



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA
CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA MONJA BLANCA, MUNICIPIO DE PALENCIA**

Saúl Estuardo Girón Chew

Asesorado por el Msc. Ing. Ricardo David Rosales López

Guatemala, mayo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA MONJA BLANCA, MUNICIPIO DE PALENCIA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SAÚL ESTUARDO GIRÓN CHEW

ASESORADO POR EL MSC. ING. RICARDO DAVID ROSALES LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
EXAMINADORA	Inga. María del Mar Girón Cordón
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

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:

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA MONJA BLANCA, MUNICIPIO DE PALENCIA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 24 de febrero de 2020.

Saúl Estuardo Girón Chew

Ref. EEPFI-294-2020
Guatemala, 24 de febrero de 2020

Director
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.

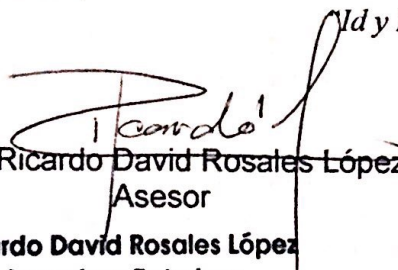
Estimado Ing. Aguilar:


Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA MONJA BLANCA, MUNICIPIO DE PALENCIA**, presentado por el estudiante **Saul Estuardo Girón Chew** carné número **200714680**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Energía y Ambiente.


Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular,

Atentamente,


Mtro. Ricardo David Rosales López
Asesor
Ricardo David Rosales López
Ingeniero Petrolero
Colegiado No. 14,530


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Coordinador de Área
Desarrollo Socio-Ambiental y Energético


Mtro. Edgar Darío Álvarez Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



EEP-EIC-007-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA MONJA BLANCA, MUNICIPIO DE PALENCIA**, presentado por el estudiante universitario Saul Estuardo Girón Chew, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Saul Estuardo Girón Chew
 Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
 Director
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, febrero de 2020



Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua

DTG. 231.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN LA LAGUNA MONJA BLANCA, MUNICIPIO DE PALENCIA**, presentado por el estudiante universitario: **Saúl Estuardo Girón Chew**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, mayo de 2021

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por cuidar siempre de mí, bendecir mi vida, darme sabiduría y coraje para poder cumplir esta meta.
- Mis padres** Lázaro Girón y Edith Chew, por su gran entrega, esfuerzo, ejemplo y apoyo incondicional, que me han permitido ser hoy la persona que soy.
- Mis hermanos** Omar, Gustavo, Edith y Ariel Girón, por su ejemplo, apoyo y compañía durante toda mi vida.
- Mis abuelos** Candelario Girón (q. e. p. d.) y Amparo Del Cid, por haber sido un ejemplo de vida para todos sus nietos.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	A la gloriosa Tricentenaria, por ser mi <i>alma mater</i> , de la cual estoy orgulloso de egresar.
Facultad de Ingeniería	Por permitirme desarrollar los conocimientos técnicos y científicos para desarrollarme como profesional de ingeniería civil.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por facilitarme las herramientas y conocimientos necesarios para la realización del presente trabajo de graduación.
Municipalidad de Palencia	Por permitirme desarrollar el presente diseño de investigación sobre la laguna Monja Blanca.
Mis amigos	Por haber sido un gran apoyo en el desarrollo de mi carrera profesional.
Mi asesor de tesis	Msc. Ing. Ricardo Rosales, por haberme apoyado y guiado durante la realización del trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
4. JUSTIFICACIÓN	11
5. OBJETIVOS	13
5.1. General	13
5.2. Específicos	13
6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Ecosistemas de agua dulce.....	17
7.1.1. ¿Qué es un ecosistema?.....	17
7.1.2. Ecosistemas acuáticos	17
7.1.3. Ecosistemas de agua dulce.....	18
7.1.4. Tipos de ecosistemas de agua dulce.....	18

7.1.4.1.	Las lagunas y los lagos	19
7.1.5.	Características de los ecosistemas de agua dulce	20
7.1.6.	Factores de mayor importancia en los ecosistemas de agua dulce	20
7.2.	Ecosistemas de agua dulce artificiales.....	21
7.2.1.	¿Qué es un ecosistema de agua dulce artificial?	21
7.2.2.	Factores de mayor importancia en los ecosistemas de agua dulce artificiales	22
7.3.	Contaminación en cuerpos de agua dulce	23
7.4.	Evaluación de la calidad del agua dulce para ecosistemas acuáticos	23
7.4.1.	Análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua dulce	24
7.4.2.	Toma de muestras de agua.....	24
7.4.3.	Parámetros por evaluar en un análisis físico- químico y bacteriológico	25
7.4.4.	Índice de la calidad del agua	27
7.4.4.1.	Índice de calidad del agua NSF.....	28
7.5.	Laguna Monja Blanca.....	32
7.5.1.	Ubicación de la laguna Monja Blanca	32
7.5.2.	Historia de la laguna Monja Blanca	33
7.5.3.	Características de la laguna Monja Blanca	33
7.5.4.	Área de influencia de la laguna Monja Blanca.....	34
7.5.5.	Proyectos municipales en el área de la laguna Monja Blanca.....	34
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	35

9.	METODOLOGÍA.....	37
9.1.	Determinar las características físicas de la laguna Monja Blanca.....	37
9.2.	Caracterizar el entorno de la laguna para evaluar posibles fuentes contaminantes.....	37
9.3.	Determinar el ICA de la laguna mediante la toma de muestras en distintos puntos de la misma.....	38
9.4.	Realizar un análisis técnico, financiero y ambiental de las propuestas que permitan mejorar la calidad del agua en la laguna.....	38
10.	TÉCNICA DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	41
11.	CRONOGRAMA.....	43
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	45
12.1.	Recursos humanos.....	45
12.2.	Recursos económicos.....	45
12.3.	Equipo e instalaciones.....	45
13.	REFERENCIAS.....	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Curvas de valoración método NSF.....	29
2.	Diagrama de modelo metodológico.....	37

TABLAS

I.	Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano.....	26
II.	Características químicas que debe tener el agua para consumo humano	26
III.	Características bacteriológicas que debe tener el agua para consumo humano	27
IV.	Ejemplo de cálculo de ICA NSF	31
V.	Escala de clasificación de ICA NSF	32
VI.	Instrumento de recolección de información.....	39
VII.	Cronograma de actividades.....	43

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grados centígrados
mmol	Milésima de un mol
mg/L	Miligramos por litro
ml	Mililitro
%	Porcentaje

GLOSARIO

Coguanor	Comisión Guatemalteca de Normas.
FAO	Food and Agriculture Organization.
Insivumeh	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
kPa	Kilopascales
Léntico	Aguas estancadas.
Limnología	Ciencia que estudia los aspectos físicos y biológicos de los ecosistemas de agua dulce, especialmente los lagos.
Lótico	Aguas en movimiento.
NSF	National Sanitation Foundation.
PH	Potencial hidrógeno

RESUMEN

El presente trabajo plantea el diseño de investigación para evaluar una propuesta de mejoramiento de la calidad del agua en la laguna Monja Blanca, ubicada en el municipio de Palencia, utilizando sus parámetros de calidad y las características de su entorno.

El estudio se realizará durante tres meses, durante los cuales se llevará a cabo tanto trabajo de campo como de laboratorio. El interés en el desarrollo de la investigación se debe a la importancia ecológica y turística que tiene la laguna en el municipio. Su apariencia turbia y su baja capacidad biológica afectan al ecosistema y a la población, lo cual nos prescribe el análisis de esta para proponer soluciones de mejoramiento viables.

La metodología consistirá en la caracterización física de la laguna, para posteriormente monitorearla durante tres meses, en los cuales se llevará un registro histórico de las características físicas, así como la toma de una muestra mensual de agua que será analizada en el laboratorio para determinar sus parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. Posteriormente se determinará y evaluará el índice de calidad del agua de la laguna.

Los resultados obtenidos permitirán conocer mejor las características de la laguna, para poder desarrollar una propuesta viable de mejoramiento de la calidad del agua, que mitigue su apariencia turbia e incremente su capacidad biológica. Asimismo, será de gran utilidad para la realización de futuros estudios.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas de agua dulce son aquellos donde la masa de agua principal es de agua dulce con bajas concentraciones de agua salada. Son de vital importancia para la supervivencia de los seres vivos y se pueden clasificar según el movimiento del agua en loticos, lenticos y humedales.

Los ecosistemas de agua dulce se pueden conformar artificialmente mediante acciones que permitan mantener las características principales de un ecosistema de agua dulce natural. Para poder tener un ecosistema de agua dulce artificial sano, es necesario mantener ciertos parámetros de calidad del agua en los niveles adecuados.

Los cuerpos de agua dulce pueden ser contaminados debido a acciones antrópicas, entre las que destacan el crecimiento desordenado de las áreas urbanas y rurales, la ganadería y la agricultura.

La composición química del agua puede aportar información vital sobre el comportamiento biológico de los ecosistemas y se puede definir a partir de los análisis de muestras extraídas adecuadamente, para luego ser analizadas por medio de la concentración de cada parámetro de importancia.

La laguna Monja Blanca se ubica en el municipio de Palencia, a 3.4 kilómetros del casco urbano del municipio. Tiene gran importancia socioeconómica para Palencia, debido a la afluencia turística que genera y a la actividad pesquera que se realiza en ella, lo cual genera ingresos económicos para los habitantes. También posee gran importancia recreativa para la población

del municipio y sus visitantes pues en sus alrededores se desarrollan actividades deportivas, sociales y culturales.

La laguna Monja Blanca es un embalse de agua dulce conformado artificialmente con fines turísticos, recreativos y de piscicultura. Las fuentes de recarga de la laguna son la precipitación pluvial, las escorrentías y principalmente el agua inyectada del sistema de mini riego de la comunidad, que proviene de un nacimiento de agua en las montañas de Palencia. El agua ingresa a la laguna con una apariencia aceptable, sin embargo, su apariencia ya dentro de la misma se vuelve turbia y con poca capacidad biológica ya que la población de peces se mantiene con dificultad.

La mala apariencia y poca capacidad biológica de la laguna provoca la disminución de la actividad turística y pesquera, lo que repercute en los ingresos económicos de los pobladores. Debido a esto la Municipalidad ha invertido en proyectos de infraestructura, siembra de peces, siembra de árboles y jardinería, para darle mayor valor turístico a la laguna y sus alrededores, pero la mala apariencia del agua es un aspecto que se mantiene todo el tiempo por lo que la afluencia turística no es la esperada.

En el proyecto de investigación *Propuesta de mejoramiento de la calidad del agua en la laguna Monja Blanca, Municipio de Palencia* que se realizará como proyecto de graduación de la Maestría en Energía y Ambiente de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, avalado por la Municipalidad de Palencia, se evaluarán los parámetros de la calidad del agua en la laguna Monja Blanca y se caracterizará su entorno. Los resultados obtenidos serán de utilidad para determinar las posibles causas de la mala apariencia del agua en la laguna y la propuesta que permita el mejoramiento de esta.

2. ANTECEDENTES

Se realizó un estudio sobre la laguna Suco, ubicada en Argentina. El objetivo del estudio fue evaluar las fluctuaciones fisicoquímicas, ficológicas y bacteriológicas el agua, con sus posibles riesgos para el hombre y el ambiente. Se destacó en este estudio que las causas principales de eutrofización en los embalses de agua son las actividades ganaderas. Se realizaron muestreos en tres estaciones diferentes del año y en tres puntos distintos de la laguna para luego evaluar la calidad del agua para uso recreacional. Se midieron parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y recuento de algas, clorofilas y zooplancton. Los resultados obtenidos indican niveles altos de sulfatos, bicarbonatos y cloruros y durante la temporada de verano se observaron niveles altos de sodio (Rodríguez, Mancini, Prospero, Weyers y Alcantú, 2001).

En el Mar del Plata se ha desarrollado un cinturón frutihortícola, donde se aplica riego con agua subterránea, con un impacto consecuente sobre el acuífero. Existen antecedentes que clasifican el agua no apta para riego, aunque las precipitaciones y la capacidad de drenaje son suficientes para asegurar el lavado de sales. En dicha región se localiza la laguna De los Padres, que se caracteriza por oscilaciones de nivel. Se realizó una evaluación de la calidad del agua para utilización de riego según el *Programa de gestión ambiental del recurso hídrico regional*. Se tomaron muestras entre los años 2004 y 2006 mediante técnicas estandarizadas. Se determinó que el agua en la laguna es alcalina y bicarbonatada-sódica. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), los valores de sólidos totales disueltos y conductividad eléctrica indican riesgo de producirse problemas de salinidad. De acuerdo con U.S. *Salinity Laboratory Staff* el agua es

altamente salina con baja restricción de uso por sodio. El potencial osmótico fue de -28,6 kPa. El carbonato de sodio residual fue de 2,5 mmol.L-1, por lo que no sería adecuada para riego por tener tendencia a precipitar carbonato de calcio. Pese a su menor salinidad comparada con las aguas subterráneas, presenta restricciones en su uso; si bien considerando el régimen de lluvias y las propiedades del suelo sería factible su utilización. Sería necesario monitorear la salinidad del suelo, considerar accesibilidad, nivel hidrométrico mínimo y tipo de cultivo de la laguna (Colasurdo, Díaz, Grosman y Sanzano, 2011).

Se realizó un análisis del comportamiento de la calidad del agua en la laguna de Champayán, Mexico, la cual funciona como fuente de agua potable para la ciudad de Altamira, Tamaulipas y para el Puerto Industrial de Altamira. Se tomaron muestras de agua entre los años 2010 al 2013, para evaluar principalmente parámetros de color, sólidos totales y turbidez, según la norma mexicana NOM-127-SSA1-1994. También se realizó una recopilación de información del *Laboratorio de Control de Calidad de la Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Altamira, Tamaulipas*. El estudio dio como resultado que la calidad del agua en la laguna se ha deteriorado desde los años 2006 y se determinaron incrementos en la turbidez del 1160 %, el color en 491 % y en sólidos totales en 104 %. Se recomendó realizar un estudio posterior para poder determinar las causas del deterioro en la calidad del agua (Rolón *et al.*, 2015).

Se realizó un estudio sobre la cuenca de drenaje que alimenta las aguas de las lagunas Los Mexicanos y Bustillos. Indican que la calidad del agua de dichas lagunas está siendo amenazada por la actividad humana. Se planteó la extracción de muestras de agua para su análisis fisicoquímico y microbiológico. Los resultados de los análisis reflejaron concentraciones altas de bacterias coliformes y se detectó también en el estudio que las principales fuentes de

contaminación son las aguas residuales, la actividad agropecuaria y los desechos industriales (Amado, Pérez, Ramírez y Alarcón, 2016).

Según el estudio antes mencionado, la actividad humana es el factor más importante por considerar en el deterioro de las aguas superficiales, siendo alarmante el caso de la laguna de Bustillos en donde claramente la falta de eficiencia de las plantas de tratamiento existentes en el lugar provoca niveles altos de contaminación en las fuentes de agua, lo que limita la utilización del recurso para consumo humano. Indican que se necesitan planes estatales para que permitan establecer procesos integrales de gestión para mantener y recuperar la sostenibilidad del ambiente, evitando así la transformación desmedida de los hábitats naturales (Amado *et al.*, 2016).

Se realizó un artículo en el cual se evalúa la calidad del agua de la laguna El Pino, en Guatemala, analizando los parámetros fisicoquímicos de muestras de agua que se extrajeron en un tiempo determinado. Según se describen los resultados en laboratorio y en campo, en base a datos históricos de los años 2003, 2010 y el 2014, se concluyó que la laguna El Pino ha aumentado sus niveles máximos en los parámetros como: nitritos (0.14 mg/L), temperatura (29 °C), amoníaco (0.23 mg/L), nitratos; su daño se ha incrementado y acelerado a lo largo del tiempo y se recomienda monitorear la laguna en diferentes épocas del año para obtener datos que contribuyan a prevenir consecuencias graves que deterioren la calidad del agua (Duarte, 2014).

El estudio mencionado sobre la laguna El Pino en Guatemala, muestra un incremento de nutrientes que se ha incrementado a través del tiempo, repercutiendo negativamente en la calidad del agua y reduciendo el oxígeno disuelto, decrementando así su capacidad biológica (Duarte, 2014).

Según lo indicado por el Instituto Geográfico Nacional, Guatemala es un país privilegiado por su naturaleza y su abundante agua dulce, pero el deterioro de estas se ha vuelto un problema grave en los últimos años. Guatemala cuenta con 550 ríos, riachuelos y lagos, los cuales han permitido en sus alrededores la existencia de 1151 poblaciones. Sin embargo, el 90 % del agua de Guatemala no es apta para el consumo humano. Según Virginia Mosquera, investigadora del Instituto de Agricultura, Ciencias Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar, la principal fuente de contaminación de las aguas dulces en Guatemala son las heces fecales (Elías, 2015).

Se indica también por parte del Insivumeh (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) que en Guatemala se ha incrementado considerablemente la población y la industria, lo cual incrementa la demanda de agua potable, lo que a su vez contamina la misma. Cada vez es más difícil la extracción de agua de los mantos freáticos debido a la permeabilidad del suelo provocada por grandes complejos habitacionales y zonas de deforestación (Insivumeh, 2019).

Según el Insivumeh las exigencias de agua abundante y de buena calidad es cada vez mayor, a través del Laboratorio de Hidroquímica del Departamento de Investigación y Recursos Hídricos han establecido ciertas características físicas que deben evaluarse para conocer la calidad del agua para consumo humano, como lo son la conductividad, el oxígeno disuelto, el PH, el porcentaje de saturación de oxígeno y la temperatura. También establecen que las características químicas a evaluar deben ser nitratos, silicatos, sulfatos, fosfatos, cloruros, amonio, fluoruros, cobre, litio, potasio, sodio, magnesio, calcio, bicarbonato y carbonatos (Insivumeh, 2019).

La laguna Monja Blanca está ubicada a 3 kilómetros del municipio de Palencia del departamento de Guatemala. Nombrada en el año 1967, la laguna en sus inicios era pantanosa y de poca profundidad ya que carecía de un caudal abundante que la alimentara. Posteriormente se realizaron trabajos de dragado y alimentación con un caudal externo proveniente de un sistema de mini riego del sector, lo cual incrementó considerablemente su volumen, mejorando su atractivo turístico.

La laguna Monja Blanca se caracteriza por ser un embalse conformado artificialmente el cual se mantiene gracias a la esorrentía de lluvia y a la inyección de agua proveniente del sistema de mini riego local. Se puede observar visualmente que la laguna posee cierto grado de eutrofia debido a sus características físicas y considerando que su renovación de agua es lenta.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los embalses de agua dulce son grandes acumulaciones de agua que se forman de manera natural en la parte baja de una cuenca o de manera artificial, con fines de recreación, piscicultura, riego o para incrementar el turismo.

La laguna Monja Blanca es un embalse de agua dulce que se conformó artificialmente aprovechando el terreno pantanoso y su topografía, con fines recreativos y de turismo principalmente. Para mantener el nivel de agua se le inyecta un ramal del sistema de mini riego de la comunidad que proviene de un nacimiento de agua en las montañas de Palencia. En los últimos años se ha convertido en un importante destino turístico del municipio ya que por parte de la municipalidad se ha invertido en obras de infraestructura como lo son carrileras en la vía de acceso, juegos infantiles, ciclovías y muelles, lo que permite que los visitantes se distraigan con actividades deportivas, almuerzos familiares y descanso a la orilla de la laguna.

Se estima que anualmente ingresa a la laguna un aproximado de 3600 visitantes, lo cual genera ingresos económicos a los pobladores del sector que instalan aproximadamente 15 ventas de productos varios los fines de semana. Las fuentes de recarga de la laguna son la precipitación pluvial, las escorrentías y principalmente el agua inyectada del sistema de mini riego de la comunidad. El agua ingresa a la laguna con una apariencia aceptable, sin embargo, su apariencia ya dentro de la misma se vuelve turbia y con poca capacidad biológica ya que la población de peces se mantiene con dificultad.

Para mejorar la calidad del agua en la laguna Monja Blanca, es necesario realizar una caracterización física de la laguna y su entorno, así como la toma de muestras, lo cual nos indicara los niveles de calidad en el agua y las posibles causas de su mal aspecto. Posteriormente se podrá proponer soluciones que nos permitan mejorar dicha calidad, así como su apariencia turbia y su capacidad biológica, lo cual impactará positivamente en la población y los visitantes. El objetivo principal del estudio será desarrollar una propuesta que permita mejorar la calidad del agua en la laguna, lo cual generará beneficios como el incremento de la actividad turística, el incremento de los ingresos económicos de los pobladores del sector y el municipio, el mejoramiento del ecosistema acuático, el incremento de la actividad pesquera, el mejoramiento de la apariencia física de la laguna y la disminución de la proliferación de zancudos.

En virtud de lo anterior se plantea la pregunta principal: ¿cuál es la propuesta que permitirá mejorar la calidad del agua en la laguna Monja Blanca? Esto nos permite desglosar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles serán las características físicas de la laguna Monja Blanca?
- ¿Se podrán evaluar posibles fuentes contaminantes, caracterizando el entorno de la laguna?
- ¿Se podrá determinar el índice de calidad del agua (ICA) de la laguna mediante la toma de muestras en distintos puntos de esta?
- ¿Se podrá realizar un análisis técnico, financiero y ambiental de las propuestas que permitan mejorar la calidad del agua en la laguna?

4. JUSTIFICACIÓN

La laguna Monja Blanca es un embalse que se conformó artificialmente aprovechando la topografía del área y su suelo pantanoso. Para poder conformarla se alimenta con un caudal proveniente de un sistema de mini riego de la comunidad el cual ingresa con características físicas aceptables, pero ya dentro de la laguna se vuelve turbia, con poca capacidad biológica y proliferación de algas. Esto nos prescribe realizar un estudio que nos permita conocer los niveles de calidad del agua que se encuentra en la laguna y proponer soluciones viables para mejorar la misma.

Se busca determinar la posibilidad de mejorar la calidad del agua de la laguna Monja Blanca proponiendo diferentes métodos que eviten el deterioro de esta y mejoren sus cualidades fisicoquímicas, bacteriológicas y su capacidad para albergar vida acuática. Esto beneficiará de gran manera a los pobladores del sector y a los visitantes, ya que se incrementará la actividad pesquera, se mejorará el aspecto del agua incrementando así el turismo, se incrementarán los ingresos económicos de los pobladores del sector y del municipio aumentando la actividad comercial, se mejorará el ecosistema acuático y se disminuirá la proliferación de zancudos.

Los beneficios al ambiente también serán notorios ya que al aumentar la capacidad biológica de la laguna se mejorará no solo el ecosistema acuático si no también el terrestre y el aéreo.

Es importante mencionar que la Municipalidad de Palencia tiene gran interés en realizar el estudio a la laguna pues en los últimos años han invertido en proyectos de infraestructura en el sector para incrementar la actividad turística, sin embargo, no se ha realizado a la fecha un estudio que indique las características del agua y la posibilidad de mejorarlas. Con la realización del estudio con sus respectivas propuestas se mejorará la condición de vida no solo de los habitantes del sector sino de todo el municipio pues contribuirá de manera considerable a la intención que tiene la municipalidad de convertir la Laguna Monja Blanca en un parque ecoturístico.

Con la realización del estudio se conocerá de mejor manera las características de la laguna Monja Blanca, lo cual será de gran utilidad para futuros proyectos o estudios que se requieran para el mejoramiento de la laguna y su entorno.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Desarrollar una propuesta que permita mejorar la calidad del agua en la laguna Monja Blanca.

5.2. Específicos

- Determinar las características físicas de la laguna Monja Blanca.
- Caracterizar el entorno de la laguna para evaluar posibles fuentes contaminantes.
- Determinar el índice de calidad del agua (ICA) de la laguna mediante la toma de muestras en distintos puntos de esta.
- Realizar un análisis técnico, financiero y ambiental de las propuestas que permitan mejorar la calidad del agua en la laguna.

6. NECESIDADES POR CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

La municipalidad de Palencia no cuenta actualmente con una adecuada gestión de los recursos naturales, que les permita conocer el estado de estos, especialmente lo que son las aguas superficiales. Es de vital importancia el control de los parámetros asociados a la calidad del agua para poder mantener un ambiente sano y sostenible.

La ausencia de un control adecuado en la calidad del agua de los ríos y lagunas de Palencia ha provocado que los cuerpos de agua se vean afectados en su aspecto y capacidad biológica, ya que año con año se van deteriorando. Es por esto que se necesita inicialmente realizar un monitoreo a la calidad del agua de los mismos para poder proponer correcciones.

Para conocer la calidad del agua es necesario realizar una caracterización a muestras obtenidas de los cuerpos de agua, en este caso la laguna Monja Blanca. Esto indicará los parámetros asociados que se encuentren sobrepasando los límites permisibles según las características de un ecosistema de agua dulce sano. Posteriormente se determinará la mejor alternativa de corrección a los parámetros afectados para lograr un mejoramiento de la calidad del agua de la laguna a futuro.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Ecosistemas de agua dulce

Los ecosistemas de agua dulce son aquellos que contienen mayor cantidad de agua dulce que de agua salada, como, por ejemplo, ríos, lagos o pantanos.

7.1.1. ¿Qué es un ecosistema?

Los ecosistemas son sistemas conformados por organismos que viven e interactúan juntos en una comunidad y por todos los factores no biológicos (luminosidad, relieve, clima, entre otros) que facilitan dicha interacción. Existe gran variedad de ecosistemas en nuestro mundo, que se clasifican en ecosistemas terrestres, acuáticos y mixtos. Por ejemplo, los ecosistemas acuáticos engloban muchos ambientes y podemos mencionar los ecosistemas de aguas continentales, que se desarrollan sobre la superficie de los continentes y los ecosistemas marinos, ya sean de agua salada o dulce (Moriana, 2018).

7.1.2. Ecosistemas acuáticos

Son todas las aguas superficiales que se distribuyen alrededor del mundo. Los ecosistemas acuáticos se pueden clasificar como ecosistemas lénticos (aguas estancadas, como humedales, estanques, lagos y pantanos) y ecosistemas lóticos (concepto aplicado a las aguas en movimiento, por ejemplo, un río o un arroyo). Estos ecosistemas son estudiados por la limnología (Cervantes, 2007).

7.1.3. Ecosistemas de agua dulce

“Son aquellos en donde la masa de agua principal es de agua dulce con baja concentración de agua salada. Los constituyen los riachuelos, ríos, pantanos, lagos, entre otros.” (Ovacen, 2019, p. 5).

“Los ecosistemas de agua dulce son de vital importancia para la supervivencia de los seres vivos, tanto de flora como de fauna e implican directamente sobre los diferentes tipos de bioma que existen en la Tierra” (Ovacen, 2019, p. 5).

“En los ecosistemas de agua dulce podemos encontrar una gran variedad anfibios y todo tipo de peces, con una amplia gama y tipología de vegetación. Se dice que el 41 % aproximadamente de las especies de peces viven en aguas dulces” (Ovacen, 2019, p. 5).

7.1.4. Tipos de ecosistemas de agua dulce

Tomando en cuenta el movimiento del agua, los ecosistemas de agua dulce se pueden clasificar como:

- Ecosistema lótico: son aquellos ecosistemas en los cuales el agua produce un movimiento importante. Entre ellos se puede mencionar los ríos, manantiales y arroyos.
- El ecosistema de humedal: son aquellos ecosistemas en los que durante cierto período de tiempo permanecen inundados o saturadas de agua.

- Ecosistema léntico: son aquellos ecosistemas en los que el movimiento del agua es muy escaso, como por ejemplo los embalses, estanques, pantanos o lagos (Ovacen, 2019).

7.1.4.1. Las lagunas y los lagos

“Son masas de agua dulce que conforman lo que se llaman los ecosistemas lagunares. En estos ecosistemas la permanencia del agua es variable y la diversidad de especies es normalmente baja” (Ovacen, 2019, p. 6).

Dentro de las lagunas y los lagos podemos identificar tres zonas distintas:

- La zona profunda: es la zona donde existe poca variedad animal o vegetal, siendo los heterótrofos los de mayor población.
- La zona limnética: se puede definir como donde predomina el “plato de aguas abiertas”.
- La zona litoral: es la zona donde la vegetación se aglomera a lo largo de la orilla del cuerpo de agua (Ovacen, 2019).

“Los lagos y lagunas también se pueden clasificar por la cantidad de nutrientes en ellos, siendo los lagos oligotróficos los que tienen pocos nutrientes y los eutróficos los que tienen muchos más nutrientes” (Ovacen, 2019, p. 7).

7.1.5. Características de los ecosistemas de agua dulce

Los ecosistemas de agua dulce pueden diferenciarse unos de otros debido a diferentes factores como lo son la ubicación, tipo y su clima, pero poseen características en común como lo es la necesidad del agua subterránea en determinada variación de calidad y cantidad. Los ecosistemas de agua dulce son dinámicos y de sus características variables depende la supervivencia de la flora y fauna que habitan en ellos. Cualquier variación en parámetros como el caudal impactará enormemente en el tamaño y salud de las poblaciones de plantas y animales, así como en otros procesos del ecosistema. Como consecuencia de dicha variabilidad hidrológica, los ecosistemas de agua dulce evolucionan constantemente (Baron *et al.*, 2003).

La estructura y funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce se ven influenciados grandemente por las zonas de influencia o cuencas, ya que el agua posee un ciclo que conecta su flujo entre agua superficial, lagos, riachuelos, ríos, aguas subterráneas y mares. Es por esto por lo que la calidad del agua dulce en los ecosistemas está influenciada enormemente por lo que pasa en la superficie terrestre, como, por ejemplo, la actividad humana (Baron *et al.*, 2003).

7.1.6. Factores de mayor importancia en los ecosistemas de agua dulce

Los ecosistemas de agua dulce pueden regular su funcionamiento y estructura gracias a cinco factores ambientales principales:

- Las diferentes plantas y animales influyen directamente en la estructura del ecosistema y en sus procesos.

- Los aspectos nutricionales y químicos regulan la productividad de la flora y fauna del ecosistema, así como su pH y por consiguiente la calidad del agua.
- La cantidad de luz y temperatura regula la actividad y productividad de los seres vivos, así como sus metabolismos.
- El ingreso de materia orgánica y de sedimentos al ecosistema, proporciona la materia prima necesaria para crear sustratos y refugios del hábitat, así como el almacenamiento de nutrientes que sustentan a la flora y fauna acuática.
- El caudal define la cantidad de agua que entra en los ecosistemas de agua dulce, determinando el tiempo de residencia del agua en cada uno de los cuerpos de agua (Baron *et al.*, 2003).

7.2. Ecosistemas de agua dulce artificiales

Los ecosistemas de agua dulce artificiales son los conformados por intervención humana. Pudiendo ser saludables o no, dependiendo de sus características.

7.2.1. ¿Qué es un ecosistema de agua dulce artificial?

Es un ecosistema de agua dulce conformado artificialmente mediante acciones que permitan mantener las características principales de un ecosistema de agua dulce natural. Para tener un ecosistema de agua dulce artificial sano, es necesario mantener ciertos parámetros de calidad del agua en los niveles adecuados (Morian, 2018).

7.2.2. Factores de mayor importancia en los ecosistemas de agua dulce artificiales

Los ecosistemas de agua dulce artificiales cuya agua no posee movimiento, es decir, que se encuentra estancada, se van deteriorando gradualmente. Para poder lograr que un ecosistema de agua dulce artificial sea sano y funcional es importante considerar los siguientes aspectos:

- **Oxigenación:** el nivel de oxígeno en el agua de los embalses artificiales es un aspecto muy importante ya que su decremento causa incremento en la temperatura superficial, incremento de la evaporación, proliferación de algas, limitación de la capacidad biológica y deterioro del ambiente acuícola. Para poder evitar estos aspectos es necesario en algunas ocasiones utilizar sistemas artificiales de aireación.
- **Equipo de filtración:** los ecosistemas de agua dulce artificiales no poseen un movimiento o flujo natural de agua que permita un filtrado natural adecuado, por lo que se necesita la utilización de sistemas artificiales de filtrado para poder crear el ambiente óptimo para el desarrollo de un ecosistema sano.
- **Exposición solar:** en el caso de los embalses artificiales, debe mantenerse limitado el tiempo de exposición solar, ya que mucha exposición solar fomentara la proliferación de algas, las cuales son peligrosas y molestas para el ecosistema existente. Por el contrario, poca exposición al sol complica el nacimiento de algunas especies. Lo recomendable para un ecosistema sano es tener más o menos 6 horas de exposición solar al día (Moriana, 2018).

7.3. Contaminación en cuerpos de agua dulce

“La contaminación de los cuerpos de agua superficiales es un proceso inicial debido a acciones antrópicas, entre las que destacan el crecimiento desordenado de las áreas urbanas y rurales, la ganadería y la agricultura” (Aguirre, Vanegas y García, 2016, p. 39).

El tema de la contaminación del agua superficial se ha convertido actualmente en uno de los aspectos más importantes entre miembros de comunidades locales, políticos y académicos. El monitoreo temporal y espacial de la calidad del agua es de vital importancia para la realización de estudios de fuentes de agua para distintos fines, que, a su vez, constituyen elementos básicos en los planes ecológicos de manejo sostenible de los ecosistemas. Por lo general, la calidad del agua superficial se estudia mediante el monitoreo de las características fisicoquímicas y biológicas (Aguirre, *et al.*, 2016).

7.4. Evaluación de la calidad del agua dulce para ecosistemas acuáticos

La composición química del agua aporta información vital sobre el comportamiento biológico de algún ecosistema en particular. Para lo cual se debe tener una idea de los procesos que intervienen en la evolución química del agua (Ordoñez, 2015).

La composición química del agua se define a partir de los análisis de muestras extraídas adecuadamente, para luego ser analizadas por medio de la concentración de cada parámetro de importancia (Ordoñez, 2015).

7.4.1. Análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua dulce

La norma Coguanor NTG 29001 (Comisión Guatemalteca de Normas), trata sobre una serie de especificaciones que debe cumplir el agua para consumo humano, con el objeto de definir las características que deberá tener el agua dependiendo su uso, que provengan de fuentes de agua como lagos, ríos, pozos, entre otros (Escobar y Rodríguez, 2017).

7.4.2. Toma de muestras de agua

La toma de muestras para realizar los análisis fisicoquímicos se debe realizar en recipientes de polietileno de 3.78 litros de capacidad (1 galón), el procedimiento es lavar el recipiente 3 veces con agua del mismo pozo donde se va a tomar la muestra, luego se llena hasta su capacidad y se cierra bien con su tapa de rosca. Se le coloca una ficha de identificación al recipiente, en la cual se indica la fecha, hora, fuente, dirección, temperatura, condiciones de transporte, tipo de examen requerido, nombre de la persona que tomó la muestra, entre otros. “De preferencia las muestras deben conducirse al laboratorio de análisis de aguas en un tiempo menor a una hora, si esto no es posible deben transportarse a una temperatura de cero a 5 grados centígrados para un tiempo máximo de 24 horas” (Gramajo, 2004, p. 12).

Algunos parámetros como temperatura, PH, cloro residual, etc. deben ser medidos directamente en la fuente ya que varían durante el transporte, debe evitarse el contacto de la muestra con el aire y evitar la exposición de esta a la luz solar directa (Gramajo, 2004).

La toma de muestras para realizar los análisis bacteriológicos debe realizarse en frascos de vidrio de 125 ml de capacidad, los cuales hayan sido

previamente esterilizados, que posean tapadera de vidrio esmerilado y además que estén recubiertos con una capucha de papel amarrado con un trozo de cáñamo, todo esterilizado. Las muestras deben manejarse con sumo cuidado antes, durante y después de la recolección, ya que cualquier descuido puede alterar los resultados de los análisis (Gramajo, 2004).

“Las muestras deben transportarse a temperatura ambiente en menos de una hora hasta el laboratorio. Para tiempos entre 1 y 12 horas, deben transportarse a una temperatura entre cero y 5 °C. Para tiempos mayores, la muestra debe estar a una temperatura de -20 °C” (Gramajo, 2004, p. 14).

7.4.3. Parámetros por evaluar en un análisis fisicoquímico y bacteriológico

La norma Coguanor NTG 29001, establece que los parámetros necesarios para realizar un análisis mínimo de la calidad del agua son:

- Bacteriológico: coliformes fecales y escherichia coli.
- Fisicoquímico: color, olor, turbiedad, potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, cloro residual libre, cloruros, dureza total, sulfatos, aluminio, calcio, cinc, cobre, magnesio, manganeso y hierro totales.

Tabla I. **Características físicas y organolépticas que debe tener el agua para consumo humano**

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u ^(a)
Olor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT ^(b)
Conductividad eléctrica	750 μ S/cm	1500 μ S/cm ^(d)
Potencial de hidrógeno	7,0-7,5	6,5-8,5 ^{(c) (d)}
Sólidos totales disueltos	500,0 mg/L	1000,0 mg/L

(a) Unidades de color en la escala de platino-cobalto
 (b) Unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).
 (c) En unidades de pH
 (d) Límites establecidos a una temperatura de 25°C.

Fuente: Coguanor NTG 29001. *Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones.*
 Consulta: 7 de febrero de 2020. Recuperado de
<https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/NormaTecnicaGuatemalaNTG29001.pdf>.

Tabla II. **Características químicas que debe tener el agua para consumo humano**

Características	LMA (mg/L)	LMP (mg/L)
Cloro residual libre ^(a)	0,5	1,0
Cloruro (Cl ⁻)	100,0	250,0
Dureza Total (CaCO ₃)	100,0	500,0
Sulfato (SO ₄ ⁻)	100,0	250,0
Aluminio (Al)	0,050	0,100
Calcio (Ca)	75,0	150,0
Cinc (Zn)	3,0	70,0
Cobre (Cu)	0,050	1,500
Magnesio (Mg)	50,0	100,0
Manganeso total (Mn)	0,1	0,4
Hierro total (Fe) ^(b)	0,3	----

a) El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social será el ente encargado de indicar los límites mínimos y máximos de cloro residual libre según sea necesario o en caso de emergencia.
 b) No se incluye el LMP porque la OMS establece que no es un riesgo para la salud del consumidor a las concentraciones normales en el agua para consumo humano, sin embargo el gusto y apariencia del agua pueden verse afectados a concentraciones superiores al LMA.

Fuente: Coguanor NTG 29001. *Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones.*
 Consulta: 7 de febrero de 2020. Recuperado de
<https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/NormaTecnicaGuatemalaNTG29001.pdf>.

Tabla III. **Características bacteriológicas que debe tener el agua para consumo humano**

Microorganismos	Límite Máximo Permisible
Agua para consumo directo Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada que entra al sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua
Agua tratada en el sistema de distribución Coliformes totales y <i>E. coli</i>	No deben ser detectables en 100mL de agua

Fuente: Coguanor NTG 29001. *Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones.*

Consulta: 7 de febrero de 2020. Recuperado de

<https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/NormaTecnicaGuatemaltecaNTG29001.pdf>.

7.4.4. Índice de la calidad del agua

La utilización de la metodología de índices de calidad del agua puede aportar información importante sobre las características de un ecosistema acuático y es una buena alternativa para dictaminar el estado de un cuerpo de agua sin la necesidad de utilizar recopilaciones estadísticas (Pérez y Rodríguez, 2008).

Los ICA simplifican en un único valor numérico la extensa información que se puede recopilar sobre la calidad del agua en un ecosistema acuático. Estos índices pueden evitar fluctuaciones en las mediciones y facilitan el manejo de datos, permitiendo interpretar la condición del agua para el uso deseado o permitiendo efectuar comparaciones entre diferentes ecosistemas acuáticos. Por lo tanto, los ICA resultan muy útiles para los académicos, las autoridades políticas y el público en general (Pérez y Rodríguez, 2008).

Los ICA presentan desventajas como, por ejemplo, la sensibilidad de los resultados a la forma en que el índice fue elaborado, la falta de ajuste a diferentes tipos de ecosistemas y la pérdida de información respecto a las variables individuales (Pérez y Rodríguez, 2008).

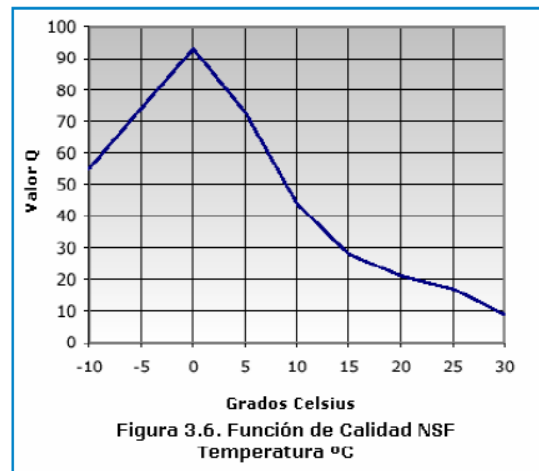
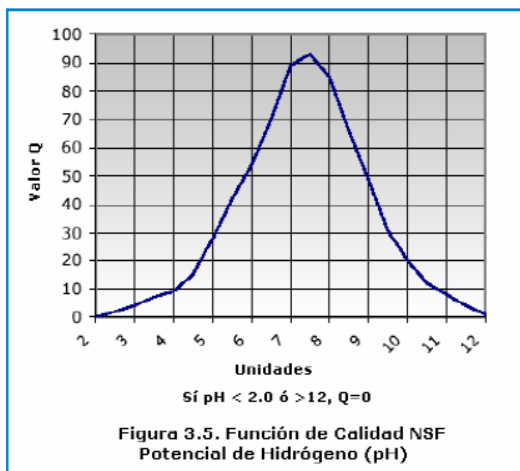
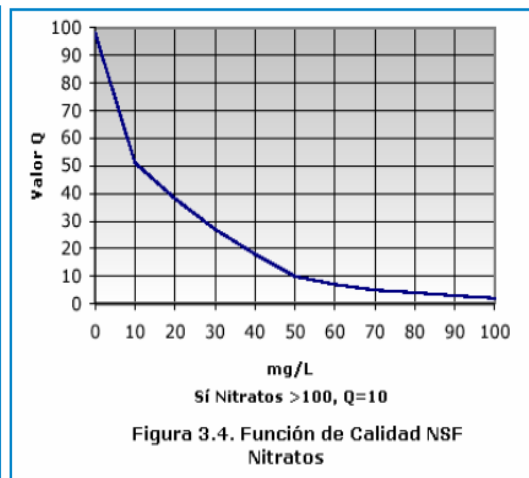
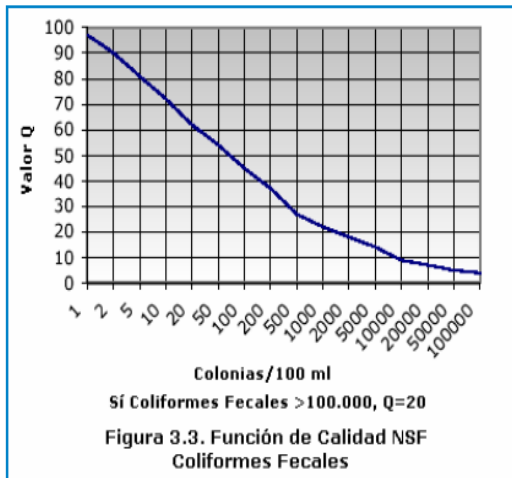
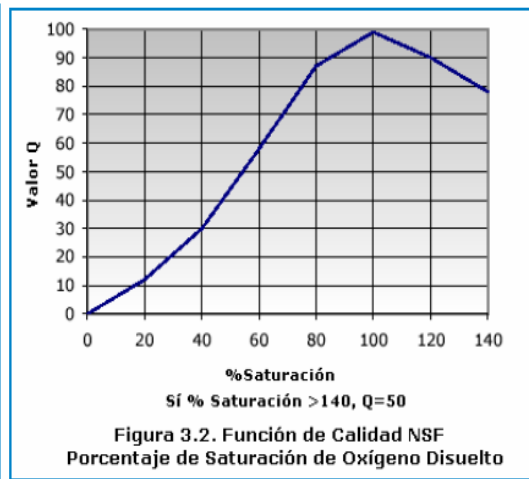
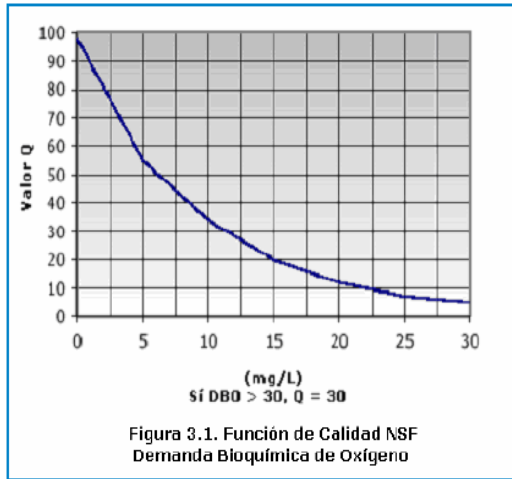
Según sea el posible uso que se desee dar al agua o las condiciones geológicas y climáticas del lugar, y a criterio del experto, se utilizan diferentes índices de calidad del agua (Pérez y Rodríguez, 2008).

7.4.4.1. Índice de calidad del agua NSF

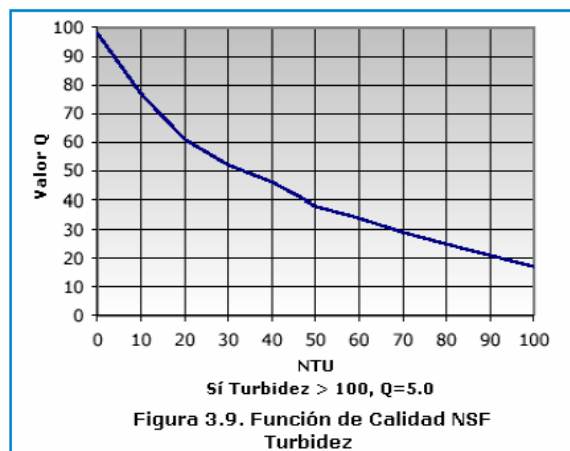
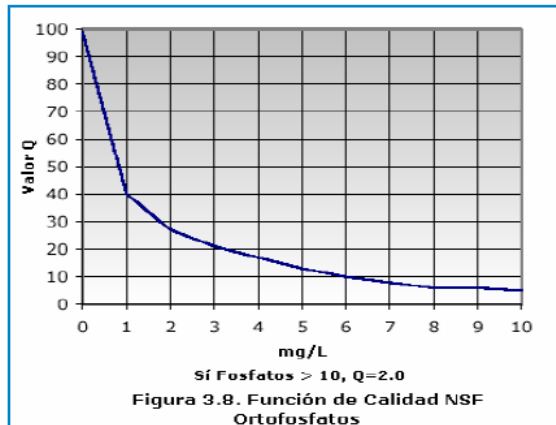
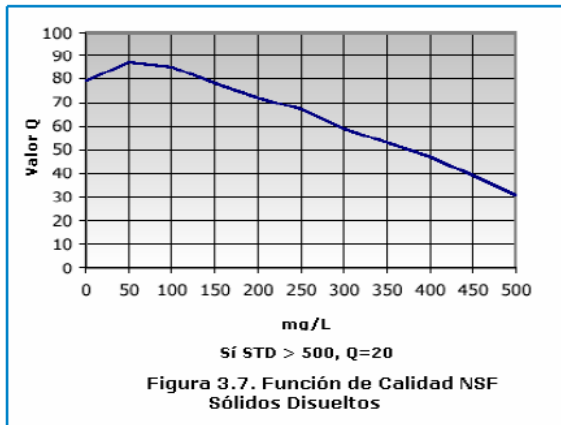
El índice de calidad de agua NSF, fue desarrollado por la *National Sanitation Foundation* (NSF) de Estados Unidos en el año 1970. Utiliza la técnica de investigación Delphi de la *Rand Corporation's*. Dicha técnica tiene la característica de utilizar un índice multiparámetro y es utilizada generalmente para la caracterización de aguas superficiales (Fernández, 2005).

En este índice se evalúan nueve variables: oxígeno disuelto, coliformes fecales, PH, DBO, nitratos, fosfatos, temperatura, turbidez y sólidos totales. Cada variable se relaciona con un valor de calidad (Q) obtenido de las curvas de valoración desarrolladas para el método (Fernández, 2005).

Figura 1. Curvas de valoración método NSF



Continuación figura 1.



Fuente: Fernández. *Índices de calidad y de contaminación del agua*. Consulta: 7 de febrero de 2020. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/vinci2013/pag_contenido/02042013/sub_editorial.jsp.

Las variables del método poseen los siguientes factores de ponderación (W): oxígeno disuelto, 0.17; coliformes fecales, 0.15; PH, 0.12; DBO, 0.10; nitratos, 0.10; fosfatos, 0.10; temperatura, 0.10; turbiedad, 0.08; y sólidos totales, 0.08. Para calcular el índice de calidad del agua, se realiza la suma lineal ponderada de los subíndices obtenidos de las gráficas multiplicados por el factor de ponderación. El resultado será un número entre 0 y 100, donde 0 representa

una calidad de agua Muy Mala y 100 representa una calidad de agua Excelente (Fernández, 2005).

Ecuación 1:

$$WQI = \sum_{i=1}^n SI_i W_i$$

Donde:

- WQI: índice de calidad de agua
- SI_i: subíndice de parámetro i
- W_i: factor de ponderación para el subíndice i

“Un ejemplo del cálculo del ICA NSF, se da en la siguiente tabla, en donde el valor (Q) de la curva se debe multiplicar por su factor de ponderación para obtener el subtotal, puntaje parcial o subíndice” (Fernández, 2005, p. 5).

Tabla IV. **Ejemplo de cálculo de ICA NSF**

Parámetro	Resultado	Unidades	Q-valor	Factor de Ponderación	Subtotal
Oxígeno Disuelto	82	% sat	90	0.17	15.3
Coliformes Fecales	12	#/100 ml	72	0.16	11.52
pH	7.67	Unidades	92	0.11	10.12
DBO	2	mg/l	80	0.11	8.8
Cambio de T°	5	°C	72	0.10	7.2
Fosfatos Totales	0.5	mg/l PO4-P	60	0.10	6
Nitratos	5	mg/l NO3	67	0.10	6.7
Turbidez	5	NTU	85	0.08	6.8
Sólidos Totales	150	mg/l	78	0.07	5.46
Sumatoria índice					77.9

Fuente: Fernández. *Índices de calidad y de contaminación del agua*. Consulta: 7 de febrero de 2020. Recuperado de

http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/vinci2013/pag_contenido/02042013/sub_editorial.jsp.

“El resultado final es interpretado de acuerdo con la siguiente escala de clasificación, en la que el fondo representa el color correspondiente a cada rango” (Fernández, 2005, p. 6).

Tabla V. **Escala de clasificación de ICA NSF**

Excelente: 91-100
Buena: 71-90
Media: 51-70
Mala: 26-50
Muy Mala: 0-25

Fuente: Fernández. *Índices de calidad y de contaminación del agua*. Consulta: 7 de febrero de 2020. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/vinci2013/pag_contenido/02042013/sub_editorial.jsp.

7.5. Laguna Monja Blanca

La laguna Monja Blanca es un embalse de agua dulce ubicado en el municipio de Palencia. Tiene un área aproximada de 76,500 metros cuadrados.

7.5.1. Ubicación de la laguna Monja Blanca

La laguna Monja Blanca se ubica en el municipio de Palencia, a 3.4 kilómetros del casco urbano del municipio. Localizada en las coordenadas 14°41'28"N, 90°21'06"O, la laguna Monja Blanca es uno de los principales destinos turísticos del municipio, siendo ésta de gran importancia socioeconómica para los habitantes del sector.

7.5.2. Historia de la laguna Monja Blanca

La laguna Monja Blanca es un cuerpo de agua existente desde años anteriores al establecimiento del municipio, que fue nombrado Palencia en los años 1600 debido al nombre del dueño de la finca, Matías de Palencia. La laguna en aquel tiempo era un cuerpo de agua pantanoso de gran tamaño y fue nombrada Monja Blanca en el año 1967 por el entonces alcalde municipal don Jorge Ochoa, debido a que en el lugar crecían muchas ninfas con flores blancas parecidas a la Monja Blanca, símbolo patrio de nuestra nación.

En el año 2004 se realizaron trabajos de dragado y la inyección de un caudal extra de agua del sistema de mini riego de la comunidad, logrando conformar un cuerpo de agua de mayor tamaño y profundidad suficiente para albergar vida acuática. Se sembraron peces y se realizaron trabajos de infraestructura para conformar un parque en las orillas de la laguna, lo cual incremento considerablemente su atractivo turístico.

7.5.3. Características de la laguna Monja Blanca

La laguna Monja Blanca tiene un área aproximada de 68,000 metros cuadrados y un perímetro aproximado de 1480 metros. Actualmente posee una profundidad promedio aproximada de 2 metros y sus fuentes de recarga hídrica son la escorrentía superficial, las aguas de lluvia y un caudal del sistema de mini riego de la comunidad.

La laguna alberga en ella peces, caracoles, conchas y langostinos que han sido sembrados por la municipalidad para incrementar la actividad pesquera en la zona. Se han sembrado también árboles en sus alrededores y posee una

carretera de terracería en su contorno, así como un pequeño parque que sirve de recreación para los turistas y lugareños.

7.5.4. Área de influencia de la laguna Monja Blanca

La laguna Monja Blanca se ubica en el sector denominado La Laguna, perteneciente al cantón Agua Tibia de la cabecera municipal. El área de influencia de la laguna la conforma todo el casco urbano de Palencia, pero también la visitan los habitantes de las aldeas y extranjeros.

7.5.5. Proyectos municipales en el área de la laguna Monja Blanca

Recientemente se han construido proyectos de infraestructura en el área de la laguna, como lo son 2 terrazas redondas de gran tamaño tipo muelle que se utilizarán para actividades recreativas y la construcción de casi 1 kilómetro de pavimento tipo carrileras de concreto con piedra en la calle de ingreso hacia la laguna, lo cual mejora considerablemente el acceso de los visitantes.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DEL MARCO TEÓRICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Ecosistemas de agua dulce

1.2. ¿Qué es un ecosistema?

1.3. Ecosistemas acuáticos

1.4. Ecosistemas de agua dulce

1.5. Tipos de ecosistemas de agua dulce

1.5.1. Las lagunas y los lagos

1.6. Características de los ecosistemas de agua dulce

1.7. Factores de mayor importancia en los ecosistemas de agua dulce

2. ECOSISTEMAS DE AGUA DULCE ARTIFICIALES

2.1. ¿Qué es un ecosistema de agua dulce artificial?

2.2. Factores de mayor importancia en los ecosistemas de agua dulce artificiales

3. CONTAMINACIÓN EN CUERPOS DE AGUA DULCE

4. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DULCE PARA ECOSISTEMAS ACUÁTICOS

- 4.1. Análisis fisicoquímico y bacteriológico del agua dulce
- 4.2. Toma de muestras de agua
- 4.3. Parámetros por evaluar en un análisis fisicoquímico y bacteriológico
- 4.4. Índice de la calidad del agua
 - 4.4.1. Índice de calidad del agua NSF

5. LAGUNA MONJA BLANCA

- 5.1. Ubicación laguna Monja Blanca
- 5.2. Historia de la laguna Monja Blanca
- 5.3. Características de la laguna Monja Blanca
- 5.4. Área de influencia de la laguna Monja Blanca
- 5.5. Proyectos municipales en el área de la laguna Monja blanca

6. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

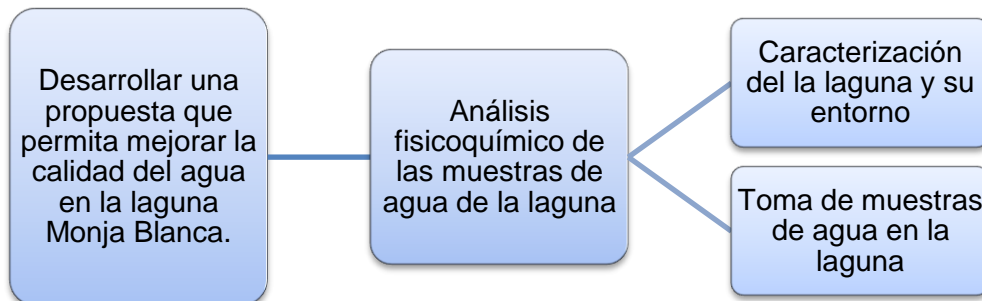
REFERENCIAS

9. METODOLOGÍA

9.1. Determinar las características físicas de la laguna Monja Blanca

Para determinar las características físicas de la laguna será necesario realizar una visita preliminar para evaluar el área y su entorno, toma de datos, así como la toma de fotografías que servirán de base para un registro histórico.

Figura 2. Diagrama de modelo metodológico



Fuente: elaboración propia.

9.2. Caracterizar el entorno de la laguna para evaluar posibles fuentes contaminantes

Para determinar si existen posibles fuentes contaminantes en la laguna será necesario inicialmente obtener datos técnicos de la laguna (coordenadas, perímetro, área, altura sobre el nivel del mar, entre otros), para posteriormente plasmarlos en planos y realizar un registro de posibles puntos contaminantes,

caudales, profundidad promedio, aspecto, tipo de suelo, clima, tipo de fauna y flora, entre otros.

9.3. Determinar el ICA de la laguna mediante la toma de muestras en distintos puntos de esta

Para determinar el índice de calidad del agua en la laguna será necesario realizar un monitoreo de esta durante 3 meses para llevar un registro histórico de los aspectos físicos de la misma (aspecto, temperatura, período de retención del agua, profundidad, clima, fuentes contaminantes, caudales y afluencia de visitantes), así como la toma de 3 muestras de agua, una vez al mes, para su análisis fisicoquímico y bacteriológico. Posteriormente se podrá determinar el índice de calidad del agua en cada muestra obtenida.

9.4. Realizar un análisis técnico, financiero y ambiental de las propuestas que permitan mejorar la calidad del agua en la laguna

Para determinar una propuesta viable de mejoramiento de la calidad del agua en la laguna será necesario inicialmente determinar los límites máximos permisibles que debe cumplir el agua para poder tener un ecosistema de agua dulce sano. Posteriormente se determinarán los parámetros excedentes según la caracterización realizada a las muestras de agua, los cuales nos indicarán las posibles acciones que se deberán realizar en la laguna para mitigar dichos parámetros excedidos, mejorando de esta manera la calidad del agua y su capacidad biológica. Finalmente se realizará un análisis financiero y ambiental para determinar la propuesta de mejoramiento más viable.

Tabla VI. Instrumento de recolección de información

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN										
LAGUNA MONJA BLANCA										
VISTA	CAUDAL DE ENTRADA	CAUDAL DE SALIDA	CAUDAL TOTAL DE FUENTES CONTAMINANTES	PROFUNDIDAD PROMEDIO	ASPECTO DEL AGUA	OLOR DEL AGUA	TEMPERATURA DEL AGUA	INDICE DE LA CALIDAD DEL AGUA	CARACTERÍSTICA CLIMATOLÓGICA	CANTIDAD DE VISTANTES
SEMANA 1										
SEMANA 2										
SEMANA 3										
SEMANA 4										
SEMANA 5										
SEMANA 6										
SEMANA 7										
SEMANA 8										
SEMANA 9										
SEMANA 10										
SEMANA 11										
SEMANA 12										

Fuente: elaboración propia.

10. TÉCNICA DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis que se realizará para el trabajo será mixto ya que se analizarán tanto variables cualitativas como cuantitativas de tipo continuas. Básicamente se analizarán los parámetros fisicoquímicos de muestras de agua extraídas en tiempos diferentes, obteniendo de ellas datos como por ejemplo color, olor, conductividad, turbiedad, PH, dureza y contenido de minerales.

El trabajo que se realizará será no experimental, de tipo longitudinal, ya que se analizarán los datos obtenidos de muestras de agua recolectadas en puntos o periodos especificados. El alcance de la investigación será exploratorio, ya que no se utilizarán muestras representativas. Se podrá definir tendencias, relaciones y comportamiento de las variables.

Se propone utilizar las técnicas de estadística descriptiva para el trabajo de graduación debido a que se tomarán muestras esporádicas de agua de la laguna para su análisis obteniendo así variables cuantitativas continuas, las cuales podrán compararse y graficarse para posteriormente conocer sus medidas de tendencia central. El objetivo será obtener un índice de calidad del agua actual de la laguna y su correlación con el entorno, el cual se podrá mejorarse proponiendo diferentes métodos.

11. CRONOGRAMA

Tabla VII. Cronograma de actividades

Actividades	MES 1				MES 2				MES 3			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Visita preliminar, toma de datos y fotografías												
Mediciones y ubicación con GPS												
Elaboración de planos y registro de puntos y datos de interés												
Toma de muestras de agua												
Análisis físicoquímico y bacteriológico												
Determinación del índice de la calidad del agua												
Evaluación de resultados de los análisis y determinación de los parámetros más altos que deberán mitigarse												
Análisis técnico, financiero y ambiental de las propuestas que permitan mejorar la calidad del agua de la laguna.												

Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Recursos humanos

El recurso humano que se utilizará en la investigación será la persona encargada de la investigación, el asesor correspondiente y el apoyo del personal municipal que trabaja en los temas relacionados con la laguna Monja Blanca.

- Investigador: Saúl Estuardo Girón Chew.
- Asesor: Ing. MSc. Ricardo David Rosales López, Maestro en Artes en Energía y Ambiente, Usac.

12.2. Recursos económicos

El recurso económico necesario para la realización del estudio será básicamente el costo de la caracterización de agua de las muestras obtenidas durante el tiempo del estudio. Dichos análisis tienen un costo aproximado de Q. 600.00 cada una.

12.3. Equipo e instalaciones

Se necesitará la autorización de:

- La municipalidad de Palencia, para realizar el monitoreo y muestreo en la laguna Monja Blanca.

- Laboratorio de Análisis Fisicoquímico del Centro de Investigaciones de Ingeniería, para la realización de los ensayos.

13. REFERENCIAS

1. Aguirre, M., Vanegas, E. y García, N. (2016). *Aplicación del índice de calidad del agua (ICA). caso de estudio: lago de Izabal, Guatemala*. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4521/1/ICA%20Lago%20de%20Izabal.pdf>
2. Amado, J., Pérez, P., Ramírez, O. y Alarcón, J. (2016). *Análisis de la calidad del agua en las lagunas de Bustillos y de Los Mexicanos (Chihuahua, México)*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/407/40749621009.pdf>
3. Baron, J., Poff, L., Angermeier, P., Dahm, C., Gleick, P., Hairston, N., Jackson, R., Johnston, C., Richter, B. y Steinman, A. (2003). *Sustaining healthy freshwater ecosystems*. Recuperado de <https://www.esa.org/wp-content/uploads/2013/03/numero10.pdf>
4. Bernardo Laboratorios S.R.L. (2017). *Parámetros clave de la calidad del agua para piscicultura*. Recuperado de <http://bernardolabs.com/parametros-clave-de-la-calidad-del-agua-para-piscicultura/>
5. Botello, A., Rendón, J., Gold, G. y Agraz, C. (2005). *Golfo de México, contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias*. 2a ed. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Maricusa_Agraz/publication/280446339_Diagnostico_del_Impacto_y_Lineamientos_Basicos_para_los_Programas_de_Mitigacion_y

_Manejo_de_Humedales/links/55b556b108aec0e5f436a96c.pdf#page=629

6. Cervantes, M. (2007). *Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México*. Recuperado de https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=uWlrklx-r3oC&oi=fnd&pg=PA37&dq=que+son+los+ecosistemas+acu%C3%A1ticos&ots=8Nqo4q3pYS&sig=D2flQOHMdmz91H68O5hxL7bFccQ#v=onepage&q=que%20son%20los%20ecosistemas%20acu%C3%A1ticos&f=false
7. Coguanor NTG 29001. (1985), *Agua para consumo humano (agua potable). Especificaciones*. Recuperado de <https://www.mspas.gob.gt/images/files/saludambiente/regulacionesvigentes/AguaConsumoHumano/NormaTecnicaGuatemaltecaNTG29001.pdf>
8. Colasurdo, V., Díaz, O., Grosman, F. y Sanzano, P. (2011). *Análisis de la calidad del agua de la laguna de Los Padres: potencial uso para riego*. Recuperado de [file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-AnalisisDeLaCalidadDelAguaDeLaLagunaDeLosPadres-5718147%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-AnalisisDeLaCalidadDelAguaDeLaLagunaDeLosPadres-5718147%20(1).pdf)
9. Duarte, J. (2014). *Variación de los parámetros fisicoquímicos de la laguna El Pino que degradan el agua a través del tiempo*. Recuperado de <http://eris.ingenieria.usac.edu.gt/revistaERIS/index.php/2016/04/22/variacion-de-los-parametros-fisicoquimicos-de-la-laguna-el-pino-que-degradan-el-agua-a-traves-del-tiempo/>

10. Elías, J. (2015). *Las aguas sucias de Guatemala*. Recuperado de https://elpais.com/internacional/2015/06/24/actualidad/1435177135_432060.html
11. Escobar, H. y Rodríguez, E. (2017). *Calidad de las aguas subterráneas en el municipio de san pedro la laguna y sus efectos sobre el cuerpo de agua del lago de Atitlán* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://agualimpiaya.org/wp-content/uploads/2019/03/IS_0280-Escobar-L%C3%B3pez-Homero-Aparicio-y-Rodr%C3%ADguez-Ju%C3%A1rez-Eduardo-Antonio-1.pdf
12. Fernández, N. (2005). *Índices de calidad y de contaminación del agua*. Recuperado de http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_10/recursos/general/vinci2013/pag_contenido/02042013/sub_editorial.jsp
13. Gramajo, B. (2004). *Determinación de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, obtenida de pozos mecánicos en la zona 11, Mixco, Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0907_Q.pdf
14. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Insivumeh. (2019). *Boletines de estudios de calidad de agua*. Recuperado de <http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/hidroquimica.htm>

15. Moriana, L. (2018). *Ecosistemas acuáticos de agua dulce: ejemplos*. Recuperado de <https://www.ecologiaverde.com/ecosistemas-acuaticos-de-agua-dulce-ejemplos-1112.html>
16. Ordoñez, M. (2015). *Análisis hidrogeoquímico de las lagunas del Cerro Tortugas, en el área arqueología Salinas de los nueve cerros, Cobán* (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/17/17_0545.pdf
17. Ovacen. (2019). *Ecosistemas de agua dulce*. Recuperado de <https://ecosistemas.ovacen.com/acuaticos/agua-dulce/>
18. Pérez, A. y Rodríguez, A. (2008). *Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación*. Recuperado de <https://www.scielo.sa.cr/pdf/rbt/v56n4/art26v56n4.pdf>
19. Posada, J., Roldán, G. y Ramírez, J. (2000). *Caracterización fisicoquímica y biológica de la calidad de aguas de la cuenca de la quebrada Piedras Blancas, Antioquia, Colombia*. Recuperado de https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442000000100008
20. Rodríguez, C., Mancini, M., Prospero, C., Weyers, A. y Alcantú G. (2001). *Calidad de agua de una laguna recreacional del centro-oeste de la provincia de Córdoba, Argentina*. Recuperado de www.revistaaquatic.com/ojs/index.php/aquatic/article/download/105/94

21. Rolón, J., Cabrera, R., Rolón, E., Pichardo, R., Jaramillo, R. y Treviño, J. (2015). *Análisis de las afectaciones a la calidad del agua en la laguna de Champayán como fuente de abastecimiento de agua para el municipio, Altamira, Tamaulipas*. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/328466818_Analisis_de_las_Afectaciones_a_la_calidad_del_agua_en_la_laguna_de_Champayan_como_fuente_de_abastecimiento_de_agua_para_el_municipio_Altamira_Tamaulipas

22. Torres, P., Cruz, C. y Patiño, P. (2009). *Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. una revisión crítica*. Recuperado de <file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-IndicesDeCalidadDeAguaEnFuentesSuperficialesUtiliz-4845739.pdf>

