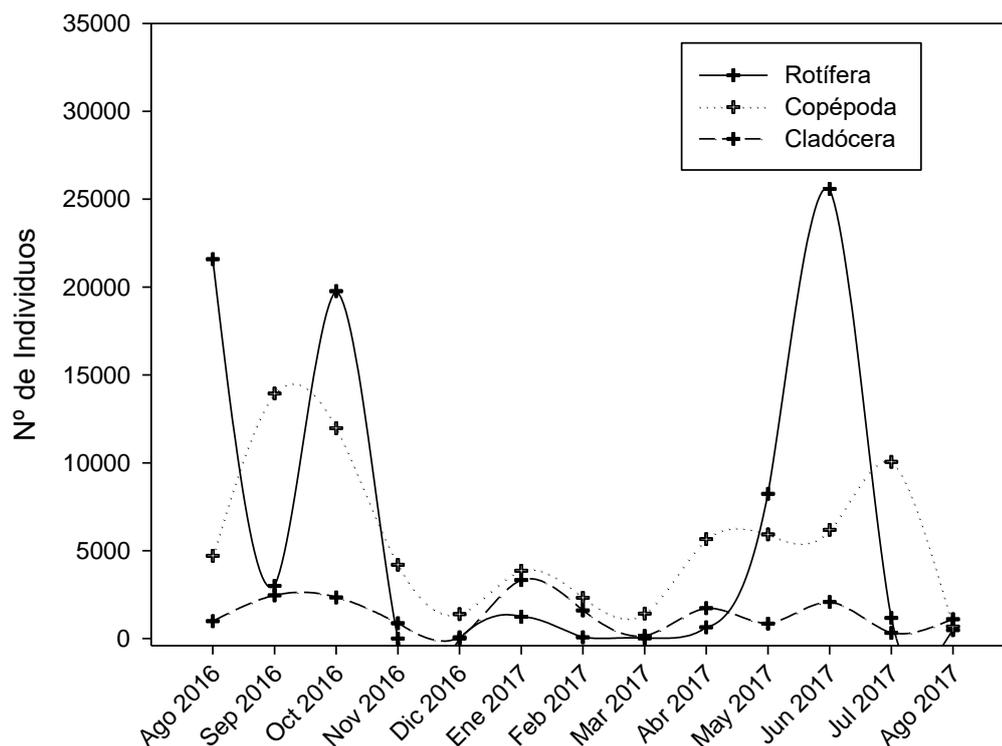


Figura 12. Distribución temporal de zooplancton del lago San Pablo 2016-2017

En lo referente a los rotíferos, se observó un aumento en su abundancia durante la época seca, comprendida entre junio y julio 2017, según Casallas y Gunkel (2001) tiene que ver con un aumento en el material suspendido, esto debido a la circulación en la columna de agua. En los lagos tropicales se ha observado que los rotíferos planctónicos pueden encontrarse en cualquier ambiente sin presentar una relación precisa con el estado trófico (Villabona *et al*, 2015). En su desarrollo no solo la disponibilidad de alimento es importante, ya que las asociaciones de rotíferos características de los trópicos están ampliamente determinadas por la temperatura y la salinidad, al igual que por la altitud y el tamaño de los cuerpos de agua Villabona *et al* (2014).

Con relación a la dominancia de rotíferos, algunos de los géneros registrados en este estudio se han considerado indicadores ambientales Márquez *et al* (2013). Es el caso del género *Brachionus* que se ha encontrado en este estudio, es típico de aguas alcalinas y duras, tanto en regiones templadas como tropicales, predominando en ambientes mesotróficos o eutróficos, y evitando condiciones hipereutróficas.

Los copépodos mostraron altos porcentajes en septiembre 2016 y julio 2017 (época seca), por el contrario, los valores mínimos se reportaron en el monitoreo de marzo 2017 (época lluviosa). Como grupo, los cladóceros fueron los menos abundantes durante todo el tiempo de estudio (Figura 12), a pesar de que no se evidenciaron variaciones significativas en las densidades, es preciso señalar que los valores mínimos se presentan en el mes de diciembre 2016 (finalizando la época lluviosa), mientras que los valores máximos se registraron en el mes de junio 2017 (inicios de época seca).

La distribución temporal en el lago San Pablo de los principales grupos mostró que, los rotíferos fueron dominantes con densidades marcadas, es así, como se presenta la mínima de 1 ind/L hasta la máxima de 852 ind/L, los copépodos con abundancia mínima de 22 ind/L y máxima de 465 ind/L. Finalmente, los cladóceros rondan su abundancia mínima de 2 ind/L y la máxima de 111 ind/L, siendo el grupo con menos abundancia con relación a los anteriormente señalados.

3.4.2 *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 (Figura 13).

La mayor densidad se concentró en el estrato de superficial y en los 15 m con valores de 49,87 y 57,0 ind/L respectivamente, ambos valores pertenecen al grupo de rotíferos, en contraste las menores densidades fueron de 5,61 y 4,91 ind/L ambas en el grupo de los cladóceros registrados en la superficie y en el estrato de 25 m.

La población del orden de rotíferos presentó grandes fluctuaciones con una desviación estándar de 15,29 ind/L. La fluctuación de la densidad se presentó desde la superficie a los 5 m decreciendo, seguido de un aumento equivalente al inicio, desde los 5 hasta los 15 metros llegando al máximo de la densidad, luego decrece nuevamente hasta llegar a los 30 m de 57,0 a 6,13 ind/L.

Para el grupo de los copépodos su desviación estándar es de 8,97 ind/L y presentó un aumento en el rango de profundidad desde la superficie hasta los 10 m, en los cuales su densidad asciende desde 12,37 a 35,6 ind/L, en la variación de profundidad de 10 a 15 m existió un decrecimiento de la densidad, seguido de un aumento al llegar a los 20 m, finalmente la densidad poblacional decrece al acercarse al fondo desde 41,97 a 23,96 ind/L.

En los cladóceros se tuvo un comportamiento considerablemente regular a diferencia de los otros dos grupos en la distribución vertical, presentó ligeras fluctuaciones, su desviación estándar es de 1,43 ind/L. Desde la superficie hasta los 10 m se presentó un incremento en la densidad y otro incremento en el último intervalo de 25 a 30 m, durante la variación de la profundidad de 10 a 25 metros su densidad decrece como se observa en la Figura 13.

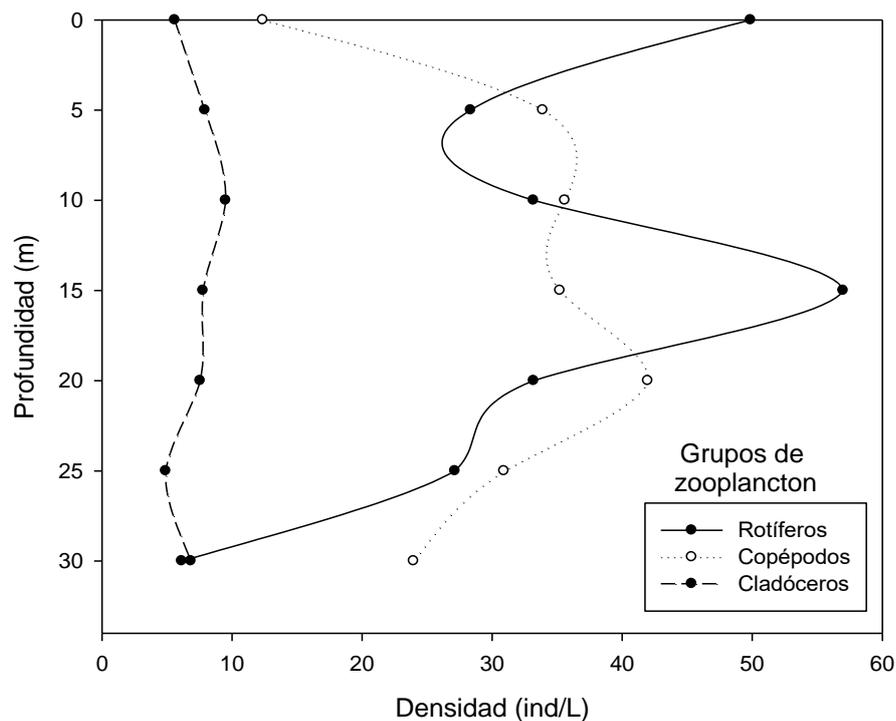


Figura 13. Distribución vertical por grupos zooplanctónicos del lago San Pablo 2016-2017

La dominancia de Rotífera sobre los demás grupos durante la mayor distribución de la columna de agua, se puede deber a su amplia capacidad de generar distintas protecciones para resistir a los cambios del medio abiótico, sumado a su reproducción partenogénica que les facilita la tasa de reproducción que contribuye

a rápidas repoblaciones (Andrade *et al.*, 2011; Glime, 2013; Cabera, 2015). Éstas características constituyen que su adaptabilidad a los cambios y fluctuaciones a lo largo de la profundidad del lago, el decrecimiento final de la gráfica se puede atribuir a cambios radicales en las condiciones físicas sobre todo en las disponibilidad del oxígeno disuelto ya que se halla registrada la correlación negativa con el zooplancton y la hipoxia, esta condición se observó también en los copépodos durante el estrato de 25 a 30 m (Álvarez, Ordóñez, Valdés, Almaral, y Uicab, 2007)

El suborden Copépoda es el segundo más abundante de la distribución vertical del zooplancton, su distribución, no obedece un patrón considerable, pero como se observa en la (Figura 13) su aumento puede estar ligado a cambios en el medio físico, sin embargo no son variaciones considerables, del último estrato de 20 a 30 m disminuye debido a la limitada habilidad a sobrevivir a condiciones bajas de oxígeno disuelto, el cual persiste al llegar al fondo de los lagos (Roman, Gauzens, Rhinehart, y White, 1993).

El grupo Cladóceras presentó una distribución casi uniforme a lo largo de la columna de agua, este grupo se caracteriza por movimientos migratorios tanto verticales como horizontales, en dependencia de muchos factores, pero se debe recalcar que la luz no es un factor determinante en su distribución vertical. (Trejo, 2014). Además presentan varias adaptaciones ecológicas y mecanismos de dispersión, que les permiten desarrollarse en diversos medios acuáticos (Cabrera, 2015). Esto sugiere que por sus diversas características los cladóceros podrán distribuirse a lo largo de la columna de agua homogéneamente.

3.4.3 Distribución vertical de los grupos de zooplancton por épocas

El análisis del zooplancton diferenciado por épocas presentó un cambio en la distribución a lo largo de la columna de agua, en la (Figura 14) se puede visualizar dos diagramas, el primero corresponde a la distribución en época lluviosa y el segundo a la seca. Se visualiza como los tres grupos se concentran en el estrato inferior, ya que las mayores densidades de individuos se ubican bajo los 20 m

durante la época lluviosa. Sin embargo, durante la época seca las mayores densidades se ubican en las capas superiores a los 20 m.

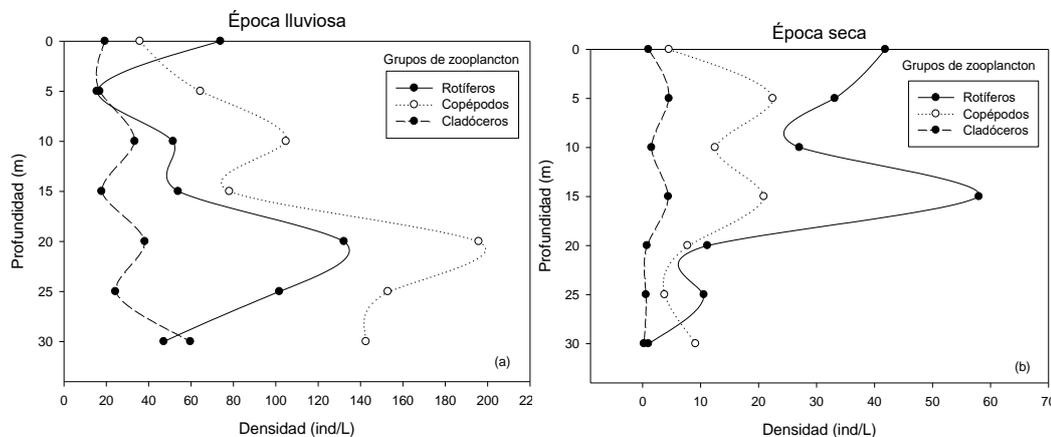


Figura 14. Distribución vertical del zooplancton en época lluviosa (a) y seca (b)

Según Horne y Goldman (1994) se sabe que las fluctuaciones temporales del zooplancton son menos dramáticas en las zonas de los trópicos que en las regiones templadas, por ello los picos poblacionales de los lagos podrían variar grandemente de año a año dependiendo de algunos factores. El comportamiento de las densidades poblacionales varía inversamente en la distribución al comparar la época seca de la lluviosa.

Los menores valores de masa zooplanctónica está asociada al aumento de la temperatura, aparición de precipitaciones combinada a la disminución de vientos (Márquez *et al.* 2007), es decir que el estrato superior del lago en época lluviosa tendrá condiciones del aumento de temperatura por la estratificación térmica registrada además existirá constantes precipitaciones y disminución de vientos, lo cual se refleja en las bajas densidades poblacionales en el estrato superficial.

Así mismo durante la época seca, favorece a que las comunidades asciendan al estrato superior ya que la temperatura disminuye junto a las precipitaciones y el viento aumenta. Acosta (2005) afirma que la composición zooplanctónica es afectada principalmente durante las épocas de llenado, donde se detecta variaciones en el aumento de agua y disminución de concentraciones de oxígeno, época hidrológica con condiciones similares a la época ecológica lluviosa, que también

puede explicar la distribución de las mayores densidades en los estratos profundos del lago.

3.4.4 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 15, 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.

Durante el periodo de muestreo se evidencio a la división *Chlorophyta* como permanente durante todo el estudio, además fue una de las más abundantes en referencia a otras divisiones, además la presencia frecuente de la división *Bacillariophyta* también se registró como uno de los filos más abundantes, en contraste *Charophyta* y *Euglenophyta* fueron las divisiones más raras en presencia además de tener una abundancia muy baja como se visualiza en la Figura 15.

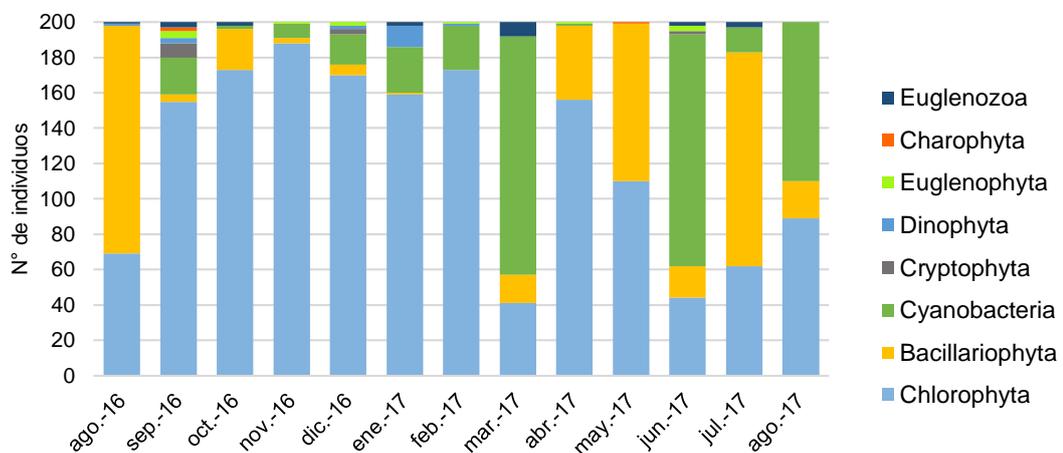


Figura 15. Distribución de divisiones de fitoplancton del estudio

Con relación a la presencia de las especies, (Tabla 10). Se encontraron 3 especies 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 sp*, *Planktosphaeria gelatinosa* y *Microcystis*

aeruginosa. Por el contrario, existieron especies que su presencia se encuentra en el rango denominado raro, en el que se localizan especies como *Coelastrum microporum*, *Golenkinia radiata*, *Lagerheimia sp*, *Scenedesmus linearis*, *Volvox sp*, *Westella sp*, *Nitzschia sp*, *Pseudanabaena*, *Merismopedia*, *Chroomonas acuta*, *Cryptomonas ovata*, *Gyrosigma sp*, *Peridinium sp*, *Gymnodinium sp*, *Phacus* y *Elakatothrix gelatinosa*.

Respecto a la abundancia de los géneros de fitoplancton en el lago San Pablo, existe únicamente una abundancia considera alta en la clorofita *Ankyra judayi*, una abundancia media se presenta con la cianobacteria *Microcystis aeruginosa* y la bacillariofita *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 (Tabla 10).

Tabla 10. Presencia y abundancia de fitoplancton de las especies registradas durante el estudio

Especies	Presencia	Abundancia
División: Chlorophyta		
<i>Ankyra judayi</i>	f	Alta
<i>Chlamydomonas sp</i>	p	Muy baja
<i>Chlorella vulgaris</i>	e	Muy baja
<i>Coelastrum microporum</i>	r	Muy baja
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i>	f	Muy baja
<i>Cosmarium sp</i>	e	Muy baja
<i>Golenkinia radiata</i>	r	Muy baja
<i>Lagerheimia sp</i>	r	Muy baja
<i>Monoraphidium komarkovae</i>	f	Muy baja
<i>Nephrocytium schilleri</i>	f	Muy baja
<i>Oocystis marssonii</i>	f	Muy baja
<i>Pediastrum boiyanum</i>	f	Muy baja
<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>	p	Baja
<i>Scenedesmus linearis</i>	r	Muy baja
<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>	e	Muy baja
<i>Staurastrum sp</i>	f	Muy baja
<i>Tetraedron sp</i>	f	Muy baja
<i>Volvox sp</i>	r	Muy baja
<i>Westella sp</i>	r	Muy baja
División: Bacillariophyta		
<i>Aulacoseira granulata</i>	f	Media
<i>Cocconeis sp</i>	f	Muy baja
<i>Nitzschia sp</i>	r	Muy baja

<i>Gyrosigma sp</i>	r	Muy baja
División: Cyanobacteria		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	p	Media
<i>Pseudanabaena</i>	r	Muy baja
<i>Merismopedia</i>	r	Muy baja
División: Cryptophyta		
<i>Chroomonas acuta</i>	r	Muy baja
<i>Cryptomonas ovata</i>	r	Muy baja
División: Dinophyta		
Peridinium sp	r	Muy baja
Gymnodinium sp	r	Muy baja
División: Euglenophyta		
<i>Euglena sp</i>	e	Muy baja
<i>Phacus</i>	r	Muy baja
División: Charophyta		
<i>Elakatothrix gelatinosa</i>	r	Muy baja
Euglenozoa		
<i>Trachelomonas volvocina</i>	f	Muy baja

El índice de presencia fue asignado basado en los porcentajes de las especies representando: r = raro (0-25%), e = esporádico (25-50%), f = frecuente (50-75%) y p = permanente (75-100%). El índice de abundancia fue asignado en los rangos de Alta, Media, Baja y Muy baja, en base al número de cada especie sobre el número total de individuos.

El exceso de algas verdes (Chlorophyta) puede ser la causa de alteraciones en el color; el agua toma un color verde y puede presentar olor y sabor desagradables según las especies de algas predominantes (Aurazo, 2013). Se observó gran cantidad de especies pertenecientes a las algas verdes, de hecho, dos especies que se mantienen permanentes en el periodo de estudio son *Chlamydomonas sp* y *Planktosphaeria gelatinosa*.

Gunkel y Casallas (2001) señalan que las especies que mantienen permanencia en los años 1998-1999 son *Scenedesmus linearis* y *Pediastrum boiyanum*. Las especies consideradas con presencia permanente tanto en los años 1998-1999 como en el presente estudio, corresponden a la división Chlorophyta. Finalmente, la especie *Microcystis aeruginosa* en el estudio realizado por Gunkel y Casallas (2001) señala que mantiene una presencia esporádica, mientras que en el presente estudio es permanente y presenta una abundancia mayor en relación al anterior estudio.

El aumento de la abundancia en el caso de la cianobacteria *Myrosistis 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.

La abundancia más alta ocupada por la especie *Ankyra judayi* presentó un precedente en el estudio realizado en 1998-1999 en el cual su abundancia era frecuente, sin embargo ahora su dispersión ha aumentado, además la dominancia de los géneros como *Aulacoseira*, ha sido registrada con anterioridad en el lago, según Casallas y Gunkel (2001) esta misma especie se registró como una de las comunidades dominantes la cual se encontró a lo largo del ciclo hidrológico.

3.5 Criterios de calidad para aguas con fines recreativos

Se entiende por uso del agua para fines recreativos, la utilización en la que existe:

- a) Contacto primario, como en la natación y el buceo, incluidos los baños medicinales.
- b) Contacto secundario como en los deportes náuticos y pesca.

Los criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos mediante contacto primario se presentan a continuación (Tabla 11). En el caso de las actividades recreativas que poseen contacto secundario se establecen los mismos parámetros a excepción de la medida del disco Secchi, 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.

Tabla 11. Criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	Lago San Pablo
Oxígeno Disuelto	O.D.	mg/L	No menor a 6 mg/L	6*
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 - 8,5	8,13
Transparencia de las aguas medidas con el disco Secchi		m	2,0 m.	3,5

*Valor promedio de los 30 m de la columna de agua

Si bien es cierto, el uso del agua en actividades recreativas puede traer beneficios para la salud, también puede generar efectos adversos cuando está contaminada o cuando es insegura. El Ecuador tiene una riqueza turística aún no explotada, sin embargo, si ésta no se realiza de manera racional y técnica, puede ocasionar que los recursos naturales se degraden hasta su pérdida total. Al evaluar los datos existentes en el lago San Pablo y tomando como referencia la tabla de criterios de calidad para aguas destinadas para fines recreativos, se encontró que, si es recomendable realizar estas actividades, los datos obtenidos en los niveles en los que se realizan dichas actividades se encuentran dentro de los límites establecidos.

3.6 Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego

Se entiende por agua de uso agrícola aquella empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias que establezcan los organismos competentes, para la evaluación del agua de lago San Pablo acerca de su uso en actividades de riego, se tomaron en cuenta los datos registrados durante el periodo de estudio (Tabla 12) y se realizó la comparación con la tabla 6 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA), haciendo un especial énfasis en los parámetros físicos tales como; potencial de hidrógeno y transparencia de las aguas medidas con el disco Secchi.

Tabla 12. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

Parámetros	Expresado en	Unidad	Límite máximo permisible	Lago San Pablo
Potencial de hidrógeno	pH		6,5 - 8,5	8,13
Transparencia de las aguas medidas con el disco Secchi		m	2,0 m	3,5

Fuente: Tabla de límites permisibles para agua de uso recreacional del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente, 2012.

Mediante la comparación realizada, se pudo evidenciar que no es conveniente determinar la calidad de agua en base únicamente a los parámetros físicos, ya que los datos presentan una notable ambigüedad, es necesario que, para realizar un análisis más profundo, se tomen en cuenta los parámetros químicos.

3.7 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 16, no existe una aparente relación de las variables ambientales sobre las comunidades biológicas.

Para el grupo de los rotíferos su distribución fue evidenciada en el estrato de 15m y no presento relaciones con parámetros ambientales, para los copépodos su distribución se concentra mayormente en los puntos de 20 a 25 m, adicional a ello este grupo está asociado con la conductividad y al prolongar las variables ambientales ubicadas en tercer cuadrante también existe una correlación con el pH, la medida de disco Secchi, la temperatura y el oxígeno disuelto. En cuanto al suborden Cladóceras se ubicó en el cuarto cuadrante presentando preferencia a los puntos de 5, 10 y 30 m, pero no tiene relación a ninguna variable ambiental.

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.

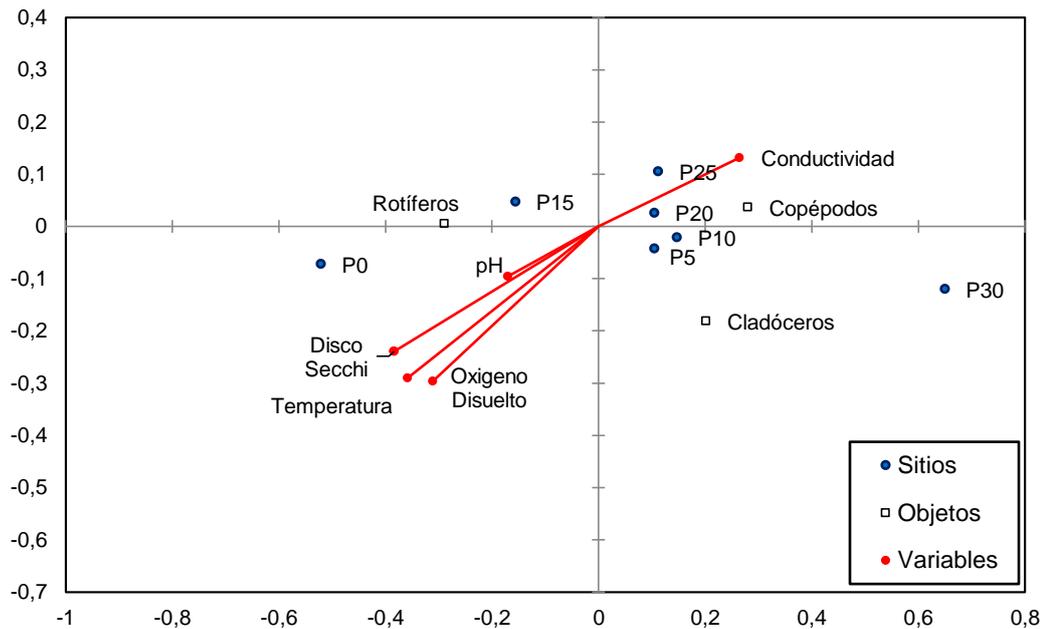


Figura 16. Análisis de correspondencia canónica del lago San Pablo 2016 – 2017

Los resultados sugieren la existencia de una relación entre la comunidad de los copépodos y la conductividad, Frisch y Green, (2007) reportan que la abundancia del zooplancton se correlaciona negativamente con la conductividad, además mediante la aplicación del CCA también se demostró que los copépodos tienen una correlación negativa con la conductividad (Frisch, Moreno y Green, 2006). La gráfica señala una relación positiva debido a que el comportamiento registrado en el estudio presento una tendencia de decrecimiento de las unidades de conductividad a lo largo de los meses.

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.

3.8 Especies bioindicadoras

3.8.1 Especies zooplanctónicas bioindicadoras

En los parámetros biológicos el registro de especies de zooplancton permitió recopilar la información bibliográfica disponible de aquellas que puedan determinar el estado trófico del lago San Pablo. Para ello se presenta para el zooplancton la Tabla 13, en la cual se visualizan las características bioindicadoras de los grupos registrados y las especies existentes dentro del género con potencial biológico de indicadores de calidad ambiental.

Tabla 13. Especies zooplanctónicas bioindicadores de estado trófico

Grupos zooplanctónicos (Género)	Estado trófico			Autor (es)
	Eutrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	
Rotífera	X			Sanabria (1995)
<i>Brachionus</i>	X			Roldán (1992)
<i>Polyarthra</i>		X		Pinilla <i>et al.</i> (1993)
Cladóceras				
<i>Daphnia pulicaria</i>		X	X	Márquez y Guillot (1988) Ramírez (1986)
Copépoda	X			Márquez y Guillot (1988)
<i>Metacyclops mendocinus</i>	X			Ramírez (1987)

El orden Rotífera se caracteriza como un grupo predominante en las aguas eutróficas ya que aquí se propician enormes proliferaciones de algas pequeñas que favorecen a los filtradores (Carrasco 2001), en la Tabla 13 se evidenció que este grupo también es un bioindicador de eutrofia según los autores citados en la tabla.

Además, aun cuando la abundancia es menor en el grupo de Copépoda se registró la especie *Metacyclops mendocinus* la cual es bioindicador de aguas eutróficas, para el suborden de Cladóceras es característico de lagos Oligotróficos sin embargo la especie registrada para el lago San Pablo, *Daphnia pulicaria* es un bioindicador de

estados mesotróficos, lo que explicaría su baja abundancia en la distribución poblacional del presente estudio.

Mediante el análisis de las especies con potencial biológico indicador del estado trófico, se obtuvo que el lago San Pablo en relación con los grupos zooplanctónicos se encuentra en estado eutrófico. *Especies fitoplanctónicas bioindicadoras*

Según Bourrelly (1985) el componente de fitoplancton constituye excelentes indicadores biológicos: permiten reconocer el grado de polución, la salinidad, el pH de las aguas, puesto que ciertas especies pueden vivir solo en un medio bien definido. Así, se presenta en la Tabla 14 las especies de fitoplancton registradas en el lago San Pablo que presentan un potencial indicador del estado trófico.

Tabla 14. Especies fitoplanctónicas bioindicadores de estado trófico

Especies	Estado trófico			Autor (es)
	Eutrófico	Mesotrófico	Oligotrófico	
<i>Ankyra judayi</i>	X			Reynolds, Huszar, Kruk, Naselli-Flores, y Melo (2002) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Chlamydomonas sp</i>	X			Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Chlorella vulgaris</i>	X			Ruiz <i>et al.</i> (1984) Duque y Donato (1993) Reynolds, Huszar, Kruk, Naselli-Flores, y Melo (2002)
<i>Coelastrum microporum</i>	X			Reynolds, Huszar, Kruk, Naselli-Flores, y Melo (2002) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i>	X			Reynolds, Huszar, Kruk, Naselli-Flores, y Melo (2002)
<i>Golenkinia radiata</i>	X			Reynolds, Huszar, Kruk, Naselli-Flores, y Melo (2002); Confederación Hidrográfica del Guadiana, (2010)
<i>Monoraphidium komarkovae</i>	X			Reynolds, Huszar, Kruk, Naselli-Flores, y Melo (2002) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Nephrocytium schilleri</i>	X	X		Pinilla (1995)

				Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Oocystis marssonii</i>		X	X	Duque y Donato (1992) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Pediastrum boiyanum</i>	X			Donato <i>et al.</i> (1987) Duque y Donato (1992) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>	X			Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010) Guillén (2015)
<i>Scenedesmus linearis</i>	X			Márquez y Guillot (1988) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Sphaerocystis schroeteri</i>		X		Ramírez (1986) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Volvox sp</i>		X		Ramírez (1986) Márquez y Guillot (1988)
<i>Aulacoseira granulata</i>	X			Duque y Donato (1992) Pino (1995)
<i>Microcystis aeruginosa</i>	X			Espino y Pulido (2000) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Chroomonas acuta</i>		X		Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010) Torres <i>et al</i> (2015)
<i>Cryptomonas ovata</i>		X		Emiliani <i>et al</i> (2000) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Elakatothrix gelatinosa</i>	X			Duque y Donato (1992) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)
<i>Trachelomonas volvocina</i>		X		Canosa y Pinilla (1998) Confederación Hidrográfica del Guadiana (2010)

De la tabla se resalta que las especies más abundantes del estudio como *Ankyra judayi*, *Microcystis aeruginosa* y *Alaucoseira granulata*, se reportaron como bioindicadoras de lagos eutróficos según los autores citados en la Tabla 14, además *Chlamydomonas sp*, *Plankstophacteria gelatinosa* y *Microcystis aeruginosa* que presentaron una presencia permanente también caracterizan a lagos en estado eutrófico.

Del análisis posterior, se debe enfatizar las características del género *Microcystis*, ya que; según Hernández, Rojo, Ríos, Ortega, y Gómez (2017) su presencia ha sido un factor de atención en todo el mundo por su capacidad de generar floraciones tóxicas al producir microcistinas.

Este género fue de abundancia media y su registro fue permanente, además de que caracteriza a lagos eutróficos como su hábitat. Durante los monitoreos se registró un “Bloom” o florecimiento de este género (Véase Anexo 11), proceso que conlleva consecuencias al ecosistema acuático, se pueden describir las siguientes características asociadas a estas floraciones según Vela *et al.* (2007) enumera:

- Se puede consumir una gran cantidad de oxígeno por la respiración y por la degradación por parte de otras bacterias de la materia orgánica que sedimenta cuando la floración desaparece, esto lleva a condiciones de anoxia ocasionando la muerte de los organismos (peces, por ejemplo) que viven cercanos al sedimento.
- Hay síntesis por parte de las cianobacterias de compuestos volátiles que dan un sabor y olor desagradable a las aguas.
- Puede haber síntesis de cianotoxinas.

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.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Las condiciones climáticas están caracterizadas por dos épocas lluviosas y una época seca. El lago posee una profundidad de 34,77 m, la longitud máxima es 3,62 km, su amplitud máxima 2,30 km y un perímetro de 11,73 km.

Los parámetros físicos determinaron la presencia de una frágil termoclina en el estrato comprendido de 5 a 10 m durante octubre a diciembre, la conductividad es constante en la columna de agua, 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. En tanto el análisis de fitoplancton determinó a 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.

4.2 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 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.

Adaptar una metodología que permita la obtención de datos durante la época seca en la que existen fuertes corrientes internas que impiden el ingreso adecuado de los equipos a la columna de agua.

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 *Microcystis* 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.

Se recomienda realizar el análisis químico de elementos como nitrógeno, fosforo y carbono que permita determinar las condiciones o características del estado trófico del lago.

REFERENCIAS

- Acosta, F. (2005). Caracterización del zooplancton de lagunas en la llanura inundable del río Ichilo (Cochabamba-Bolivia). *Revista Boliviana de Ecología*, 17, 01-14.
- Álvarez, J., Ordóñez, U., Valdés, D., Almaral, A., y Uicab, A. (2007). Estudio anual del zooplancton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, mar Caribe de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 78(2), 421–430.
- Álvarez, J. P. A., Panta, J. E. R., Ayala, C. R., y Acosta, E. H. (2008). Calidad Integral del Agua Superficial en la Cuenca Hidrológica del Río Amajac. *Información tecnológica*, 19(6), 21–32. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642008000600004>
- Andrade, C., y Et, A. (2011). Efectos de la fluctuación del nivel del agua sobre la estructura del ensamble de rotíferos en el lago Largo (Sistema Yahuarcaca – Llanura de inundación del río Amazonas – Colombia). *Caldasia*, 33(2). Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cal/article/view/36412>
- Arauzo, M. (2013). Aspectos biológicos de la calidad del agua: Capítulo dos.
- Apablaza, P., y Palma, S. (2006). Efecto de la zona de mínimo oxígeno sobre la migración vertical de zooplancton gelatinoso en la bahía de Mejillones. *Investigaciones marinas*, 34(2), 81–95. <https://doi.org/10.4067/S0717-71782006000200009>
- Barbier, E. B., Acreman, M., y Knowler, D. (1997). Valoración económica de los humedales: guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar. Recuperado de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/handle/minam/1606>
- Barros, S., Carrasco, M. (2006). Estudio limnológico en la laguna de Surocucho (Cuenca hidrográfica de Llaviuco). Reporte ETAPA, 42 pp.
- Benjumea H., C. A., Wills Toro, Á., y Aguirre Ramírez, N. J. (2008). Principales aspectos morfométricos de la Ciénaga de Cachimbero, Santadnder - Colombia. instname: Universidad de Antioquia. <https://doi.org/10.15446/ga>
- Borregán, L. O. (2011). Temporalidad de parámetros de calidad en el lago de Yojoa, Honduras, 142.

- Bourelly, 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. • Bourelly, P. 1985b. Les algues d'eau douce: Initiation à la systématique, 3, 1179-92.
- Cabrera, J. (2015). *Análisis temporal y espacial de comunidades zooplanctónicas en los lagos andinos: Yahuarcocha y Mojanda, Ecuador*. (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador
- Caicedo, F. (2016). *Evaluación de la dinámica poblacional del fitoplancton con relación a las características físico-químicas del Lago Altoandino Yahuarcocha*. (Tesis inédita de Ingeniería). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
- 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.
- Dorador, C., Pardo, R., y Vila, I. (2003). Variaciones temporales de parámetros físicos, químicos y biológicos de un lago de altura: el caso del lago Chungará. *Revista chilena de historia natural*, 76(1), 15–22. <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2003000100002>

- 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).
- Frisch, D., y Green, A. J. (2007, abril). Copepods come in first: rapid colonization of new temporary ponds [Text]. Recuperado el 26 de junio de 2018, de <http://www.ingentaconnect.com/content/schweiz/fal/2007/00000168/00000004/art00001>
- Frisch, D., Moreno, M., y Green, J. (2006). Species Richness and Distribution of Copepods and Cladocerans and their Relation to Hydroperiod and Other Environmental Variables in Doñana, South-west Spain. *Hydrobiologia*, 556(1), 327–340. <https://doi.org/10.1007/s10750-005-1305-z>
- Glime, J. (2013). Invertebrates: Rotifers. En J. Glime, *Bryophyte Ecology. Volumen 2. Bryological Interaction* (págs. 451-4522). Michigan: Michigan Technological University.
- Gunkel, G. (2000). Limnology of an equatorial high mountain lake in Ecuador, Lago San Pablo. *Limnologica - Ecology and Management of Inland Waters*, 30(2), 113–120. [https://doi.org/10.1016/S0075-9511\(00\)80005-5](https://doi.org/10.1016/S0075-9511(00)80005-5)
- Gunkel, G. (2003). Limnología de un Lago Tropical de Alta Montaña, en Ecuador: Características de los sedimentos y tasa de sedimentación. *Revista de Biología Tropical*, 51(2), 381–390.
- Gunkel, G., y Casallas, J. (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)
- Gunkel, G., y Casallas, J. (2004). ¿El Lago San Pablo (Imbakucha) – Un lago eutrófico?
- Häder, D. P. (1995). Influence of ultraviolet radiation on phytoplankton ecosystems. *Algae, environment and human affairs*, 41-55.
- Hernández, R., Rojo, G. J., Ríos, M. S., Ortega, M. del R., y Gómez, C. A. (2017). Incidencia de cuadros patológicos asociados al género *Microcystis* en el lago de Zirahuén. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 18(2), 40–50.

- Horne, A. J., y Goldman, C. R. (1994). *Limnology* (2nd ed., p. 60). New York: McGraw-Hill.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (2014). *Lo que Debemos Saber sobre Meteorología*. Quito.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (2010). *Censo de Población y Vivienda la versión 1.1 del conjunto de datos de uso público, suministrado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos del Ecuador*.
- Jaramillo, J. C. y Gaviria, S. (2003). Caracterización física, química y estructura de la comunidad zooplanctónica de un pequeño lago tropical, Lago Santander. (Rionegro, Antioquia, Colombia)., 355–380.
- Khalifa, N., El-Damhogy, K. A., Reda Fishar, M., Nasef, A. M., y Hegab, M. H. (2015). Vertical distribution of zooplankton in Lake Nasser. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 41(2), 177–185. <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2015.03.002>
- Kuha, J., Arvola, L., Hanson, P., Huotari, J., Huttula, T., Juntunen, J., y Karjalainen, J. (2016). Response of boreal lakes to episodic weather-induced events. *Inland Waters*, 6, 523–534. <https://doi.org/10.1080/IW-6.4.886>
- Lampert, W., y Sommer, U. (2007). *Limnoecology* (2nd ed). Oxford : New York: Oxford University Press Inc.
- Lanza, G. y Pulido, S. H. (2000). *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores)*. Plaza y Valdes.
- López., L., y Madroñero., M. (2015). Estado trófico de un lago tropical de alta montaña: caso Laguna de la Cocha. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, (25), 21-42
- López, J., Vásquez, V., Gómez, L., y Priego, G. (2010). *Humedales*.
- Márquez, B., Baumar, M., Díaz, J., Troccoli, L. y Subero, S. (2007). Variación estacional y vertical de la biomasa del macrozooplancton en la bahía de Mochima, Estado Sucre - Venezuela, durante 1997 - 1998. *Revista de biología marina y oceanografía*, 42(3), 241–252. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572007000300004>

- Márquez, L., Peña, B., Guzmán, L., y Gallardo, V. (2014). Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un microreservorio en el estado de Morelos. *HIDROBIOLÓGICA*, 23(2), 227-240.
- Massol, A. (2010). Curso Ecología Microbiana. UPRM.
- Madox, T. (2014). Trophic status and phytoplankton ecology of two lakes in northern Ecuador: Yahuarcocha & Mojanda. (Tesis inédita de Masterado). KU Leuven, Belgium.
- Michelutti, N., Wolfe, A. P., Cooke, C. A., Hobbs, W. O., Vuille, M., y Smol, J. P. (2015). Climate change forces new ecological states in tropical Andean lakes. *PloS One*, 10(2), e0115338. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115338>
- Mogollón, J., Ramírez, A., García, B., y Bifano, C. (1993). Uso de los parámetros Físico – Químicos de las aguas fluviales como indicadores de influencias naturales y antrópicas. *INTERCIENCIA*, 18(5), 249-254. doi: 76-0010 ISSN 0378-1844
- Montoya, Y. (2008). Caracterización Morfométrica De Un Sistema Fluviolacustre Tropical, Antioquia, Colombia. *Caldasia*; Bogota, 30(2), 413–420.
- Moreno, D., Quintero, J., y López, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, (78), 25–33.
- Moreno, Y. M. (2008). Caracterización morfométrica de un sistema fluviolacustre tropical, Antioquia, Colombia. *Caldasia*, 30(2), 413–420.
- Murillo, D., López, G., y Rodríguez, H. (2010). Desarrollo Sostenible, Uso Conjunto Y Gestion Integral de Recursos Hidricos. España: IGME.
- Ortega, S., Restrepo, J. P., Correa, R., Gómez-Giraldo, A., y Toro, M. (2010). XXIV CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA PUNTA DEL ESTE, URUGUAY, NOVIEMBRE 2010, 15.
- Otero, L. (2011). *Temporalidad de parámetros de calidad en el Lago Yojoa, Honduras*. (Tesis inédita de Maestría). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Painter, T. H., Rittger, K., McKenzie, C., Slaughter, P., Davis, R. E., y Dozier, J. (2009). Retrieval of subpixel snow covered area, grain size, and albedo from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 113(4), 868-879.

- Parra, O. (s/f). Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile central, 33.
- Peña, S., Rubalcaba, C., y NOVO, F. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba), 5.
- Pinilla, G. A. (1998). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica*. U. Jorge Tadeo Lozano.
- 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>
- República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Quito: Registro Oficial 449. Ecuador
- Roldán, G., y Ramírez, J. J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia.
- Roman, M. R., Gauzens, A. L., Rhinehart, W. K., y White, J. R. (1993). Effects of low oxygen waters on Chesapeake Bay zooplankton. *Limnology and Oceanography*, 38(8), 1603–1614. <https://doi.org/10.4319/lo.1993.38.8.1603>
- Ruiz, N., Escobar, C., y Escobar., C. (2007). Revisión de parámetros físicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Ingeniería e Investigación*, (27), 172-181.

- Saelens, P. (2015). Ecological functioning of a eutrophic, high-altitude shallow lake in Ecuador, Laguna Yahuarcocha. (Tesis inédita de Masterado). KU Leuven.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Quito: SENPLADES.
- 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.
- Trejo, R., Granados, J., y Gómez, J. (2014). Variación del cladóceros *Daphnia laevis* Birge, 1879 en el lago Zempoala, Morelos, México. Editor asociado, 25.
- Vela, L., Sevilla, E., Martín, B., Pellicer, S., Bes, M. T., Fillat, M. F., y Peleato, M. L. (2007). Las microcistinas. *Rev. Real Academia de Ciencias*, 62, 135-146.
- Vila, I., y Mühlhauser, H. (1987). Dinámica de lagos de altura, perspectivas de investigación. *Biol. Med. Exp* 20, 95–103.
- Villabona, L., Ramírez, J., Palacio, J., y Costa, C, (2015). Respuesta de la biomasa zooplanctónica a los gradientes de estado trófico y precipitación de un embalse tropical. *Académica Colombiana*, 39(152), 374-388.
- Villabona, L., Ramírez, J., Buitrago, F., y Palacio, J, (2014). Biomasa de rotíferos de dos embalses con diferentes estados tróficos (Antioquia, Colombia) y su relación con algunas variables limnológicas. *Actualidades Biológicas*, 36(101), 149-162.
- 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.
- Wetzel, R. G. (1981). *Limnología*. Omega.

ANEXOS

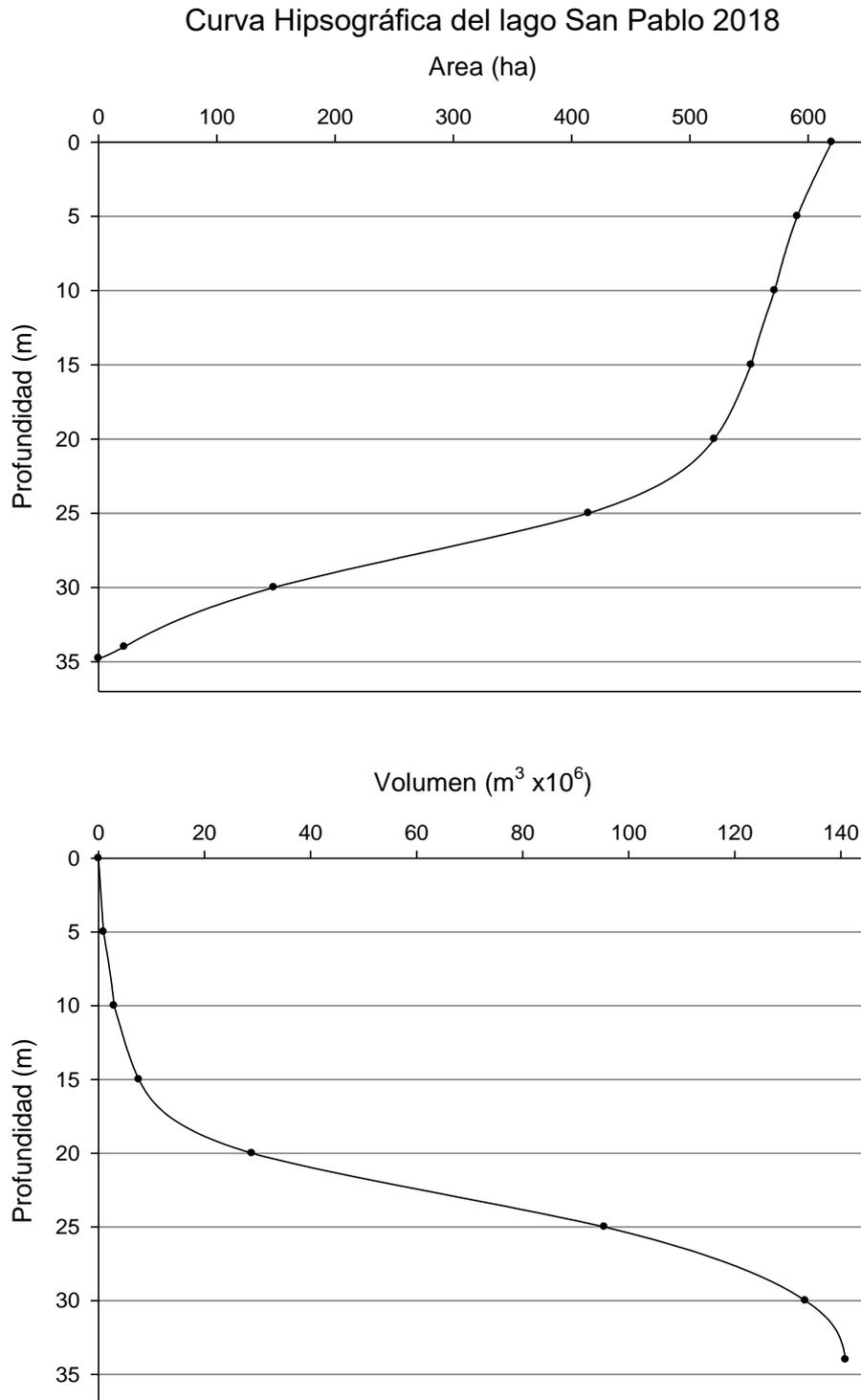
Anexo 1. Ficha de datos para las variables ambientales del monitoreo del Lago San Pablo.

Parámetros FÍSICO QUÍMICOS							
Fecha:				Lugar: SAN PABLO			
Puntos	T °C	mmHg	OD % L	OD mg/l	C	pH	Observaciones
P3 (PROFUNDO)							
0m							
5 m							
10 m							
15 m							
20 m							
25 m							
30 m							

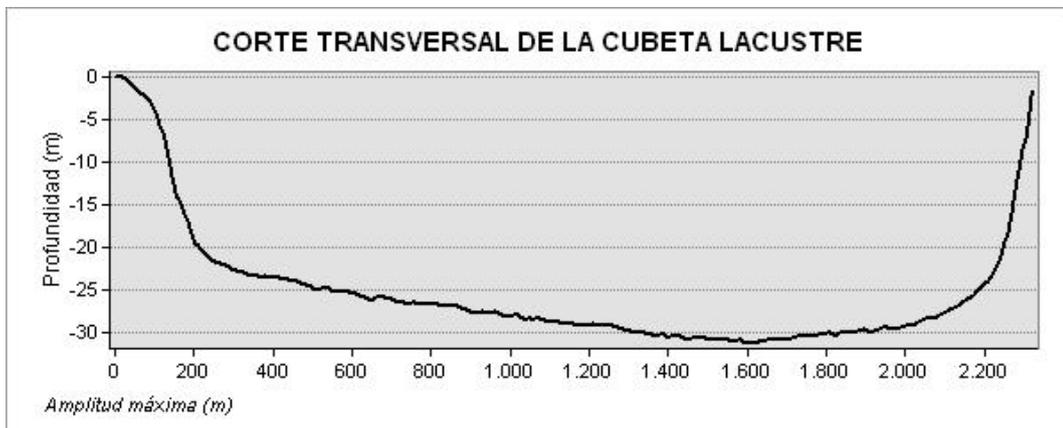
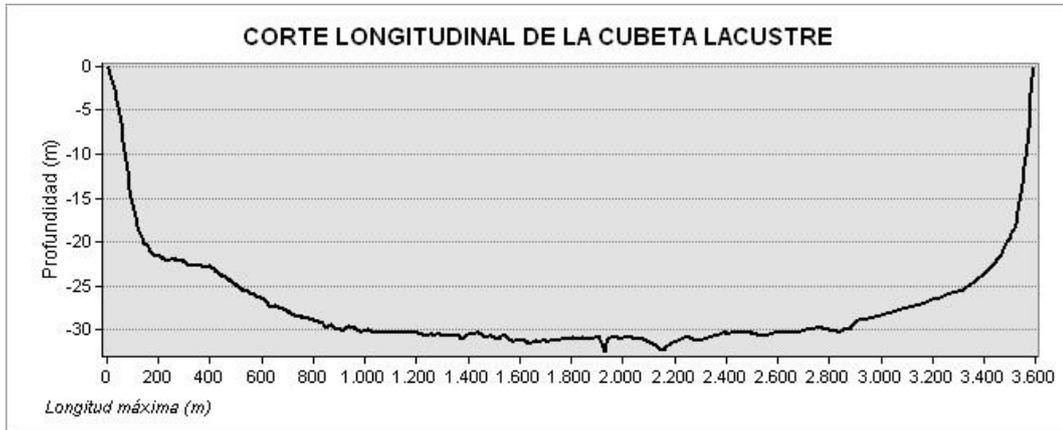
Puntos	Hora	Velocidad viento (An)m/s	Temperatura (An)°C	Puntos GPS	Nubosidad
P3					

Clorofila	Disco secchi	Profundidad máxima
1).....	1).....	
2).....	2).....	
3).....	Promedio	

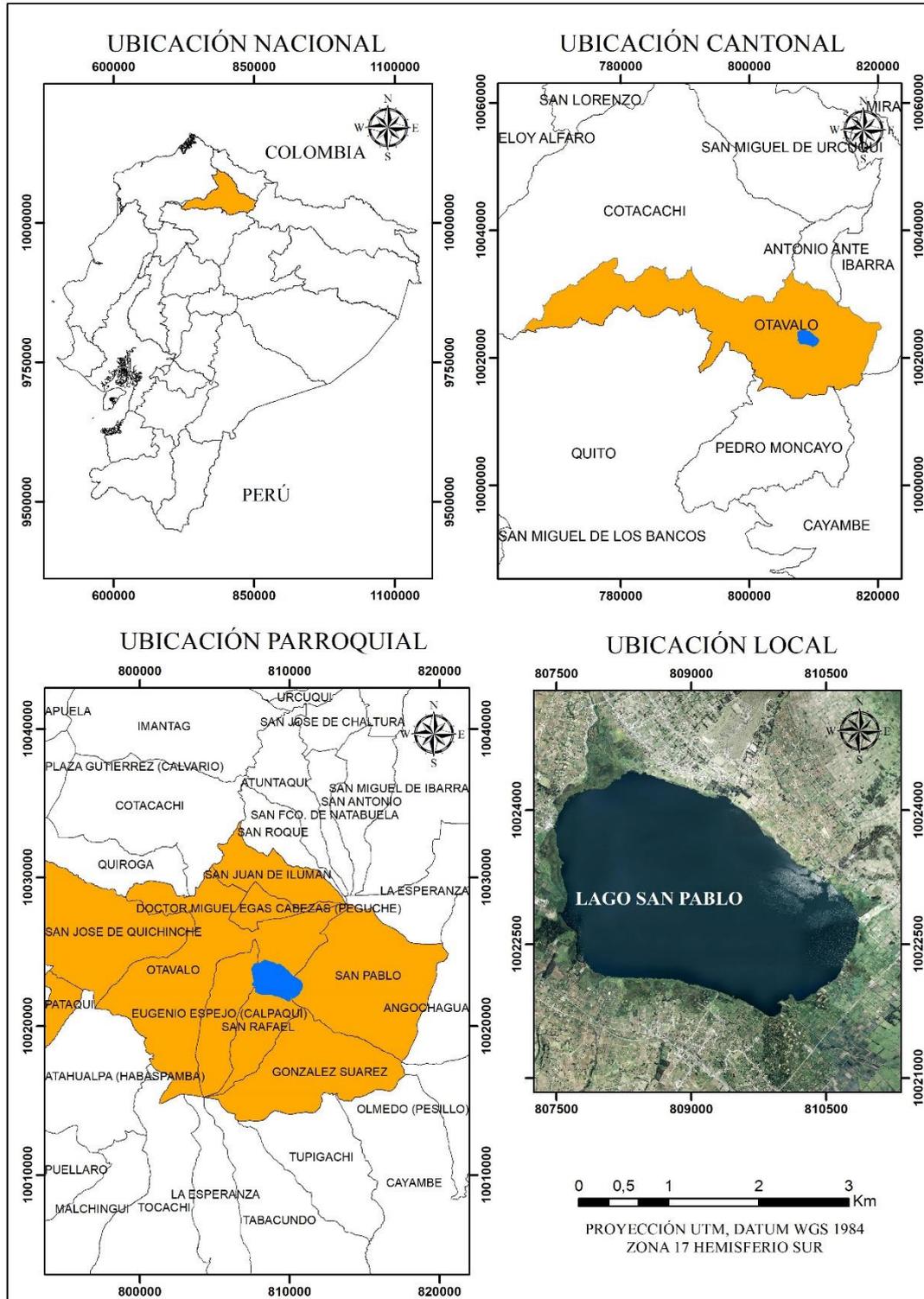
Anexo 2. Curvas Hipsográficas y de volumen de agua del lago San Pablo 2018.



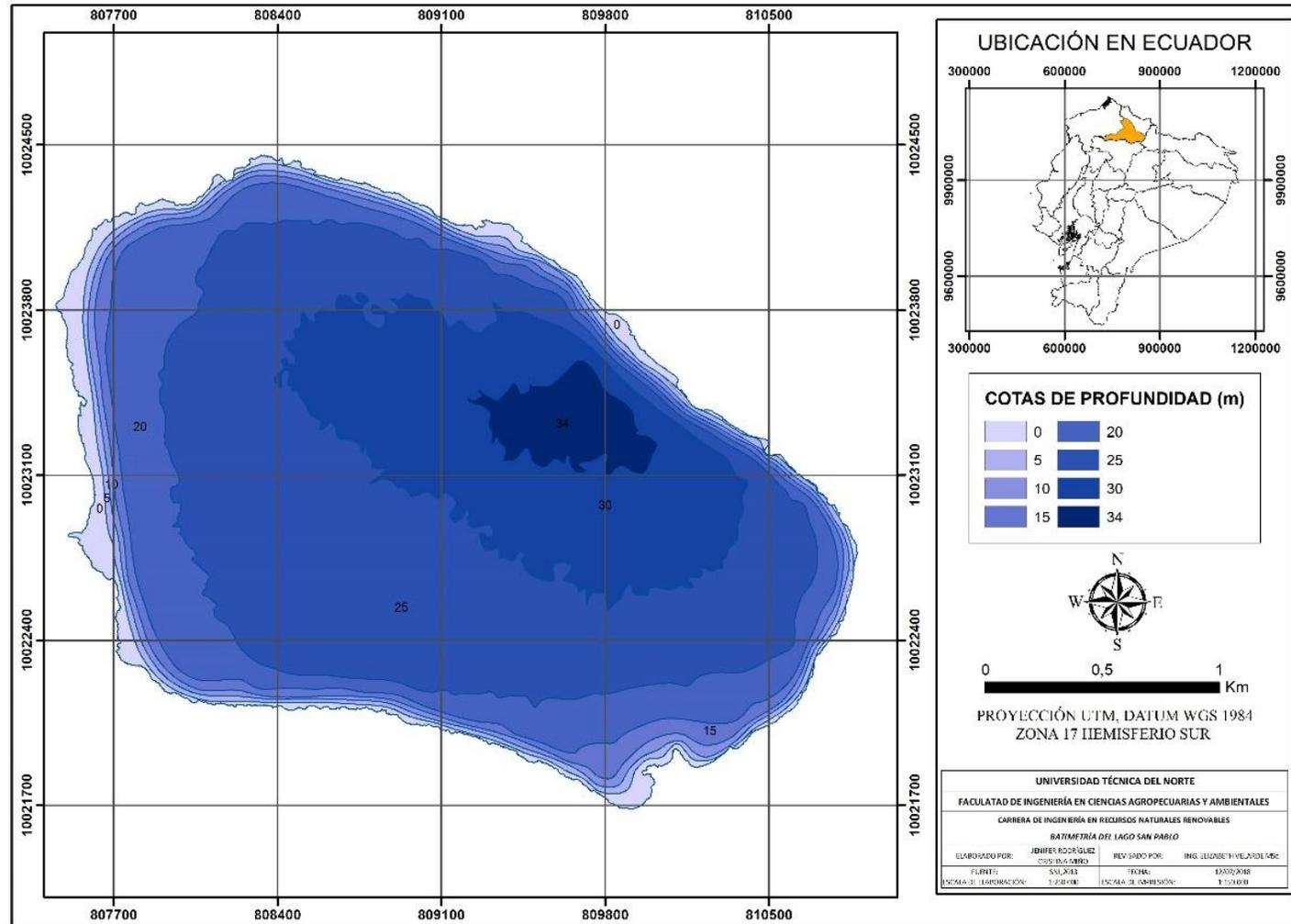
Anexo 3. Cortes longitudinal y transversal del perfil subacuático del lago San Pablo



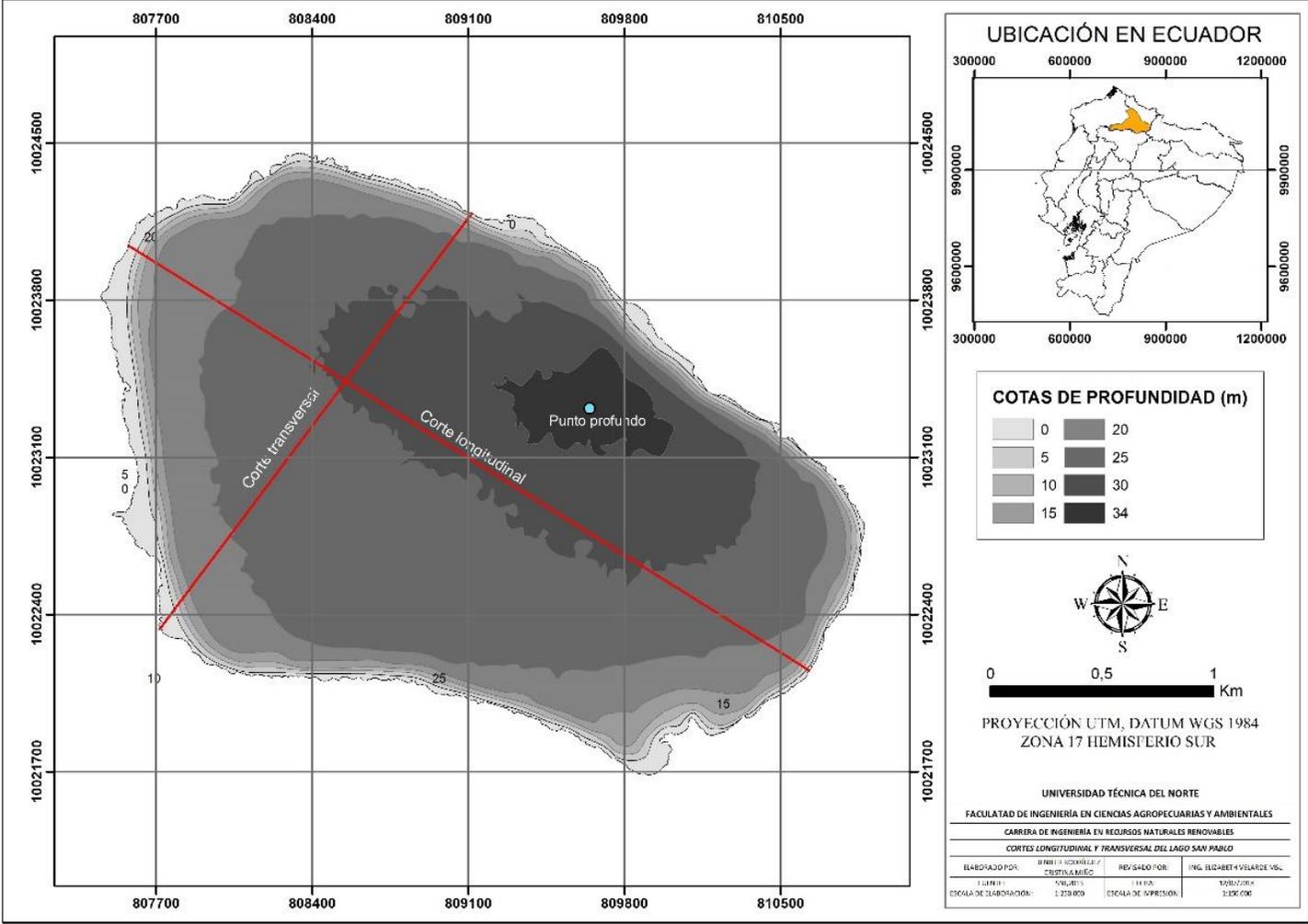
Anexo 4. Mapa del área de estudio



Anexo 5. Mapa batimétrico del lago San Pablo



Anexo 6. Mapa de cortes longitudinal y transversal del lago San Pablo perfil subacuático del lago San Pablo

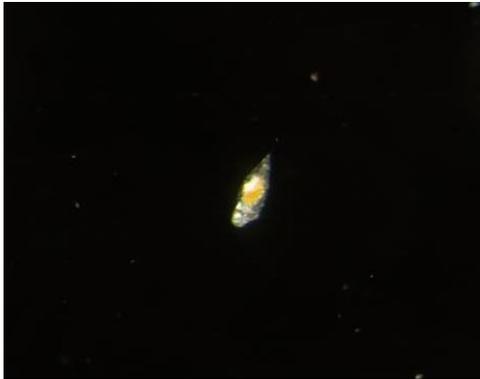


Anexo 7. Resultados del análisis de las variables físicas del agua del lago San Pablo 2016 – 2017.

Variable	Unidades	Mínimo	Máximo	Media	CV (%)
Temperatura del aire	°C	15,8	25,1	21,34	12,73
Nubosidad	1	0	1	0,55	59,52
Temperatura del agua	°C	16,4	20	17,69	4,16
Conductividad	µS/cm	199,4	319,6	274,16	15,52
Oxígeno Disuelto	mg/L	0	10,3	3,22	74,88
pH	Unidades de pH	5,5	9,89	8,13	10,77
Transparencia	m	2,4	6,24	3,55	27,37

Anexo 8. Registro fotográfico de zooplancton

Rotíferos



Trichocerca similis



Polyarthra sp.



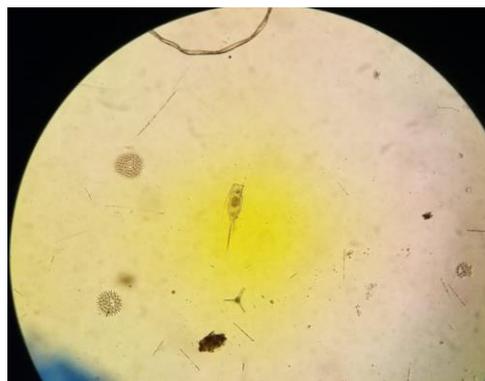
Euchlanis sp.



Anuraeopsis fissa



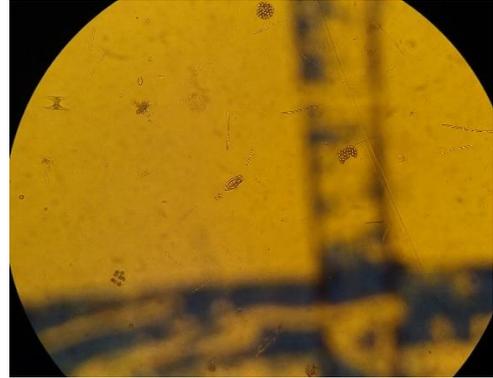
Cladóceros (*Bosmina sp.*) y *Keratella sp.*



Filinia sp.



Keratella tropica

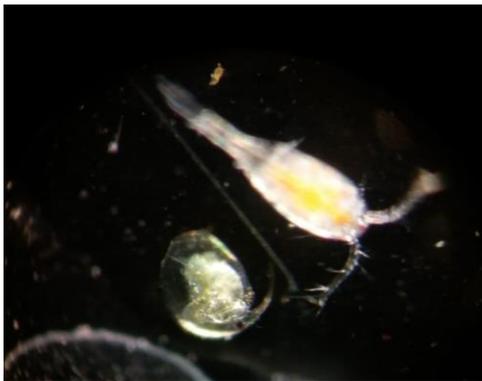


Anuraeopsis fissa

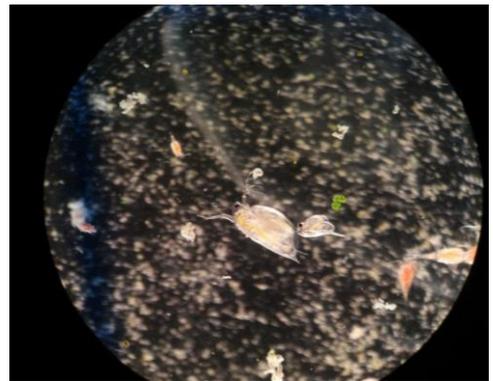
Copéodos y cladóceros



Metacyclops mendocinus



*Bosmina sp. y
Metacyclops mendocinus*

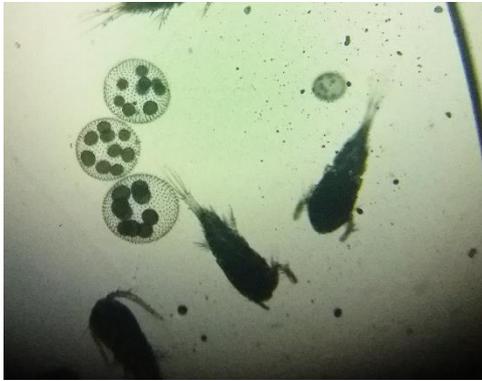


Daphnias

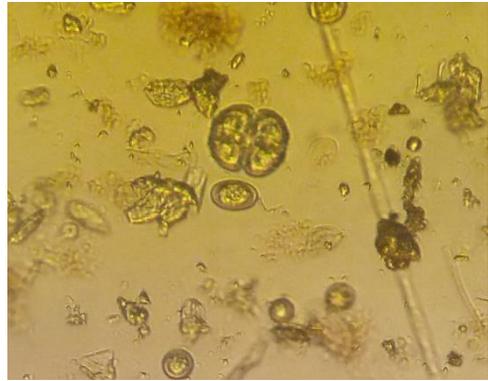


Daphnia pulicaria

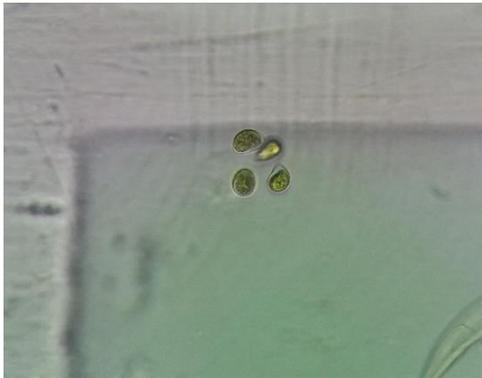
Anexo 9. Registro fotográfico de fitoplancton



Volvox



Cosmarium y Chlamydomona



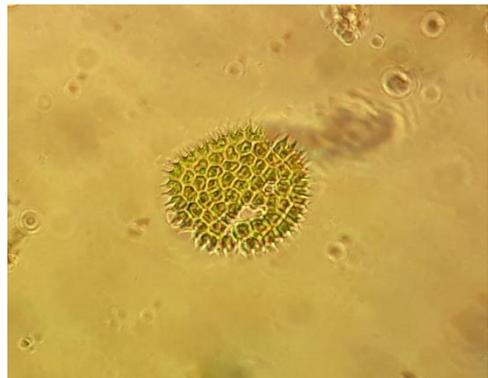
Nephrocytium



Planktosphaeria



Ooscystis



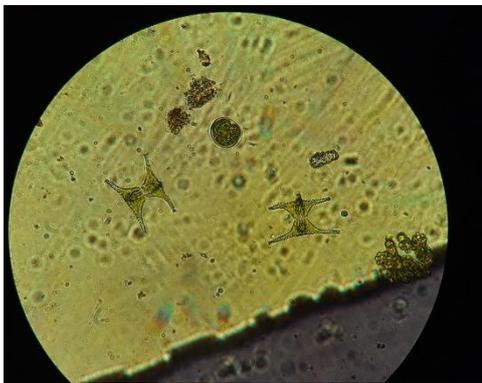
Pediastrum



Ankyra



Mycosistis



Staurastrum



*a. Gymnodinium b. Sphaerocystis
c. Aulacoseira*

Anexo 10. Estadística descriptiva de las variables del CCA

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Rotíferos	1656,000	20520,000	11620,429	6209,600
Copépodos	4453,000	13850,000	10236,429	3517,187
Cladóceros	1621,000	3427,000	2403,000	622,465
Temperatura	17,156	18,553	17,689	0,493
Conductividad	271,312	278,361	274,155	2,514
Oxígeno Disuelto	1,455	5,741	3,222	1,642
pH	7,602	8,479	8,131	0,311
Disco Secchi	0,000	3,550	0,507	1,342

Anexo 11. Registro de floraciones de *Microcystis* en el agua del lago San Pablo

