



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos (ERIS)

**DETERMINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN LA LAGUNA EL PINO,
DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA, DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Juan Carlos Duarte Díaz

Asesorado por el M.Sc. Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, agosto de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN LA LAGUNA EL PINO,
DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA, DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS) POR

JUAN CARLOS DUARTE DÍAZ

ASESORADO POR EL M.SC. ING. ZENÓN MUCH SANTOS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS DE
INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECUSOS HIDRÁULICOS**

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	MSc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD PRIMARIA EN LA LAGUNA EL PINO, DEPARTAMENTO DE SANTA ROSA, DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Tema que me fue asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), el 19 de enero de 2015.

Ing. Juan Carlos Duarte Díaz
juanduarte95@hotmail.com
Carné núm. 100024821

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hídricos



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

Edificio de ERIS,
Instalaciones de Prefabricados, CII
Ciudad universitaria Zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C. A.

Tel. (502) 24188000,
Ext. 86212 y 86213
(502) 24189138
(502) 24189140

Telfax (502) 24189124

www.ingenieria-usac.edu.gt

Guatemala, abril 19 de 2016

M. Sc. Ing. Adán Pocasangre
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

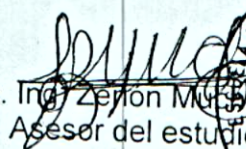
**"Determinación de la Productividad Primaria en la
Laguna El Pino, Departamento de Santa Rosa, de la
República de Guatemala".**

Elaborado por el Ingeniero Juan Carlos Duarte Díaz, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Ingeniería Sanitaria, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".

M. Sc. Ing. 
Asesor del estudio



UNIVERSIDAD SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



Guatemala, 29 de julio de 2016

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el documento de Estudio Especial titulado:

**Determinación de la productividad primaria de la Laguna El pino,
Departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala.**

Presentado por el estudiante:

Ing. Juan Carlos Duarte Díaz

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.Sc. Ing. Adán E. Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria

UNIVERSIDAD SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA



Guatemala, 01 de agosto de 2016

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M.Sc. Ing. Zenón Much Santos, M.Sc. Ing. Adán E. Pocasangre Collazos, M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria; M.Sc. Ing. Adán Pocasangre Collazos y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Rosa Amelia Gonzáles Domínguez, Colegiada No. 5284, al trabajo del estudiante Ing. Juan Carlos Duarte Díaz, titulado: **Determinación de la productividad primaria en La Laguna El Pino, Departamento de Santa Rosa de la República de Guatemala.** En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala al primer día del mes de agosto de 2016.

Imprimase

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"
DIRECCION
M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por acompañarme en cada momento de mi vida.
- Mis padres** Hilder Abilio Duarte Beza y Fabiola Díaz Matta de Duarte, por aconsejarme en todo momento e impulsarme a ser una mejor persona y profesional cada día.
- Mis hermanos** M.Sc. Ing. Felipe Duarte y M.Sc. Ing. José Duarte, por acompañarme en cada etapa de mi formación, con cariño, este logro es de todos.
- Verónica Patricia Salguero Herrera** En especial, por su apoyo incondicional.
- Mis amigos y compañeros** Por su amistad, apoyo, aprendizaje y por esos momentos compartidos en la ERIS que nunca voy a olvidar, especialmente al Ing. Misael Cambara.
- Mi asesor** M.Sc. Ing. Zenón Much Santos, por su asesoría en la investigación y compartir sus conocimientos que fueron de mucha ayuda para culminar este logro de mi vida.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por permitirme alcanzar este grado académico.

**Escuela Regional de
Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos**

Por mi formación académica durante mi carrera.
Gracias a los catedráticos, a quienes recuerdo
con mucho cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
JUSTIFICACIÓN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
Hipótesis	XVIII
ANTECEDENTES GENERALES.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXV
1. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DE LA LAGUNA EL PINO.....	1
1.1. Institucionalidad.....	2
1.2. Vía de acceso.....	3
1.3. Acuicultura.....	3
1.4. Infraestructura pesquera.....	3
1.4.1. Mercados pesqueros	3
1.4.2. Usos	4
1.5. Legislación y normativas presentes.....	4
1.6. Datos socioeconómicos.....	4
1.7. Infraestructura y servicios.....	5
1.8. Datos ambientales.....	5
1.8.1. Problemas en el cuerpo de agua	5
2. MARCO TEÓRICO.....	7

2.1.	Concepto de productividad primaria.....	7
2.1.1.	Productividad primaria mediante el método de la botella clara y oscura	8
2.2.	Productividad primaria en hábitats acuáticos	9
2.3.	Metodologías de medición de productividad primaria	12
2.4.	Medición del oxígeno en el agua y flora en suspensión.....	13
2.5.	Clasificación de un ecosistema o cuerpo de agua	14
2.6.	Importancia básica de los estudios de los lagos	16
2.7.	Eutrofización	16
2.8.	Causas de la eutrofización	17
2.9.	Calidad del agua	18
2.10.	Variables abióticas que determinan la calidad de un cuerpo de agua	19
2.10.1.	Transparencia	19
2.10.2.	Potencial de hidrógeno (pH).....	19
2.10.3.	Temperatura.....	20
2.10.4.	Oxígeno disuelto	20
3.	METODOLOGÍA	21
3.1.	Visita preliminar	21
3.1.1.	Recursos humanos	21
3.2.	Puntos de muestreo	21
3.3.	Profundidad de muestreo	23
3.4.	Equipo <i>in situ</i> utilizado.....	23
3.5.	Toma de muestras <i>in situ</i>	23
3.6.	Estaciones para incubar muestras de agua a profundidad	23
3.7.	Cantidad representativa de muestras.....	25
4.	RESULTADOS.....	27

4.1.	Resultados de productividad primaria obtenidos a partir de oxígeno disuelto mediante el método de las botellas claras y oscuras	27
4.2.	Valores promedio de productividad primaria	28
5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
5.1.	Resultados de productividad primaria	29
	CONCLUSIONES	37
	RECOMENDACIONES	39
	BIBLIOGRAFÍA	41
	APÉNDICES	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación del lugar del estudio	1
2.	Vista aérea del lugar del estudio	22
3.	Estaciones incubando muestras en la laguna	24
4.	Botellas claras y oscuras para incubación	24
5.	Desviación estándar.....	26
6.	Productividad a 0,25 m en punto 1, en verano e invierno	29
7.	Productividad a 1,00 m en punto 1, en verano e invierno	30
8.	Productividad a 0,25 m en punto 2, en verano e invierno	31
9.	Productividad a 1,00 m en punto 2, en verano e invierno	32
10.	Histograma de productividad primaria neta a 0,25 metros	34
11.	Histograma de productividad primaria neta a 1,00 metro.....	35

TABLAS

I.	Estado trófico a partir de la productividad primaria neta	11
II.	Coordenadas de los puntos de muestreo.....	22
III.	Productividad primaria neta.....	27
IV.	Productividad primaria neta en punto 1 y 2 a 0,25 metros	28
V.	Productividad primaria neta en punto 1 y 2 a 1,00 metro	28
VI.	Resumen estadístico para productividad primaria neta a 0,25 metros de profundidad	33
VII.	Resumen estadístico para productividad primaria neta a 1,00 metro de profundidad	34

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados Celsius
g/L	Gramos por litro
m	Metros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
µs/cm	Microsiemens por centímetro
mgC/m²/día	Miligramos carbono por metro cuadrado por día
mg/l	Miligramos por litro
OD	Oxígeno disuelto
pH	Potencial de hidrógeno

GLOSARIO

Actividades antropogénicas	Efectos, procesos o materiales que son resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.
Autótrofos	Son los seres vivos, como plantas, algas y ciertas bacterias (cianobacterias, entre otros), que elaboran su propia materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas y una fuente de energía que suele ser la luz. Estos seres son llamados fotosintetizadores.
Ecología	Ciencia que estudia a los seres vivos, su ambiente, distribución, abundancia y cómo esas propiedades son afectadas por la interacción entre los organismos y su ambiente.
Ecosistema	Sistema natural que está formado por un conjunto de organismos vivos y el medio físico donde se relacionan.
Hidrología	Disciplina científica dedicada al estudio de las aguas de la Tierra, incluyendo su presencia, distribución y circulación a través del ciclo hidrológico, y las interacciones con los seres vivos.

También trata de las propiedades químicas y físicas del agua en todas sus fases.

In situ

Expresión latina que significa en el sitio o en el lugar.

Insivumeh

Instituto Nacional de Sismografía, Vulcanología, Meteorología e Hidráulica.

Limnológico

Relativo a acuáticos ubicados en continentes, lo que involucra a lagos, lagunas y ríos.

Productividad primaria

La conversión de energía radiante a energía química atrapada en los enlaces químicos de moléculas orgánicas es la esencia de la productividad primaria generada por fotótrofos.

Sedimento

Materia que, habiendo estado suspensa en un líquido, se posa en el fondo por su mayor gravedad.

Sistema lacustre

Sistema que se refiere a lagos.

Sistema léntico

Sistemas de agua cerrados que permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir, como los lagos, las lagunas, los esteros o los pantanos.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la determinación de la productividad primaria dentro de un estudio limnológico en la laguna El Pino.

La determinación de la productividad primaria en la Laguna El Pino se realizó en función del método de la botella clara y oscura, a su vez, se pudo determinar el estado trófico de dicha laguna. Los datos obtenidos *in situ* fueron temperatura, pH, oxígeno disuelto y transparencia.

Se realizaron siete muestreos en los puntos georeferenciados que se muestran en la figura 6. Dichos puntos fueron escogidos tomando en cuenta estudios anteriores realizados en la Laguna El Pino.

De acuerdo a los resultados obtenidos producto del análisis de la productividad primaria que se muestran en la tabla III, se concluye que la Laguna El Pino se encuentra en un estado oligotrófico con un nivel de productividad que oscila en el rango de 141,49 y 240,98 mgC/m²/día. Estos lagos tienen comúnmente aguas claras y mantienen lechos de plantas acuáticas sumergidas.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Laguna El Pino, declarada Parque Nacional en 1955, está protegida por leyes como Mejoramientos del Medio Ambiente, Ley de Áreas Protegidas y Ley de Pesca y Acuicultura. En los últimos años el crecimiento desordenado y acelerado de la población impide que estas leyes se cumplan.

Por el poco control de las instituciones, desconocimiento de la misma población y la falta de conciencia, está ocurriendo un deterioro progresivo acelerado sin ningún control de los recursos naturales, afectando seriamente a la Laguna El Pino. Este lugar posee una importancia turística por su belleza, por lo que se tiene que hacer énfasis al problema al cual está siendo sometido este cuerpo de agua.

Debido a la escasa investigación que se ha efectuado en Guatemala, actualmente no se conoce la magnitud real de la productividad primaria derivada de la fotosíntesis de microalgas de la Laguna El Pino.

Se espera, con este estudio, presentar la productividad de la Laguna, para emprender el registro de datos que posteriormente pueda ser de utilidad como parámetro de comparación a posteriores estudios limnológicos.

Al ser un cuerpo de agua importante, es necesario conocer la calidad de la Laguna El Pino por medio diferentes muestreos, para el establecimiento de su comportamiento, determinar cómo se encuentra su estado trófico y reducir el deterioro natural producto de escorrentía.

La Laguna El Pino presenta crecimiento de tul y de *Hidrilla verticillata*, lo que demuestra que existe productividad generada por los nutrientes que se encuentran en ella y que ocasionan un deterioro en dicho cuerpo de agua.

¿Será que los valores de productividad primaria varían con el cambio de estación climática, es decir, son mayores de la época de verano a la época de invierno?

JUSTIFICACIÓN

Los medios acuáticos son dinámicos, alcanzando equilibrios parciales y pasajeros. Se producen continuas variaciones de transparencia del agua y modificaciones en la vegetación sumergida. El comportamiento de las aves, los peces y las plantas aportan indicios sobre lo que en ella ocurre. Junto con esta mirada atenta se deben realizar evaluaciones que brinden información de cómo se encuentra la Laguna.

Las lagunas se ubican entre los ecosistemas de mayor productividad, la cual depende de muchos factores, como la disponibilidad de luz y nutrientes para la comunidad fitoplanctónica. Estos factores, a su vez, se ven modificados por los aportes fluviales, los cuales alternarán su dominancia en función de las principales épocas climáticas que se presentan a lo largo del año.

El hombre se establece en un lugar, destruye el bosque para vivienda, energía y para establecer cultivos, las áreas urbanas crecen y descargan sus productos a cuerpos de agua receptores, causando la contaminación de los mismos ya sea con productos químicos agrícolas o desechos domésticos. Las áreas deforestadas contribuyen con la época lluviosa al acarreo de enorme cantidad de suelo que se asolva en lugares planos en donde descargan las cuencas.

El lago de Amatitlán, por la influencia de los factores antes mencionados, se considera un lago rico en nutrientes que sostiene un alto nivel de productividad que irónicamente lo está conduciendo a una muerte mucho más

rápida de lo que debería ser en un ambiente ecológico no perturbado por el hombre.

Posiblemente, el origen de la contaminación sobre la Laguna El Pino es por fertilizantes usados para cultivos en la cuenca, detergentes usados para lavar ropa y aguas residuales de origen doméstico.

Debido a los temas antes mencionados, queda definido el problema a analizar en el presente estudio especial, ya que es importante determinar qué tipo de problema existe relacionado a la productividad en el cuerpo de agua, con el objetivo de buscar soluciones que minimicen el proceso acelerado de eutrofización.

Se considera necesario realizar esta investigación, la cual ayudará a determinar la calidad del agua clasificando el estado trófico de la Laguna El Pino, y presentar un informe sobre las condiciones del agua, el cual servirá para su preservación, para evitar el deterioro acelerado del cuerpo de agua y llegar a niveles de contaminación altos sin remedio para su conservación.

Existen más razones que justifican este estudio y su cumplimiento, puesto que al presentarse los valores de cada parámetro y su comportamiento en función de la productividad primaria se podría conocer la calidad del agua del cuerpo lacustre, que promoverá su conservación y ayudará al desarrollo del recurso hídrico.

OBJETIVOS

General

Determinar el nivel de la productividad primaria de la Laguna El Pino y su estado trófico.

Específicos

1. Conocer el comportamiento de la productividad primaria en la época de verano y en la época de invierno.
2. Determinar el estado trófico de la Laguna El Pino en función de los resultados de la productividad primaria neta, mediante el método de las botellas claras y oscuras.
3. Analizar el valor del parámetro de transparencia obtenido *in situ* en función de la profundidad de la Laguna El Pino en los dos puntos de muestreo.

Hipótesis

La productividad primaria de la Laguna el Pino es mayor en la estación de verano que en la de invierno y sus valores demuestran que se encuentra en un estado oligotrófico.

ANTECEDENTES GENERALES

La Laguna El Pino, conocida por este nombre debido a los árboles de pino que existen en su cuenca, fue declarada Parque Nacional en 1955 y abierta al público en junio de 1972, teniendo en cuenta tres leyes importantes para su conservación.

- Primera ley: Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto del Congreso de la República de Guatemala 68-86, publicado en diciembre de 1986, su objetivo principal es la conservación y mejoramiento del medio ambiente.
- Segunda ley: Áreas Protegidas, Decreto 4-89, publicado en febrero de 1989, cuyo objetivo principal es el manejo de las áreas protegidas.
- Tercera ley: Pesca y Acuicultura, Decreto 80-2002, publicado en diciembre de 2002, su objetivo principal es regular las actividades pesqueras y acuícolas, cumpliendo con estas leyes se considera que se regula el mal uso que se le pueda dar a la misma.

Para iniciar el estudio limnológico de un lago determinado, debe conocerse los datos históricos e investigaciones antes realizadas sobre cuerpos lacustres. En los lagos de Atilán y Amatitlán, los primeros estudios de plancton fueron realizados por W. Clark y sobre algas, J. E. Tilden en 1908. Juday captó muestras con el objetivo de estudios limnológicos en febrero de 1910, haciendo públicos estos en 1915. G. E. Deevy Jr. efectuó captación de las muestras para investigaciones limnológicas en 1950, publicando su trabajo en 1957.

Durante 1974 y 1975 se efectuaron 3 trabajos de tesis en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, con el objetivo de obtener ciertos criterios a corto plazo para evaluar algunos parámetros que contribuyeron a mantener el interés en la limnología; siendo estos J. F. Calzada en 1974, C. E. Vásquez en 1975 y J. F. Silva en agosto de 1975. Ellos estudiaron. Ellas estudiaron, respectivamente, la determinación de constantes cinéticas de algas, investigación de coliformes totales y fecales, y una encuesta para el nivel de purificación requerida en relación a los usos benéficos del lago de Amatitlán.

Resumiendo, se puede afirmar que los albores de investigación sobre limnología en Centro América se iniciaron en 1974 y 1975, con los estudios de los lagos de Amatitlán y Atitlán en los programas de investigación de la ERIS, bajo la iniciativa del Dr. Luis E. García Martínez y la Dra. Alba Tabarini, con el apoyo del personal técnico del Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria ERIS, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Sobre la Laguna El Pino se han realizado estudios de pregrado y posgrado en diferentes facultades de la Universidad de San Carlos de Guatemala siendo estos:

La tesis de grado *Estudio epidemiológico de esporotricosis en una población de la Laguna El Pino* de Dora Peláez, Facultad Ciencias Químicas y Farmacia, en mayo 1980; tuvo como objetivo principal conocer la frecuencia de casos de esporotricosis en la región, se realizaron pruebas intradérmicas, concluyendo que en la población estudiada no se encontraron casos activos de esporotricosis.

La tesis de grado *Caracterización ecológica de la cuenca Laguna El Pino* de Roger Bonilla, Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, en noviembre de 1982, tuvo como objetivo principal establecer las condiciones básicas de los recursos suelo, vegetación y agua para su conservación y aprovechamiento, se realizó el estudio del área, concluyendo que los aspectos analizados tienen suma importancia para su preservación y cuidado del mismo.

La tesis de grado *Estudio preliminar de la eutrofización y su influencia en la sucesión ecológica de la Laguna del Pino Barberena Santa Rosa* de Cesar Rivera, Facultad de Agronomía, abril de 1984, cuyo objetivo era determinar las causas principales del proceso de eutrofización, se realizó el estudio del área, determinando que la sucesión ecológica se encuentra en un proceso acelerado de desarrollo.

También está un libro del Ministerio de Comunicaciones, Transporte y Obras Públicas conjuntamente con el Insivumeh; Sección de Hidrología Aplicada titulado *Batimetría de la Laguna El Pino*, publicado en septiembre de 1985, con el objeto de obtener información sobre las características morfológicas de la laguna necesarias para el desarrollo de estudios para los actuales o futuros aprovechamiento y conservación de aguas.

La tesis de grado *Análisis descriptivos de los parámetros físico y químicos de: Laguna El Pino durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre de 1997* de Jorge Calderón Marco Pinto, Técnico Universitario Acuicultura, julio de 1997, cuyo objetivo era analizar si la relación de los parámetros físicos y químicos de la Laguna presentan evidencia si está en proceso de eutrofización, realizado el estudio en el área.

La tesis más reciente titulada *Propuesta de rescate ecológico ampliación y remodelación Parque Nacional Recreativo Laguna El Pino Barberena, Santa Rosa* de Erick Racancoj, Facultad de Arquitectura, noviembre 2002, tuvo como objetivo una propuesta ecológica de infraestructura para el Parque Nacional, para facilitar el desarrollo de las actividades turísticas, concluyendo que reducirá el deterioro del mismo.

La tesis elaborada por el ingeniero agrónomo Rolando Gustavo Aguilera Mejía, de octubre de 1984, titulada *Determinación de la productividad primaria del lago de Amatitlán* tuvo como objetivo determinar el estado en el que se encontraba el lago de Amatitlán.

En mayo 2011, el ingeniero Dennis Salvador Argueta Mayorga realizó la tesis titulada: *Caracterización fisicoquímica de la Laguna de Ayarza, ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala*, cuyo objetivo principal era caracterizar la laguna analizando los parámetros físicos y químicos del agua contenida en ella, encontrándose como resultado y concluyéndose que encuentra dentro del rango de estado mesotrófico.

El estudio más reciente, previo a esta investigación, data de marzo del 2014, tesis elaborada por el Ingeniero José Miguel Duarte Díaz, en la cual detalla la *Caracterización fisicoquímica de la Laguna El Pino ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz naranjo, departamento de santa rosa, de la república de Guatemala*”, cuyo objetivo era analizar los parámetros físicos y químicos para determinar el estado trófico de dicho cuerpo de agua, obteniendo como resultado un cuerpo de agua en estado mesótrofico.

El artículo que complementa esta investigación es: *Estudio limnológico, calidad del agua y plancton Laguna El Pino (Asignación Minera núm. 08-2013)*; tiene como principal objetivo determinar el estado de la Laguna en cuanto a calidad de agua y plancton realizado por los MSc. en ingeniería sanitaria, Carlos Galindo, María Colmenares y los MSc. en ingeniería recursos hidráulicos Kelder, Ortiz, Thylma Chamorro y Gerson Urtecho. Ellos concluyeron que la Laguna El Pino se encuentra con inicios de contaminación por el aumento o proliferación de algas (*Hydrilla verticillata*) y que el aumento de los niveles de nutrientes está ocasionando una leve reducción de su volumen de almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

La calidad de las aguas en muchas regiones del mundo se ha deteriorado en años recientes como consecuencia del incremento de las actividades humanas. Las lagunas son particularmente vulnerables a la eutrofización, haciendo que acumulen nutrientes.

Las lagunas nacen, se desarrollan y mueren, su muerte depende ordinariamente de la rapidez con que evoluciona la vida en ellas como un producto de la riqueza que adquieren para su sostenimiento. La productividad primaria determina el nivel trófico de una laguna, a través de estos valores se interpretará la actual situación de la Laguna El Pino.

El presente estudio inicia con una breve monografía del lugar donde se realizará la investigación, en donde se indica su ubicación geográfica, institucionalidad que la rige, vías de acceso, entre otros. En este primer capítulo se incluye la ubicación geográfica de la Laguna El Pino, las actividades pesqueras, su legislación y normativas presentes, algunos datos socioeconómicos y servicios que existen en la Laguna El Pino.

Durante el desarrollo de la investigación, se menciona la importancia de la productividad primaria en el estudio de los sistemas lacustres, es un recurso natural no renovable, lo que determina su importancia como recurso nacional al que debe prestársele atención de primer orden, para de asegurar su preservación.

En los siguientes capítulos se interpretan los análisis del estudio realizado con sus respectivos resultados, para determinar el estado de la Laguna El Pino.

Por último, en esta tesis se presentarán conclusiones basadas en los resultados obtenidos, partiendo de lo indicado en los objetivos del trabajo, y las recomendaciones.

1. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DE LA LAGUNA EL PINO

La Laguna El Pino, conocida por este nombre debido a los arboles de pino que existían en su cuenca, se encuentra localizada al norte del departamento de Santa Rosa a una altitud 1 016 metros sobre el nivel del mar y tiene una extensión aproximada 0,7 km².

El acceso a la cuenca de la Laguna El Pino se encuentra localizado aproximadamente a la altura del kilómetro 48 de la carretera Interamericana (CA-1) hacia El Salvador, dicha cuenca se encuentra entre los 14°49,40´ y los 14°21,05´ de latitud norte y los 90°22,80´ y 90°24,40´ de longitud oeste, dentro del área de la cuenca del río María Linda.

Figura 1. **Ubicación del lugar del estudio**



Fuente: Insivumeh. *Barimetría laguna El Pino*. Mapa cartográfico de la laguna El Pino, a escala 1:50 000. p. 95.

La cuenca de la Laguna El Pino posee una forma alargada con una orientación noroeste, se puede observar que no existe ninguna corriente, por lo que la mayor parte del aporte de la laguna es debido a aguas subterráneas y por precipitaciones en época de invierno que recargan el cuerpo de agua. Se reporta, para la zona, una humedad promedio anual del 76 por ciento, precipitación anual de 1 552,3 milímetros; vientos de 2,7 kilómetros/hora y la temperatura ambiente promedio es de 23 grados Celsius.

1.1. Institucionalidad

Entre las instituciones que se encargan por velar la preservación del Parque Nacional Laguna El Pino se encuentran el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap) que unen esfuerzos con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA). A continuación algunas leyes que rigen para la conservación de dicha área protegida.

- Ley General de Pesca y Acuicultura, Decreto del Congreso de la República de Guatemala 80-2002; el cual fue publicado en el Diario Oficial el 24 de diciembre del 2002 y su objetivo principal es regular las actividades pesqueras y acuícolas.
- Ley de Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto del Congreso de la República de Guatemala 68-86; el cual fue publicado en el Diario Oficial el 19 de diciembre de 1986 y su objetivo principal es la conservación y mejoramiento del medio ambiente.

- Ley de Áreas Protegidas, Decreto del Congreso de la República de Guatemala 4-89; el cual fue publicado en el Diario Oficial el 10 de febrero de 1989 y su objetivo principal es manejo de las áreas protegidas.

1.2. Vía de acceso

La vía de acceso que se utiliza es la carretera Interamericana (CA-1 oriente) que conduce a la cabecera departamental de Santa Rosa (Cuilapa).

1.3. Acuicultura

Se determinó que dentro de la Laguna no se realiza ninguna actividad acuícola, ni tampoco se utiliza el agua de la misma para abastecer total o parcialmente algún proyecto acuícola.

1.4. Infraestructura pesquera

No existe ningún tipo de infraestructura específica para la pesca, existe un desembarcadero privado para lanchas de recreación.

1.4.1. Mercados pesqueros

La comercialización se lleva a cabo en la cabecera municipal de Barberena y en la aldea El Cerinal, ambos mercados de tipo urbano.

También es comercializado en la aldea El Pino, donde el mercado es rural y se distribuye en cada vivienda. El producto es transportado con hielo y es vendido fresco al detalle y al por mayor.

1.4.2. Usos

Pesca, riego agrícola y turismo en asociación con actividades de conservación a través del área protegida establecida en el lugar.

1.5. Legislación y normativas presentes

A continuación se presenta la legislación y normativas presentes.

- Ley General de Pesca y Acuicultura, Decreto del Congreso de la República de Guatemala 80-2002; el cual fue publicado en el Diario Oficial el 24 de diciembre del 2002 y su objetivo principal es regular las actividades pesqueras y acuícolas.
- Ley de Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto del Congreso de la República de Guatemala 68-86; el cual fue publicado en el Diario Oficial el 19 de diciembre de 1986 y su objetivo principal es la conservación y mejoramiento del medio ambiente.
- Ley de Áreas Protegidas, Decreto del Congreso de la República de Guatemala 4-89; el cual fue publicado en el Diario Oficial el 10 de febrero de 1989 y su objetivo principal es manejo de las áreas protegidas.

1.6. Datos socioeconómicos

El total de la población de la aldea El Pino es de 1 249 personas de los cuales el 49 % son hombres y el restante 51 % son mujeres. El Instituto Nacional de Estadística (INE), reportó en 2002 un ingreso familiar promedio para la región suroriente, donde se encuentra el departamento de Santa Rosa,

con un 0,3 % que percibe un ingreso mensual de menos de US \$ 100,00; el 83,02 % que reportan ingresos mensuales entre US \$ 101,00 y 300,00; y el restante 16,67 % que perciben mensualmente más de US \$ 300,00.

1.7. Infraestructura y servicios

La comunidad cuenta con servicios de agua potable, teléfono, luz eléctrica, carretera de terracería, escuela y puesto de salud.

1.8. Datos ambientales

Se reporta, para la zona, una humedad promedio anual del 76 %; precipitación anual de 1 552,3 mm; vientos de 2,7 km/h y la temperatura ambiente promedio es de 23 °C.¹

1.8.1. Problemas en el cuerpo de agua

El origen químico de la contaminación en la Laguna El Pino es por fertilizantes usados para cultivos en la cuenca y detergentes usados para lavar ropa. En el cuerpo de agua existe proliferación de *Hydrilla verticillata*. En las orillas del cuerpo de agua también es posible observa ninfa y pasto que cubren aproximadamente un 2 % del espejo de agua. En el momento de la visita no constituyó un problema, pero un crecimiento progresivo contribuiría a la reducción del cuerpo lacustre.

¹ Insivumeh.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Concepto de productividad primaria

Es la velocidad a que es almacenada la energía por la actividad fotosintética o quimiosintética de organismos productores (principalmente plantas verdes), en forma de sustancias orgánicas susceptibles de ser utilizadas como material alimenticio.

En el concepto general de productividad se definen otros tres conceptos más que son: productividad primaria bruta, productividad primaria neta y la productividad neta de la comunidad. La productividad primaria bruta se define como la velocidad de la fotosíntesis, incluyendo la materia orgánica utilizada en la respiración durante la medición, es conocida también como fotosíntesis total.

La productividad primaria neta es la velocidad de almacenamiento de materia orgánica en los tejidos vegetales en exceso con respecto a la utilización respiratoria por parte de las plantas durante la medición y se define también como fotosíntesis neta.

La productividad de la comunidad es la proporción de almacenamiento de materia orgánica no utilizada por los heterótrofos, es decir, la producción primaria neta menos el consumo heterotrófico².

²ODUM, Eugene. *Ecología*. pp. 41-44, 60-67, 328-347.

A continuación se presentan las fórmulas para calcular la productividad primaria mediante el método de las botellas claras y oscuras:

- Productividad neta = oxígeno disuelto botella clara – oxígeno disuelto inicial.
- Productividad total = oxígeno disuelto inicial – oxígeno disuelto botella oscura.
- Productividad Bruta = producción neta + productividad total o respiración

La producción primaria bruta se refiere al total sintetizado, mientras que la neta descuenta a la anterior lo que se gasta simultáneamente por respiración.

2.1.1. Productividad primaria mediante el método de la botella clara y oscura

El método de la botella clara y oscura, propuesto por Gardner y Grann (1927), se basa en la producción de oxígeno en una muestra de agua incubada bajo sus condiciones ambientales por un determinado período. Al inicio del estudio, se determina la cantidad de oxígeno disuelto en una muestra de agua, una parte de esa agua es incubada en una botella clara (donde solo ocurre fotosíntesis), otra es incubada en una botella oscura (donde solo ocurre respiración).

Después de la incubación, se determina el oxígeno en las muestras, la diferencia entre el oxígeno de la botella clara y el oxígeno inicial representa la productividad neta. La diferencia entre el oxígeno inicial y el de la botella oscura

es la respiración, la productividad total es oxígeno producido (productividad neta) + oxígeno respirado (respiración)³.

2.2. Productividad primaria en hábitats acuáticos

La conversión de energía radiante a energía química atrapada en los enlaces químicos de moléculas orgánicas es la esencia de la productividad primaria generada por fototrófos. Se puede definir la productividad primaria como la cantidad de carbono inorgánico (C) convertido a materia orgánica por organismos autotróficos (gramos de carbono). Los valores de productividad se calculan para un área o volumen determinado, por un intervalo de tiempo determinado. Se puede expresar la productividad primaria en términos de gramos de carbono fijado por metro cuadrado por año y en miligramo por metros cuadrados por día.

La producción es calculada de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}\text{mg de carbono fijado/m}^3 &= \text{mg O}_2 \text{ liberado/L} \times (12/32) \times 1\,000 \\ &= \text{mg O}_2 \text{ liberado/L} \times (0,375) \times 1\,000 \\ &= \text{mg O}_2 \text{ liberado/L} \times (375,0)\end{aligned}$$

El factor 12/32 es utilizado para convertir el oxígeno liberado a carbono fijado, dado que 1 mol de oxígeno (32 g) es liberado por cada mol de carbono (12 g) fijado.

El factor 1 000 es utilizado para convertir litros a metros cúbicos. No obstante, algunos investigadores señalan que para fitoplancton, el cociente fotosintético (moles de oxígeno liberado a moles de carbono fijado) no es de

³ *Materiales y métodos.* www.tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/1282/Capitulo6.pdf. Consulta: 3 de marzo de 2015.

1:1, sino cerca de 1:1,2, dado que una parte del fotosintetato producido es rápidamente convertido a otros compuestos orgánicos⁴.

Esto transforma la ecuación anterior en:

$$\begin{aligned} \text{mg de carbono fijado/m}^3 &= \text{mg O}_2 \text{ liberado/L} \times (375/1,2) \\ &= \text{mg O}_2 \text{ liberado/L} \times (312,5) \end{aligned}$$

La productividad primaria neta se calcula dividiendo el carbono fijado por el lapso durante el cual fueron incubadas las botellas claras y oscuras.

$$\text{Productividad primaria neta} = [\text{fotosíntesis neta} \times (312,5)] / \text{tiempo de incubación}$$

La producción neta suele referirse también en relación con el área de incubación. Con la medida obtenida del radio de las botellas utilizadas, se obtiene el área de la misma, para así expresar la producción primaria neta en unidades de área y tiempo.

Los siguientes registros permiten inferir y determinar el estado trófico del cuerpo de agua a partir de la producción primaria neta en: miligramo por metros cuadrados por día.

⁴ *Hàbitats acuàtics*. [www.http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/p4-productividad.pdf](http://ocw.um.es/ciencias/ecologia/lectura-obligatoria-1/p4-productividad.pdf).
Consulta: 11 de marzo de 2015.

Tabla I. **Estado trófico a partir de la productividad primaria neta**

Estado	Productividad Primaria Neta(mgC/m ² /día)
Oligotrófico	30-250
Mesotrófico	>250-300
Eutrófico	>300-3000
Hipertrófico	>3000

Fuente: RODRÍGUEZ, Danilo. *Ecología métodos de muestreo y análisis de poblaciones y comunidades*. p. 210.

No obstante, para reducir el impacto del efecto botella sobre la determinación de productividad neta, se recomienda variar el tiempo de incubación de las botellas claras y oscuras de acuerdo con el estatus nutricional del cuerpo de agua estudiado y la intensidad de luz a través de la columna de agua.

- Cuerpos de agua eutróficos: en cuerpos de agua donde la densidad del plancton es muy alta, el tiempo de incubación debe ser menor a las dos horas para evitar que las muestras se sobresaturen de oxígeno. Cuando esto ocurre, se observa la producción y acumulación de burbujas de gas dentro de las botellas claras.
- Cuerpos de agua mesotróficos: cuando se trabaja con cuerpos de agua con una productividad moderada, se pueden emplear tiempos de incubación que oscilen entre 2 y 4 horas.
- Cuerpos de agua oligotróficos: Cuando la densidad del fitoplancton es baja, se necesitan períodos de incubación más prolongados (> 12 h), de tal forma que se generen cambios en la concentración de oxígeno que puedan ser detectables.

2.3. Metodologías de medición de productividad primaria

Los principales métodos para medir la productividad primaria son:

- Por determinación de oxígeno disuelto (método de las botellas)
- Por medio de materiales radioactivos
- Por medición de la acumulación de biomasa
- Por medición del bióxido de carbono
- Por valores del potencial de hidrogeno (pH)

La aplicación de los métodos anteriores depende básicamente del ecosistema que se está evaluando.

Entre de los métodos más comunes para mediciones acuáticas, está el método del oxígeno disuelto y el que emplea trazadores radioactivos como el carbono 14, siendo este último uno de los más sensibles pero no aplicable en el medio por carecer del equipo necesario que es altamente costoso.

Otras observaciones al método del oxígeno disuelto fueron hechas por Harris y Lott, quienes observaron que como resultado de las mezclas estratificadas que sufre el agua de un lago en toda su profundidad, el fitoplancton puede experimentar cambios en la fotosíntesis, alcanzando varios órdenes de magnitud en más o menos un corto periodo (de minutos a pocas horas)⁵.

⁵OWENS, Olga y ESAIAS, Wayne. *Physiological responses of phytoplankton to major environmental factor. Anual Review Of Plant Physiology*, pp. 461-468.

Los autores citados investigaron los valores de fotosíntesis en varios cultivos de plancton y la respuesta de este a las variables del viento e intensidad de mezcla, las cuales fueron simuladas en dos modelos:

- Con frecuencia de ciclos de mezcla de corta duración
- Con frecuencia de ciclos de mezcla largos

Ellos observaron un efecto de sensibilidad con cambios más notables de la fotosíntesis cuando el nivel de mezcla fue más alto.

Harris demostró que los efectos de sensibilidad en la fotosíntesis se presentan en las estaciones de un año en una población natural de fitoplancton y encontró que durante el verano o en días muy claros el efecto es máximo. Estos autores atribuyen sus descubrimientos a un incremento en los rangos de fotorespiración y notaron que la incubación de la botella clara y oscura colocada a determinada profundidad refleja la producción en el sistema bajo condiciones que favorecen una rápida mezcla vertical.

2.4. Medición del oxígeno en el agua y flora en suspensión

En un cuerpo de agua la medición del oxígeno puede ser un índice de condiciones antisépticas o, por otro lado, puede indicar un incremento en la microflora existente. Valores bajos de oxígeno disuelto indican un agua muy contaminada, en función de altos contenidos de materia orgánica presente y con una población alta de microorganismos que agotan el oxígeno rápidamente para degradar la materia orgánica.

Valores altos de oxígeno disuelto indican la presencia de productores autótrofos que producen oxígeno en sus procesos fisiológicos y un equilibrado

sistema de nutrientes en el agua, o bien, un reciclaje de las masas superior e inferior del agua del lago.

En 1986 Schröter diferenciaba ya a la flora en suspensión como una comunidad particular en cada sistema, flora que en muchos lugares del mundo aún permanece poco estudiada y poco conocida.

La temperatura, el grado de acidez, el contenido de sales y nutrientes para la formación de comunidades de seres planctónicos.

La periodicidad del plancton en una laguna y en el mar se presenta de un modo semejante al de la estratificación. Cuando se elaboran curvas, se encuentran oscilaciones temporarias entre distintos años y hay que dejar abierta la interrogante de hasta qué punto estas oscilaciones son aspectos diferentes o comunidades que se sustituyen.

2.5. Clasificación de un ecosistema o cuerpo de agua

La productividad de un ecosistema designa su riqueza. Aunque una comunidad rica y productiva podría tener una mayor o menor cantidad de organismos que una comunidad menos productiva, esto no es siempre así. La biomasa permanente o la multitud permanente presente en cualquier momento no deben confundirse con productividad. Por regla general, no se puede averiguar la productividad primaria de un sistema o la producción de un componente de población contando o pesando los organismos presentes en un momento dado.

La productividad incluye todos aquellos aspectos cualitativos y cuantitativos relacionados a la situación potencial y actual del beneficio derivado

del balance natural biológico que se establece en un cuerpo de agua. La productividad es el centro y factor unificador que enlaza los tópicos en un solo campo de manera organizada, ordenada y coherente.

En las investigaciones sobre la clasificación de los lagos del globo terrestre, se ha revelado una gran diversidad de combinaciones lo que hace difícil su clasificación. Hutchinson, citado por Odum, enumera no menos de setenta y cinco tipos de lagos que se basan en su geomorfología y origen. Sin embargo, desde el punto de vista ecológico de los lagos se pueden obtener tres series.

- Serie oligotrófica-eutrófica que se basan en su productividad
- Tipos especiales de lago
- Embalses

En la serie oligotrófica-eutrófica se utilizan los términos siguientes:

- Ultraoligotróficos
- Oligotróficos
- Mesotróficos
- Eutróficos
- Hipereutróficos

Los cuerpos de agua oligotróficos poseen gran profundidad, pobreza de N, P y C_a así como pocos electrolitos y materia orgánica. Los lagos eutróficos poseen riqueza de sustancias nutritivas, electrolitos variables en concentración, el oxígeno se agota en estaciones y puede no existir la llamada zona de hipolimnion (zona de agua profunda y fría, también llamada lago inferior).

2.6. Importancia básica de los estudios de los lagos

El estudio que trata de los lagos constituye la ciencia de la limnología. La limnología es una ciencia derivada de la biología, que tiene por objeto el estudio e investigación de la productividad biológica de los cuerpos de agua intraterrestres y de todas aquellas influencias causales que impliquen factores físicos, químicos, biológicos, meteorológicos, geológicos que determinen las características y la cantidad de la productividad.

2.7. Eutrofización

Es el proceso por lo cual una masa de agua pasa de condición oligotrófica (o de baja productividad) a eutrófica (o de elevada productividad). En general, se debe al aumento de la disponibilidad de nutrientes de origen olóctono y, específicamente, los que constituyen factores limitantes del desarrollo de organismos fotosintéticos. Se trata pues de un proceso de desequilibrio o alteración significativa de los ecosistemas naturales, provocando por la introducción de elementos en concentraciones anormales, lo que configura un caso particular de polución.

La eutrofización permite un enfoque más científico, ya que puede estar íntimamente relacionada con la concentración relativa de un determinado elemento químico. Además, su efecto perturbador es bien caracterizable y cuantificable en relación con los innumerables procesos que caracterizan la dinámica de los ecosistemas comprometidos.

Los problemas que dan lugar la eutrofización pueden ser de orden práctico, como los diversos inconvenientes vinculados a la calidad del agua

potable (sabor y olor derivados de la excesiva presencia de alga) o a su tratamiento (obstrucción de filtros, variaciones de pH, entre otros).

Pero, de ningún modo tales problemas pueden considerarse resultantes de la contaminación en el sentido ya establecido, pues son debidos realmente a un proceso ecológico y no a la interferencia directa de los elementos que han sido introducidos en el agua. Además, las consecuencias ecológicas para el ambiente acuático derivadas de la sobrepoblación de algunas especies pueden ser innumerables⁶.

2.8. Causas de la eutrofización

- Desechos sólidos (basura), por turismo o sector domiciliar.
- Descargas de desechos líquidos domésticos.
- Descargas de desechos orgánicos, beneficios de café o granjas agrícolas, entre otros.
- Pozos sépticos habitacionales en el mal estado (filtraciones).
- Uso incorrecto de los fertilizantes, del área agrícola.
- Uso inmoderado de plaguicidas fosforados.

En la preservación de la vida acuática:

- Vida vegetal
 - Excesivo incremento de algas y de innumerables plantas acuáticas.
 - La descomposición de la vegetación origina malos olores.

⁶MARGALEF, Roman. *Ecología*.

- Vida animal
 - Desequilibrio del ciclo biológico (cadenas alimenticias).
 - En los usos benéficos de consumo humano, recreación e industriales.
 - Estéticos, ocasionan el deterioro del paisaje.

2.9. Calidad del agua

El agua es el solvente universal de la naturaleza, por su contacto con la atmósfera o el suelo hace que se incorporen dentro de ella una gran cantidad de elementos como gases, sales, minerales y microorganismos, todos estos elementos determinan las características del agua en la naturaleza.

Al conjunto de características del agua en su estado natural o después de ser alterada por su uso se denomina calidad del agua y se refiere a una condición o estado de la sustancia, usualmente se describe mediante indicadores o parámetros.

Generalmente, tres son los objetivos fundamentales de la calidad del agua:

- Determinar la calidad del agua en su estado natural, con el propósito de conocer su uso o aprovechamiento para un fin determinado, así como protegerla y conservarla.
- Determinar el impacto de las actividades humanas sobre los cuerpos de agua.

- Mantener bajo observación las fuentes y medios de contaminación que pueden ser potencialmente peligrosos a los cuerpos de agua⁷.

2.10. Variables abióticas que determinan la calidad de un cuerpo de agua

Para conocer la calidad de agua de un cuerpo lacustre, es necesario establecer una red de vigilancia de los factores abióticos que son dados por influencias fisicoquímicas, por ejemplo ph, temperatura, entre otros.

2.10.1. Transparencia

Es la cantidad de luz que se transmite (traspasa) en el cuerpo de agua. En un lago con deterioro e *Hydrilla verticillata*, la luz penetra con dificultad y el crecimiento de flora béntica productora de oxígeno se minimiza y queda en la oscuridad. Esta variable ayuda a determinar ciertas características de lagos (tipo de lago, flora, fauna, propiedades de agua, entre otros).

2.10.2. Potencial de hidrógeno (pH)

El valor del pH varía en el rango de 0 a 14 unidades, donde el valor 7 es el neutro, valores más bajos a este indican acidez, mientras que los valores más altos indican alcalinidad.

Valores extremos de pH o cambios súbitos pueden afectar o acabar con la vida de organismos acuáticos. Aún cambios moderados sobre los límites considerados aceptables son perjudiciales para algunas especies; además, la toxicidad de muchas sustancias se incrementa por cambios en el pH.

⁷ SARAIVIA, Pedro. *Contaminación del agua*.

2.10.3. Temperatura

Es el factor que más influencia tiene en los lagos, juega un papel importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los organismos. Las temperaturas bajas retardan la acción desnitrificante de las bacterias, por esta razón los nitratos no son destruidos tan rápidamente y, al permanecer en el agua, son aprovechados por el fitoplancton para la producción de alimentos.

Los cambios de temperatura afectan a la vida según el caso, propiciando la aparición o desaparición de poblaciones acuáticas.

2.10.4. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en el agua proviene de la fotosíntesis que realizan los vegetales con clorofila, como esta actividad fotosintética es mayor en las capas superiores bien iluminadas, su concentración será mayor a este nivel.

En los niveles próximos al fondo, su concentración es mínima debido a los procesos de oxidación de la materia orgánica. En la práctica, a menudo se emplea el contenido de oxígeno como índice de fertilidad del lago.

La concentración del oxígeno disuelto en el agua de un lago depende de la temperatura del agua que, a su vez, depende de la radiación solar y de la profundidad.

3. METODOLOGÍA

3.1. Visita preliminar

Se inició con la visita preliminar del área de estudio, en la cual se identificaron los aspectos importantes como lo que se encuentra en el perímetro de la Laguna El Pino, canales cuyos efluentes en época de invierno fluyen naturalmente a la laguna. Se identificó, además, la vegetación que prolifera en la microcuenca siendo estas el tul y la *Hydrilla verticilata*.

3.1.1. Recursos humanos

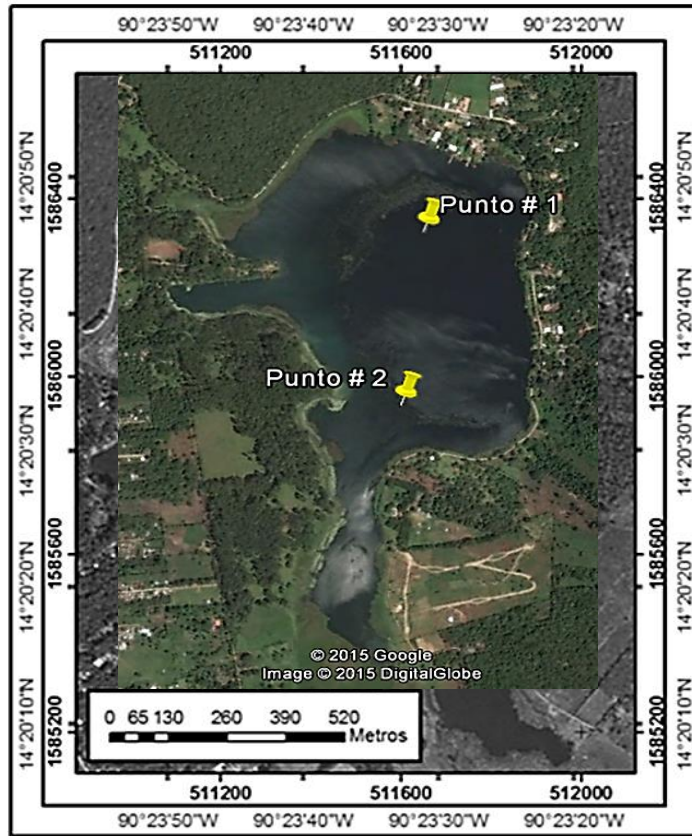
A continuación se explicarán los recursos humanos de la Laguna El Pino.

- Investigador: Ing. Juan Carlos Duarte Díaz
- Asesor: MSc. Ing. Zenón Much Santos

3.2. Puntos de muestreo

Se determinaron los puntos de muestreo del estudio en la Laguna El Pino, se utilizó el software Google Earth, se ubicaron 2 puntos que fueran representativos al área de estudio según criterios de estudios anteriores, área de la Laguna y su profundidad.

Figura 2. Vista aérea del lugar del estudio



Fuente: Google Earth. www.googleearth.com. Consulta: 13 de marzo de 2015.

Tabla II. Coordenadas de los puntos de muestreo

Punto	Coordenadas	
	Latitud	Longitud
1	14°23'44,2''N	90°23'35''O
2	14°20'34,8''N	90°23'32,0''O

Fuente: elaboración propia.

3.3. Profundidad de muestreo

Las muestras de agua se tomaron a 0,25 metros y a 1 metro de profundidad, ya que a mayor profundidad menos transparencia, es decir, los rayos de luz penetran con menor intensidad y repercute en que sea más difícil la actividad fotosintética.

3.4. Equipo *in situ* utilizado

A continuación se registra el equipo utilizado para captar las muestras y recopilar datos, para el posterior análisis y cálculo de valores.

- Lancha con motor
- Recipientes vacíos de 1 litro cada uno
- Sistema de posicionamiento global (GPS)
- Estaciones con flotadores para incubar muestras de agua
- Disco Secchi
- Equipo Hach para oxígeno disuelto *in situ*

3.5. Toma de muestras *in situ*

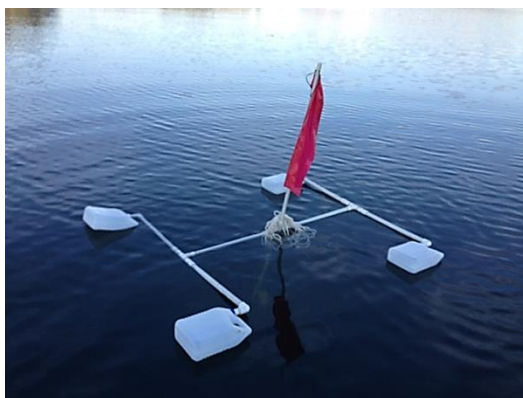
Para determinar los parámetros *in situ* se utilizará un equipo Hach multiparámetro. Se sumergen las sondas para medir los parámetros *in situ*, los cuales son temperatura, pH y oxígeno disuelto.

3.6. Estaciones para incubar muestras de agua a profundidad

Para la incubación de muestras de agua a profundidad se utilizarán estaciones diseñadas para tal fin. Las estaciones están hechas de tubería PVC

de $\frac{3}{4}$ " , son desarmables y todas las partes antes mencionadas se unen por medio de adaptadores macho y hembra PVC de $\frac{3}{4}$ ". Para que las estaciones floten se utilizaron envases plásticos de 3,875 litros en cada extremo.

Figura 3. **Estaciones incubando muestras en la laguna**



Fuente: Laguna El Pino, 17 de abril de 2015.

Figura 4. **Botellas claras y oscuras para incubación**



Fuente: Laguna El Pino, 17 de abril de 2015.

3.7. Cantidad representativa de muestras

Como consecuencia de las variaciones aleatorias, tanto del procedimiento analítico como de la presencia de algún constituyente en el punto de muestreo, una muestra simple es insuficiente para obtener el nivel deseado de incertidumbre.

Si es posible conocer la desviación estándar en todo el proceso, entonces el número de muestras que se requerirán se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N \geq \left(t * \frac{s}{U}\right)^2$$

Donde

N = número de muestras a tomar

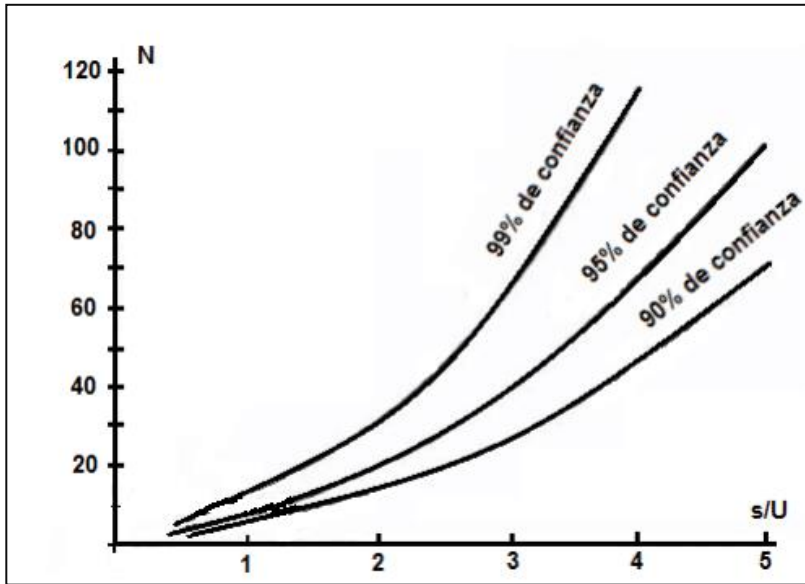
t = prueba t de Student para un nivel de confianza dado

s = desviación estándar global

U = nivel aceptable de incertidumbre

Para este caso se tomará una desviación estándar igual a 0,02 y un nivel de confianza de 0,016. La relación entre estos dos valores (s/U) es igual a 1,25. Tomando un nivel de confianza igual a 95 % y con la ayuda de la gráfica mostrada en la figura 6, se obtiene el número de muestras aproximado que se debe utilizar, siendo igual o mayor a 7.

Figura 5. Desviación estándar



Fuente: EUGENE, Rice. *Standar methods for the examination of water and waslewater*. p. 26.

4. RESULTADOS

4.1. Resultados de productividad primaria obtenidos a partir de oxígeno disuelto mediante el método de las botellas claras y oscuras

A continuación, en la tabla III, se explicarán los resultados de productividad primaria obtenidos a partir de oxígeno disuelto mediante el método de las botellas claras y oscuras.

Tabla III. **Productividad primaria neta**

		PUNTO 1	PUNTO 2
Fecha de Muestreo	Profundidad en metros	mgC/m ² día	mgC/m ² día
Época seca	13/03/2015		
		1,00	176,87
	17/04/2015	0,25	232,14
		1,00	185,71
	07/05/2015	0,25	232,14
Época lluviosa		1,00	187,92
	11/07/2015	0,25	172,44
		1,00	143,70
	15/08/2015	0,25	165,81
		1,00	145,91
	05/09/2015	0,25	174,66
		1,00	141,49
	12/09/2015	0,25	181,29
	1,00	145,91	

Fuente: elaboración propia.

4.2. Valores promedio de productividad primaria

A continuación se explicarán los valores promedio de productividad primaria.

Tabla IV. **Productividad primaria neta en punto 1 y 2 a 0,25 metros**

Productividad primaria neta (mgC/m ² /día)			
Profundidad a 0,25 m			
Época seca		Época lluviosa	
Punto # 1	Punto # 2	Punto # 1	Punto # 2
232,14	210,03	176,87	165,81
232,14	240,98	185,71	143,70
		187,92	121,60
Promedio =	232,14	225,51	183,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Productividad primaria neta en punto 1 y 2 a 1,00 metro**

Productividad primaria neta (mgC/m ² /día)			
Profundidad a 1,00 m			
Época seca		Época lluviosa	
Punto # 1	Punto # 2	Punto # 1	Punto # 2
172,44	218,87	143,7	172,44
165,81	205,61	145,91	141,49
174,66	212,24	141,49	205,61
181,29	207,82	145,91	201,19
Promedio =	173,55	211,14	144,25

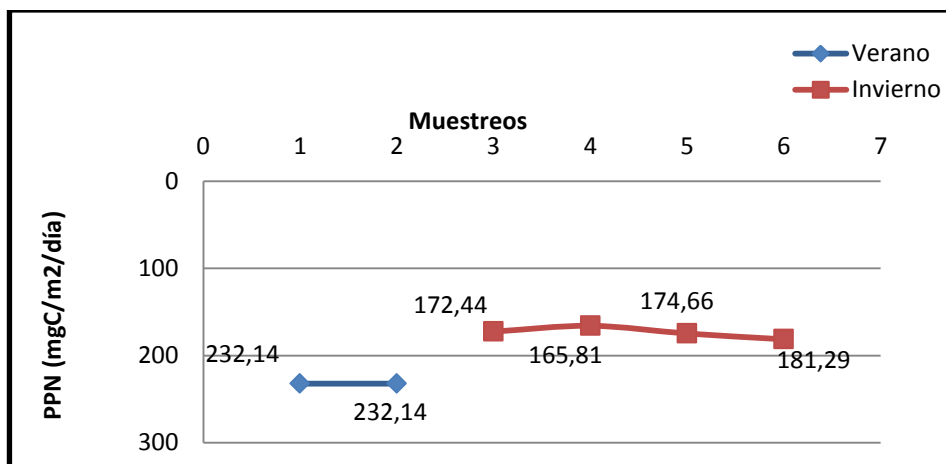
Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Resultados de productividad primaria

En las gráficas siguientes se presentan los valores de productividad primaria y se observan sus variaciones de los puntos 1 y 2 muestreados en las estación en verano e invierno.

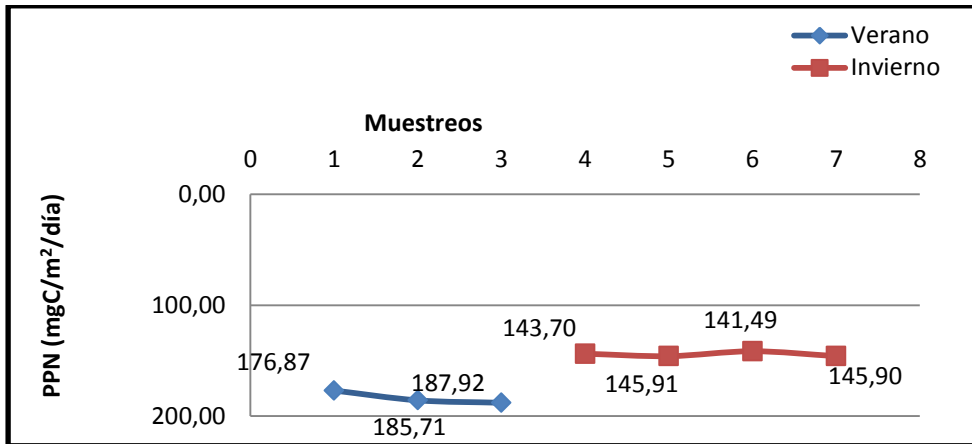
Figura 6. **Productividad a 0,25 m en punto 1, en verano e invierno**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 7 se muestran los valores de productividad primaria en el punto 1 a una profundidad de 0,25 metros. Se observa que los valores en época de invierno son menores a los valores que se obtuvieron en verano, esto es en virtud de que los valores de productividad son directamente variables, producto de que la intensidad de la luz es mayor en época de verano que en época de invierno.

Figura 7. **Productividad a 1,00 m en punto 1, en verano e invierno**



Fuente: elaboración propia.

Los valores de productividad primaria en el punto 1 a una profundidad de 1,00 metro se comportan de la misma manera que a una profundidad de 0,25 metros en relación que los valores de productividad en invierno decrecen y los valores de productividad en verano incrementan o bien son mayores que en invierno.

Los valores de productividad a 0,25 metros son mayores, tanto en verano como en invierno, que los valores de productividad obtenidos a una profundidad de 1,00 metro; esto es el resultado de que a mayor profundidad menos transparencia, es decir, los rayos de luz penetran con menor intensidad.

Figura 8. **Productividad a 0,25 m en punto 2, en verano e invierno**

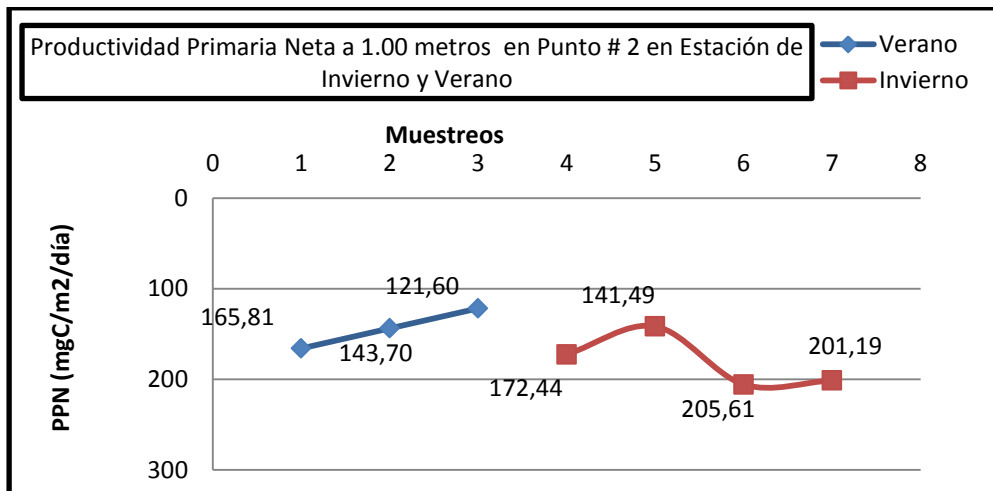


Fuente: elaboración propia.

En la figura 9 se muestran los valores de productividad primaria en el punto 2 a una profundidad de 0,25 metros, se observa que los valores en época de invierno son menores a los valores que se obtuvieron en verano, esto es en virtud de que los valores de productividad son directamente variables, producto de que la intensidad de la luz es mayor en verano que en época de invierno.

De acuerdo a los valores en la tabla IV, en el punto 1 a una profundidad de 0,25 metros se obtuvo en época seca y lluviosa un promedio de 232,14 mgC/m²/día y 183,50 mgC/m²/día respectivamente y en el punto 2 a una profundidad de 0,25 metros se obtuvo, en época seca y lluviosa, un promedio de 225,51 mgC/m²/día y 143,70 mgC/m²/día respectivamente.

Figura 9. **Productividad a 1,00 m en punto 2, en verano e invierno**



Fuente: elaboración propia.

Los valores obtenidos de productividad en el punto 2 a una profundidad de 1,00 metro no reflejan una tendencia definida, diversos factores pudieron influir en los valores obtenidos, aparte de los sólidos presentes en el cuerpo de agua o materia orgánica, los cuales son la intensidad luminosa, el porcentaje de nubosidad, el ángulo de incidencia de la luz en la superficie del agua y el grado de agitación del agua debido a la velocidad del viento.

De acuerdo a los valores en la tabla IV, en el punto 1 a una profundidad de 1,00 metro se obtuvo en época seca y lluviosa un promedio de 173,55 mgC/m²/día y 144,25 mgC/m²/día respectivamente y en el punto 2 a una profundidad de 1,00 metros se obtuvo en época seca y lluviosa un promedio de 211,14 mgC/m²/día y 180,18 mgC/m²/día respectivamente.

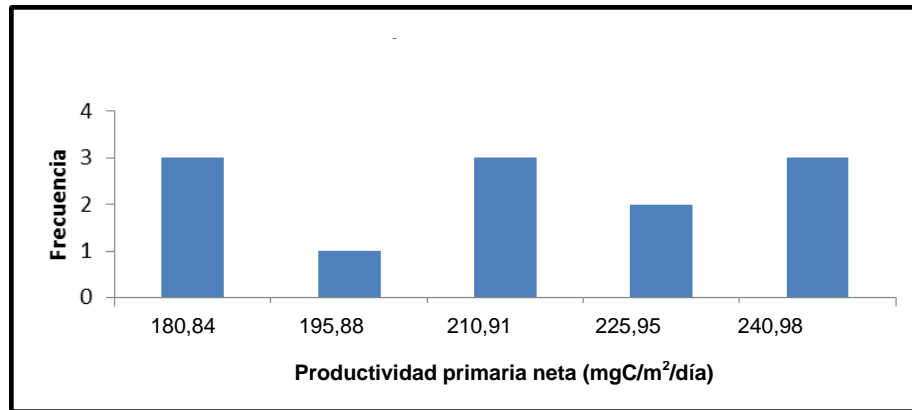
Tabla VI. **Resumen estadístico para productividad primaria neta a 0,25 metros de profundidad**

Media	204,495
Error típico	3,9484636778
Mediana	208,93
Moda	323,14
Desviación estándar	9,4952873
Varianza de la muestra	72,3054
Curtosis	-0,94832327
Coefficiente de asimetría	-0,09767946
Rango	75,17
Mínimo	165,81
Máximo	240,98
Suma	2453,94
Datos Validos	12

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VI se observa una media de 204,49 mgC/m²/día como resultado de productividad primaria en la Laguna El Pino a través del tiempo de investigación, valores que oscilan entre un mínimo de 165,81 mgC/m²/día y un máximo de 240,988 mgC/m²/día. Al comparar los valores anteriores con la tabla I para clasificar su estado trófico, la Laguna El Pino se encuentra entre los valores máximos para ser catalogada como un cuerpo oligotrófico.

Figura 10. **Histograma de productividad primaria neta a 0,25 metros**



Fuente: elaboración propia.

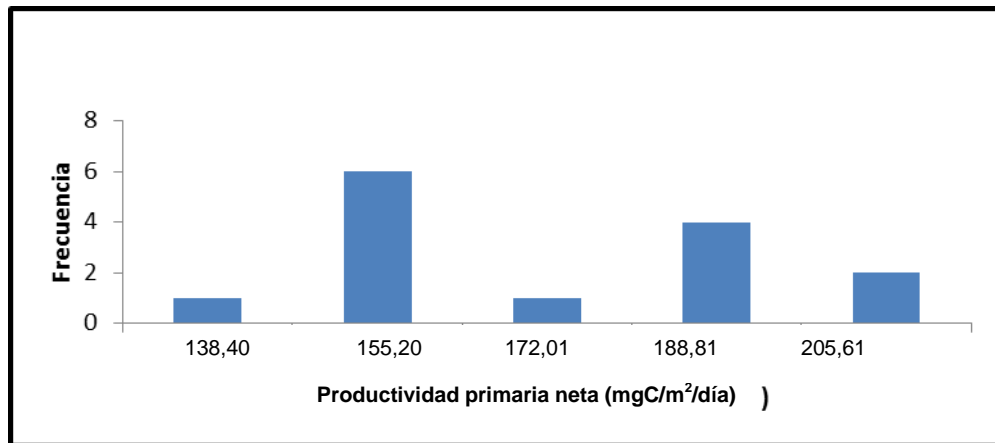
Tabla VII. **Resumen estadístico para productividad primaria neta a 1,00 metro de profundidad**

Media	162,81
Error típico	4,60536782
Mediana	155,86
Moda	141,49
Desviación estándar	12,458943
Varianza de la muestra	67,897
Curtosis	-1,37349327
Coficiente de asimetría	-0,07957946
Rango	84,01
Mínimo	121,6
Máximo	205,61
Suma	2 279,34
Datos Validos	14

Fuente: elaboración propia.

En la tabla VII se observa un valor medio de 162,81 mgC/m²/día como resultado de productividad primaria en la Laguna El Pino a través del tiempo de investigación, valores que oscilan entre un mínimo de 121,60 mgC/m²/día y un máximo de 205,61 mgC/m²/día. Al comparar los valores anteriores con la tabla I para clasificar su estado trófico, la Laguna El Pino se encuentra entre los valores máximos para ser catalogada como un cuerpo oligotrófico.

Figura 11. **Histograma de productividad primaria neta a 1,00 metro**



Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La hipótesis planteada en esta investigación es verdadera, ya que los resultados demuestran que los valores de productividad primaria obtenidos, tanto en el punto 1 como en el 2, son mayores en la estación de verano que en la estación de invierno.
2. Los valores de productividad primaria obtenidos oscilan entre el rango de 141,49 y 240,98 mgC/m²/día y determinan que el cuerpo de agua se encuentra en un estado oligotrófico valores que deben de estar entre 30 y 250 mgC/m²/día (tabla I) para ser considerado como un cuerpo de agua oligotrófico.
3. Con un promedio de 2,80 metros en el punto 1 y 3,01 metros en el punto 2, la transparencia es un parámetro que influye en los valores de productividad primaria, esto es el resultado de que a mayor profundidad menos transparencia, es decir, los rayos de luz penetran con menor intensidad y repercuten en que sea más difícil la actividad fotosintética.

RECOMENDACIONES

1. Se debe continuar realizando estudios relacionados a la productividad primaria y considerar los factores que individualmente causan variaciones de la masa de agua, como cambios térmicos, disposición de biocidas, fertilizantes, desechos líquidos domésticos, entre otros.
2. A la Escuela Regional del Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), específicamente en el área de Ingeniería Sanitaria del curso de Limnología y Saneamiento de Corrientes, que se le dé seguimiento y actualización a los datos generados en esta investigación, de tal forma que se tenga una información actualizada y confiable que permita el control y monitoreo del agua de la Laguna El Pino.
3. A las autoridades municipales y a la administración encargada de velar por la conservación del Parque Nacional Laguna El Pino, INAB y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), restringir la aprobación de licencias de construcción para proyectos habitaciones que pongan en peligro la integridad de la Laguna El Pino y crear una comisión encargada de monitorear la calidad del agua de la Laguna El Pino para su conservación.
4. A Instituto Nacional de Bosques (INAB) y Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), que unan esfuerzos con el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) para realizar limpieza en la Laguna El Pino debido a la proliferación de *Hydrilla verlicillata*, ya que está afectando un 100 %

de dicho cuerpo lacustre y puede llegar a tener consecuencias graves para su preservación.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILERA, Rolando. *Determinación de la productividad primaria del lago de Amatitlán*. Tesis de maestría en Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela Regional De Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos, 1984. 126 p.
2. ARGUETA, Denis. *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala*. Tesis de Maestría en Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, 2011. 219 p.
3. CASTAÑEDA SALGUERO, César. *Deterioro y desaparición de lagos y lagunas en Guatemala*. Guatemala: Centro de Estudios Urbanos y Regionales, 1989. 4 v.
4. CASTAÑEDA SALGUERO, Cesar. *Sistemas lacustres de Guatemala. Recursos que mueren*. Guatemala: Editorial Universitaria, 1995. 196 p.
5. Centro de Investigaciones de Ingeniería. *Análisis inventarial primario de las investigaciones limnológicas realizadas por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1980. 18 p.

6. COLE, Gerald. *Textbook of Limnology*. 3a. ed. USA: Mosby Company, 1983. 1 268 p.
7. DUARTE, José. *Caracterización fisicoquímica de la laguna el Pino, ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala*. Tesis de maestría en Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos, 2014. 196 p.
8. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria. *Manual de prácticas de laboratorio de química del agua*. Guatemala: ERIS, 25 p.
9. _____. *Eutrofización del lago de Amatitlán*. Guatemala: ERIS 1981. 20 p.
10. GARCÍA MARTÍNEZ, Luis. *Reconocimiento limnológico del Lago de Amatitlán*. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1968.
11. Guatemala. *Ley de Áreas Protegidas* Decreto 4-89 y sus reformas Decreto 18-89, Decreto 110-96.
12. LÓPEZ PAREDES, Luis Arturo. *Estudio limnológico del lago de Guija, determinación de su estado de eutrofización*. Tesis de maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2008. 196 p.

13. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Ley de áreas protegidas. Decreto 4-89 y sus reformas. Decreto 18-89. Decreto 110-96.* Guatemala: MARN. 16p.
14. MORENO FRANCO, Paola; QUINTERO, Jacqueline y LÓPEZ, Armando. *Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia.* 9 p. 2010.
15. MUCH, Zenón. *Notas del curso de limnología.* Universidad de San Carlos de Guatemala: Escuela de Ingeniería Sanitaria. 2010. 25 p.
16. RAMÍREZ GONZÁLEZ, Alberto. *Ecología: Métodos de muestreos y análisis de poblaciones y comunidades.* Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana, 2006. 269 p.
17. SARAIVIA, Pedro. *Contaminación de agua.* Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. 110 p.

APÉNDICES

1. Resultados *in situ*

Los resultados de las mediciones de parámetros *in situ* fueron tomados directamente del equipo Hach multiparámetro. Se tomaron datos en tablas especiales y luego fueron digitalizados para interpretar los datos y graficar en discusión de resultados.

Tabla A. Muestras *in situ* punto 1

Punto 1 (N14°23'44.2", W90°23'35")					
	Fecha De Muestreo	Profundidad en metros	Temperatura °C	pH(u)	Transparencia (m)
Época seca	13/03/2015				3
		1,00	26,5	8,7	
	17/04/2015	0,25	25,9	8,6	2,95
		1,00	26,0	8,54	
	7/05/2015	0,25	25,8	8,8	3,25
		1,00	26,4	8,5	
Época lluviosa	11/07/2015	0,25	26,9	8,19	2,9
		1,00	25,7	7,95	
	15/08/2015	0,25	26,5	7,9	2,7
		1,00	25,9	7,5	
	5/09/2015	0,25	25,8	8,1	2,75
		1,00	26,4	7,95	
	12/09/2015	0,25	25,7	7,25	2,7
		1,00	25,2	6,75	

Fuente: elaboración propia.

Tabla B. **Muestreo *in situ* punto 2**

Punto 2 (N14°20'34.8'', W90°23'32.0'')					
Fecha De Muestreo	Profundidad en metros	Temperatura °C	pH(u)	Transparencia (m)	
Época seca	13/03/2015			3,25	
		1,00	25,8	8,5	
	17/04/2015	0,25	24,4	8,55	3
		1,00	25,5	8,43	
	7/05/2015	0,25	25,8	8,64	3,1
		1,00	26,2	8,36	
	11/07/2015	0,25	26,7	7,9	3
		1,00	26	7,55	
Época lluviosa	15/08/2015	0,25	27,2	8	2,65
		1,00	26,5	7,85	
	5/09/2015	0,25	26,9	7,55	2,55
		1,00	25,9	7,5	
	12/09/2015	0,25	27,2	7,65	3,5
		1,00	26,5	7,4	

Fuente: elaboración propia.

2. Valores promedio de parámetros *in situ*

A continuación se muestran las tablas C,D y E de parámetros *in situ* con sus respectivos valores promedio.

Tabla C. **Valores de temperatura promedio *in situ* (°C)**

Profundidad (m)	Punto 1	Punto 2
0,25	26,1	26,4
1,00	26,0	26,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla D. **Valores de pH promedio *in situ***

Profundidad (m)	Punto 1	Punto 2
0,25	8,14	8,05
1,00	7,98	7,94

Fuente: elaboración propia.

Tabla E. **Transparencia promedio de la laguna en los diferentes puntos de muestreo en metros y sus profundidades**

Muestreo #	Punto 1	Punto 2
1	3	3,25
2	2,95	3
3	3,25	3,1
4	2,9	3
5	2,7	2,65
6	2,75	2,55
7	2,7	3,5
Promedio	2,89	3,01

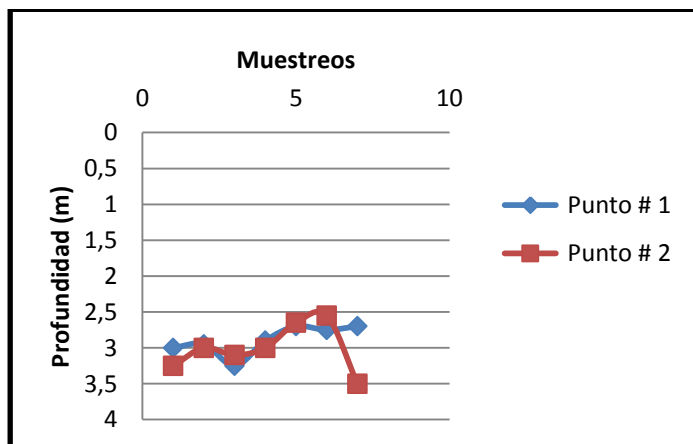
Fuente: elaboración propia.

3. Transparencia

En la tabla XII se resumen los resultados de los 7 muestreos realizados en los puntos 1 y 2 de la Laguna El Pino. Existen factores que pudieron influir en los valores obtenidos, aparte de sólidos presentes en el cuerpo de agua o materia orgánica, los cuales son la intensidad luminosa, el porcentaje de nubosidad, el ángulo de incidencia de la luz en la superficie del agua y el grado de agitación del agua (velocidad del viento).

Con los datos obtenidos de la tabla D, se determinan los valores promedio, dando como resultado 2,89 metros en el punto 1 y 3,01 metros en el punto 2.

Figura A. **Muestreos de transparencia en cada punto**



Fuente: elaboración propia.

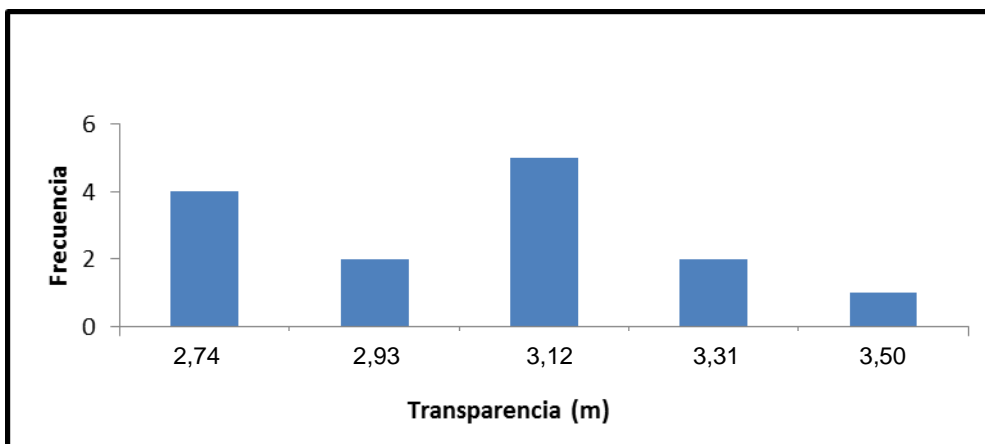
Tabla F. **Resumen estadístico del parámetro de transparencia**

Media	2,95
Error típico	0,15950643
Mediana	2,98
Moda	3
Desviación estándar	0,60678796
Varianza de la muestra	0,39742347
Curtosis	-1,00435275
Coefficiente de asimetría	0,30672495
Rango	1,87
Mínimo	2,55
Máximo	3,5
Suma	41,3
Datos Validos	14

Fuente: elaboración propia.

En la tabla E se observa un promedio de 2,95 metros en transparencia en la Laguna El Pino a través del tiempo de investigación, valores que oscilan entre un mínimo 2,55 metros y un máximo 3,50 metros para luego graficar su respectivo histograma.

Figura B. **Histograma del parámetro de transparencia**



Fuente: elaboración propia.

4. **Temperatura**

Se observa la variación de temperatura superficial en la Laguna El Pino a través del tiempo de investigación. Valores que oscilan en mínimo 24,4 °C, punto 2 el 17 de abril de 2015 y máximo de 27,2 °C, punto 2 el 12 de septiembre de 2015.

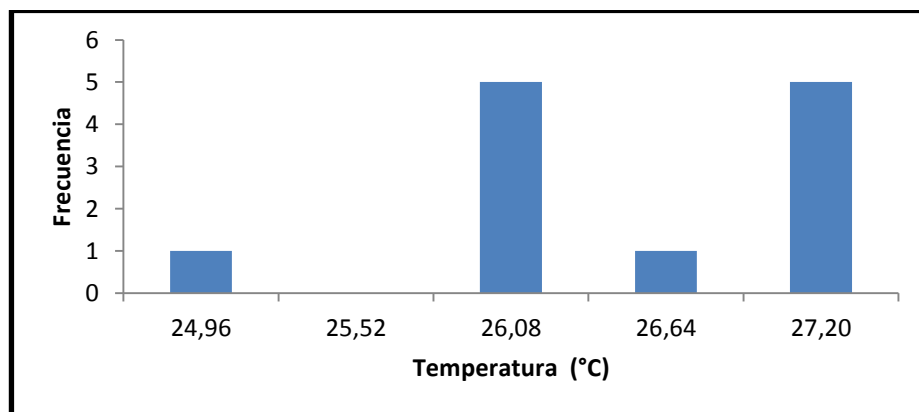
Por lo tanto, estos valores determinan que la Laguna El Pino es un cuerpo de agua tropical oligomictico, ya que la temperatura del agua en su perfil estratigráfico se encuentra entre los valores 20 y 30 °C.

Tabla G. **Resumen estadístico para temperatura a 0,25 metros de profundidad**

Media	26,2333333
Error típico	0,11523416
Mediana	26,2
Moda	25,8
Desviación estándar	0,49352332
Varianza de la muestra	0,28325238
Curtosis	-1,67822703
Coefficiente de asimetría	0,08694065
Rango	2,8
Mínimo	24,4
Máximo	27,2
Suma	314,8
Datos Validos	12

Fuente: elaboración propia.

Figura C. **Histograma de temperatura a 0,25 metros**



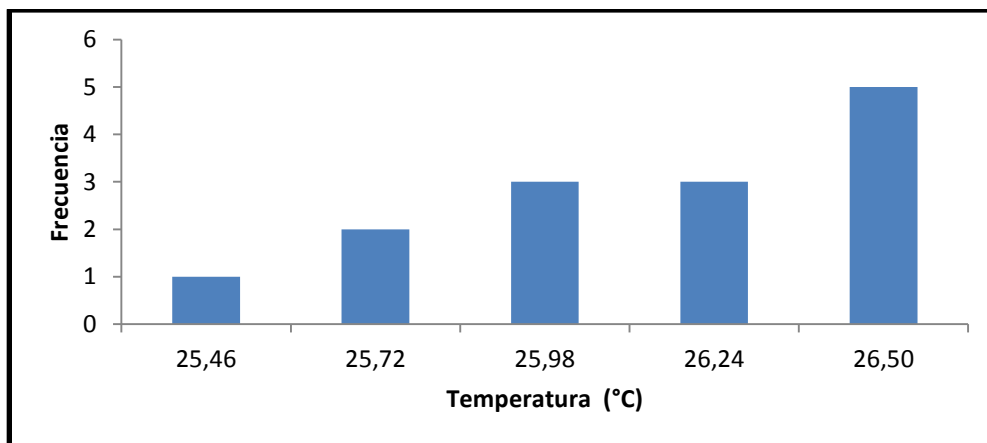
Fuente: elaboración propia.

Tabla H. **Resumen estadístico para temperatura a 1,00 metro de profundidad**

Media	26,0357143
Error típico	0,10541633
Mediana	26
Moda	26,5
Desviación estándar	0,39348132
Varianza de la muestra	0,22252381
Curtosis	-0,81527028
Coeficiente de asimetría	-0,08694065
Rango	1,6
Mínimo	25,2
Máximo	26,5
Suma	364,5
Datos Validos	14

Fuente: elaboración propia.

Figura D. **Histograma de temperatura a 1,00 metros**



Fuente: elaboración propia.

5. Potencial de hidrógeno

Se pueden observar las variaciones en función de la profundidad, los puntos tienen una tendencia estratigráfica definida, encontrándose el mínimo valor de 6,75 miligramos/litro en el punto 1 a una profundidad de 1 metro y el máximo valor de 8,80 miligramos/litro en el punto 1 a una profundidad de 1 metro.

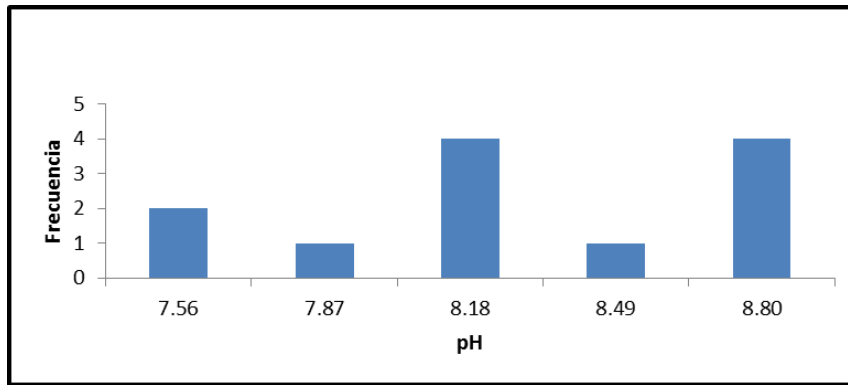
Los valores normales de oxígeno disuelto en un cuerpo lacustre para que exista vida acuática son de 7 a 8 miligramos/litro por lo que se determina que la Laguna El Pino si presenta un deterioro lento a través del tiempo.

Tabla I. **Resumen estadístico para pH a 0,25 Metros de profundidad**

Media	8,09416667
Error típico	0,1528503
Mediana	8,05
Moda	7,9
Desviación estándar	0,5523842
Varianza de la muestra	0,29679854
Curtosis	-1,42345713
Coficiente de asimetría	-0,39740893
Rango	2,8
Mínimo	24,4
Máximo	27,2
Suma	314,8
Datos Validos	12

Fuente: elaboración propia.

Figura E. **Histograma de pH a 0,25 metros**



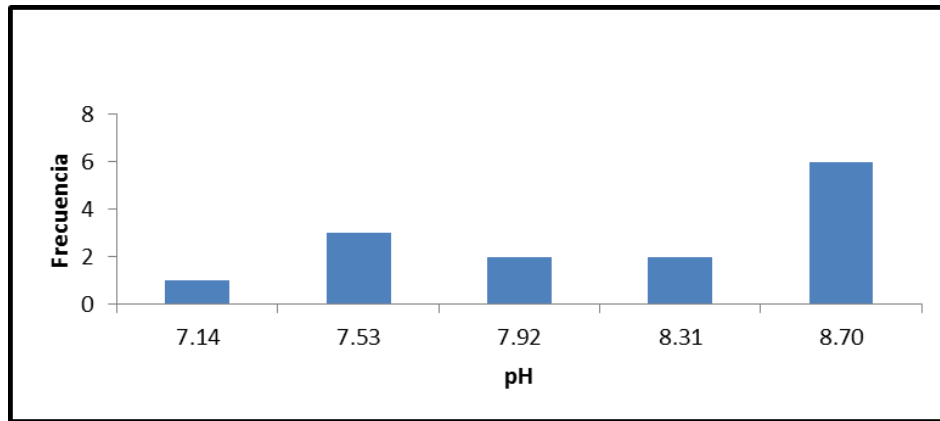
Fuente: elaboración propia.

Tabla J. **Resumen estadístico para pH a 1,00 metro de profundidad**

Media	7,96285714
Error típico	0,14462998
Mediana	7,95
Moda	8,5
Desviación estándar	0,5523842
Varianza de la muestra	0,35756993
Curtosis	-1,42345713
Coefficiente de asimetría	-0,23469928
Rango	1,95
Mínimo	6,75
Máximo	8,7
Suma	111,48
Datos Validos	14

Fuente: elaboración propia.

Figura F. **Histograma de pH a 1,00 metros**



Fuente: elaboración propia.

