



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ZOPP PARA EL
ANÁLISIS DEL AGUA DEL RÍO COJOLYA Y SUS MEDIDAS DE MITIGACIÓN A LA
CONTAMINACIÓN DEL LAGO DE ATITLÁN**

Carlos Enrique Izaguirre Velásquez

Asesorado por el Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Guatemala, junio de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ZOPP PARA EL
ANÁLISIS DEL AGUA DEL RÍO COJOLYA Y SUS MEDIDAS DE MITIGACIÓN A LA
CONTAMINACIÓN DEL LAGO DE ATILÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CARLOS ENRIQUE IZAGUIRRE VELÁSQUEZ
ASESORADO POR EL M.A. ING. JUAN CARLOS FUENTES
MONTEPEQUE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JUNIO DE 2022

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. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Inga. Nora Leonor García Tobar
EXAMINADOR	Inga. María Martha Wolford Estrada
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 DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ZOPP PARA EL ANÁLISIS DEL AGUA DEL RÍO COJOLYA Y SUS MEDIDAS DE MITIGACIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEL LAGO DE ATITLÁN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la facultad de Ingeniería, con fecha noviembre de 2021.

Carlos Enrique Izaguirre Velásquez

Ref. EEPFI-1095-2021
Guatemala, 10 de agosto de 2021

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú:

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 **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ZOPP PARA EL ANÁLISIS DEL AGUA DEL RÍO COJOLYA Y SUS MEDIDAS DE MITIGACIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEL LAGO DE ATITLÁN**, presentado por el estudiante **Carlos Enrique Izaguirre Velásquez** carné número **201114535**, 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.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Juan Carlos Fuentes Montepeque
Asesor
Ing. Juan C. Fuentes M.
M.Sc. Hidrología
Colegiado No. 2,504


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




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



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIMI-005-2022

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial 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: **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ZOPP PARA EL ANÁLISIS DEL AGUA DEL RÍO COJOLYA Y SUS MEDIDAS DE MITIGACIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEL LAGO DE ATITLÁN**, presentado por el estudiante universitario **Carlos Enrique Izaguirre Velásquez**, 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



Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, enero de 2022

LNG.DECANATO.OI.420.2022

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 Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ZOPP PARA EL ANÁLISIS DEL AGUA DEL RÍO COJOLYA Y SUS MEDIDAS DE MITIGACIÓN A LA CONTAMINACIÓN DEL LAGO DE ATILÁN**, presentado por: **Carlos Enrique Izaguirre Velásquez**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, junio de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el dador de vida, salud, bienestar y equilibrio en mi vida.
- Mis padres** Eunice Mabel Velásquez García y Carlos Enrique Izaguirre Hernández por apoyarme durante toda mi etapa de preparación académica, siendo una luz en los momentos de mayor adversidad.
- Mis hermanos** Josué, Lucia, Marco y Daniel Izaguirre, por su apoyo y compañía durante mi vida.
- Mis abuelos** Amalia García e Israel Velásquez por enseñarme las virtudes de tener un corazón bondadoso.
- Mis tíos** Damaris, Abner, Merari, Jonathan, Gerson y Maritza Velásquez. Por ser para mí un ejemplo de profesionalismo y perseverancia.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser, alma *mater* que me permitió la educación de primer nivel, con enfoque a la búsqueda de la ciencia, profesionalismo y compromiso para con mi país.

Facultad de Ingeniería

Por darme las herramientas para desempeñarme como un profesional en las ramas de la Ingeniería.

Mis amigos de la Facultad

Allan Dubon, Cesar Gonzales, Irvin de León, Francisco Catalán, Krystaline Barreda.

Mi asesor

Ing. Juan Carlos Flores, por apoyarme en el cumplimiento de esta meta.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
4. JUSTIFICACIÓN	9
5. OBJETIVOS	11
5.1. General.....	11
5.2. Específicos	11
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	13
7. MARCO TEÓRICO.....	15
7.1. Propiedades de los ríos y lagos.....	15
7.1.1. Estratificación	15
7.1.2. Oxígeno	16
7.1.3. Nutrientes	17
7.1.4. Algas.....	17

7.1.5.	Eutrofización.....	18
7.1.6.	Sedimentación.....	18
7.2.	Calidad del agua	19
7.2.1.	Características Físicas	19
7.2.1.1.	Estados del agua.....	19
7.2.1.2.	Color.....	20
7.2.1.3.	Turbiedad	21
7.2.1.4.	Temperatura.....	21
7.2.1.5.	Olor	21
7.2.2.	Características Químicas	22
7.2.2.1.	Potencial de Hidrógeno	22
7.2.2.2.	Oxígeno Disuelto.....	23
7.2.2.3.	Demanda química y bioquímica de oxígeno.....	23
7.2.2.4.	Fosfatos.....	23
7.2.2.5.	Nitrógeno.....	24
7.2.2.6.	Conductividad.....	24
7.2.2.7.	Sólidos totales	25
7.3.	Factores que influyen en la contaminación del agua	25
7.3.1.	Residuos sólidos	25
7.3.2.	Residuos líquidos	27
7.3.3.	Aguas Residuales	27
7.3.4.	Usos del suelo.....	28
7.3.5.	Coliformes	29
7.4.	Normativas	30
7.5.	Metodología ZOPP.....	32
7.5.1.	Objetivos de la aplicación del ZOPP	34
7.5.2.	Características de la Metodología ZOPP	35
7.5.3.	Análisis de Involucrados.....	36

7.5.4.	Lluvia de ideas.....	37
7.5.5.	Árbol de Problemas (Causa-Efecto)	39
7.5.6.	Árbol de Objetivos	42
7.5.7.	Matriz de Planeación de Proyecto	45
7.5.7.1.	Partes de la Matriz de Planeación de Proyecto.....	46
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	49
9.	METODOLOGÍA.....	53
9.1.	Tipo de Estudio.....	53
9.2.	Definición de variables.....	53
9.3.	Fases del Estudio	56
9.3.1.	Fase 1: Exploración bibliográfica	57
9.3.2.	Fase 2: Observación.....	57
9.3.3.	Fase 3: Toma de Muestra.....	59
9.3.4.	Fase 4: Análisis de informe de laboratorio y Cotejo	61
9.3.5.	Fase 5: Metodología ZOPP	62
9.3.6.	Fase 6: Discusión de Resultados	63
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	65
11.	CRONOGRAMA.....	67
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	69
13.	REFERENCIAS.....	71

14. APÉNDICES	75
---------------------	----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estratificación.....	16
2.	Ciclo Hidrológico	20
3.	Tiempo de descomposición de desechos sólidos	26
4.	Estructura <i>ZOPP</i>	36
5.	Análisis de Involucrados.....	37
6.	Lluvia de Ideas	38
7.	Árbol de Problemas.....	41
8.	Árbol de Objetivos.....	44
9.	Matriz Marco Lógico.....	47
10.	Diagrama de flujo.....	62

TABLAS

I.	LMP coliformes	30
II.	Límites máximos permisibles	31
III.	LMP Agua Residual Lago de Atitlán en ríos.....	32
IV.	Variables	53
V.	Recopilación de datos.....	58
VI.	Identificación de Muestra	60
VII.	Análisis Físicoquímico y Microbiológico	61
VIII.	Cronograma de Actividades.....	67
IX.	Recursos	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
°	Grados
L	Litro
m	Metro
μS/cm	Micro Siemens por centímetro
mg	Miligramos
mg/L	Miligramos por litro.
ml	Mililitro
mm	Milímetro
%	Porcentaje
pH	Potencial de Hidrógeno
UTN	Unidades de turbidez

GLOSARIO

Afluente	Lugar de unión de los arroyos o ríos de confluencia.
Agua Residual	Agua que no ha sido utilizada para determinado fin y cuyas características han sido modificadas.
Caracterización	Determinación de las características físicas, químicas y biológicas de un cuerpo de agua.
Carga	Concentración de determinados parámetros o características de tipo específico.
Coliforme Fecal	Bacterias provenientes del tracto digestivo humano que pueden estar presentes en el agua.
DBO	La medida indirecta del contenido de materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxígeno utilizado en la oxidación bioquímica de la materia orgánica biodegradable durante un período de cinco días y una temperatura de veinte grados Celsius.
DQO	La medida indirecta entre el contenido de materia orgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

Eutrofización	El proceso de disminución de la calidad de un cuerpo de agua como consecuencia del aumento de nutrientes, lo que a su vez propicia el desarrollo de microorganismos y limita la posibilidad de oxígeno disuelto que requiere la flora y la fauna.
Límite Máximo Permisible	El valor asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en las etapas correspondientes para aguas residuales y en aguas de reusó.
Monitoreo	Proceso mediante el cual se obtienen, interpretan y evalúan los resultados de una o varias muestras.
Muestra	La parte representativa, a analizar en un cuerpo de agua.
Parámetro	Variable que identifica una característica del agua.
Tratamiento	Método físico, químico o biológico para mejorar las características del agua.
Zopp	Método de análisis y planificación de proyectos orientada a objetivos.

RESUMEN

La contaminación en el Río Cojolya, es un tema que en la actualidad es minimizado por las causas de mayor impacto en los cuerpos de agua más importantes de la región de Sololá poniendo en tema central el Lago de Atitlán. Este estudio enfoca herramientas de la ingeniería con el fin de identificar las características paramétricas del agua del Río Cojolya, con el fin de comprender su estado de salud y estudiar parte de los efectos que tiene la descarga del afluente del río en la cuenca mayor que es el lago, para lo cual se realizarán tomas de muestras de agua, se analizarán en el laboratorio y se procesará la información mediante la metodología *Zopp*, con el propósito de comprender de manera conjunta toda la información.

Inicialmente la investigación se hará en un primer acercamiento de observación, mediante una visita técnica con la intención de capturar sistemáticamente información sobre, la ubicación del Río Cojolya, vertientes cercanas de aguas residuales vertiente de desechos, concurrencia de terrenos para el uso de agricultura y posibles puntos adecuados para la toma de muestras.

El siguiente paso en el estudio será realizar tres tomas de muestra de agua, tomando como referencia la parte alta del río, la parte media baja y la parte baja o zona de descarga, esto con el fin de analizar el posible impacto de la comunidad en la calidad del agua, para luego ser enviadas al laboratorio del Instituto de Investigaciones Químicas y Biológicas de la Universidad de San Carlos quienes realizarán el análisis de los parámetros requeridos: Turbidez, Dureza, Fosfatos, Sólidos Disueltos, DBO, DQO, Potencial de Hidrógeno, Conductividad, Coliformes.

Se busca identificar parámetros con valores que responden a concentraciones más altas comparadas con límites máximos permisibles para las descargas de aguas residuales en la cuenca del lago de Atitlán, lo que podría revelar que el afluente del Río Cojolya, transporta altas cantidades de contaminantes. Se plantearán medidas de mitigación y control si se descubren parámetros fuera de lo normal para cuerpos de agua saludables.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano en los departamentos de Guatemala y el desarrollo tecnológico las industrias locales, va ligado paralelamente al uso de recursos naturales, que en su proceso generan residuos como; aguas residuales, químicos y plástico entre otros, que, sin los procesos adecuados para su eliminación, reutilización o proceso de mitigación, llegan a formar parte de los ecosistemas naturales como los ríos, los cuales reciben un gran volumen de estos remanentes durante décadas. Es este el caso del Río Cojolya, ubicado en el departamento de Sololá y con desembocadura a la cuenca del lago de Atitlán. El cual presenta un cuadro de enfermedades medioambientales que están produciendo efectos negativos en la calidad de sus aguas, los cuales se hacen visibles a través de señales naturales de contaminación.

En el presente trabajo de investigación, se abordará el tema de la calidad del agua del Río Cojolya y de sus análisis de laboratorio se filtrarán causas y soluciones mediante la metodología de planificación de proyectos *Zopp*.

El estudio proporcionara información actual y un cuadro real de la salud del agua del Río Cojolya, sus posibles efectos en la contaminación creciente de la cuenca del lago de Atitlán, así también se propondrán medidas que promuevan la mitigación de los factores más determinantes en los efectos de la vitalidad del recurso hídrico.

Para el desarrollo de este trabajo analizaran los puntos de contaminación más importantes y se tomaran muestras de agua del Río Cojolya, posteriormente se llevarán a un laboratorio certificado para su análisis físico, químico y biológico

del cual se evaluará la calidad de sus aguas en comparación con el estudio realizado por Amsclae en el año 2015. Para establecer actividades y proponer medidas para la mitigación de los elementos que muestren atención prioritaria, se desarrollarán análisis lógicos con herramientas establecidas por la metodología de origen alemán *Zopp*.

En el capítulo 1 se establecerán los anteriores estudios que fomentan el uso de estas herramientas para el análisis de cuerpos de agua con distintas perspectivas. En el capítulo 2, se hará una composición teórica de los fundamentos a utilizar como bibliografía. En el capítulo 3, se hará una fase exploratoria basada en la observación en la cual se plasmarán efectos o causas visibles a los sentidos. En el capítulo 4, se harán las tomas de muestra de agua, y se plasmará el informe del análisis de laboratorio con su respectiva comparación histórica. En el capítulo 5, se ejecutará la metodología *Zopp*, de la cual se obtendrán las propuestas y actividades de mitigación. En el capítulo 6, se identificarán, presentarán y validarán los resultados del estudio. En el capítulo 7, se discutirá y abordarán los temas más importantes sobre las propuestas y resultados obtenidos de la investigación. Para finalizar se presentarán las conclusiones de la investigación.

2. ANTECEDENTES

En Guatemala se han publicado y realizado escasos estudios al respecto del volumen de sedimentos y tipos de sedimentos que se encuentran en los afluentes de la subcuenca del Río Cojolya que se dirige directamente al lago de Atitlán. En cuanto a la publicación de Instituto Nacional de Estadística (2015) se desarrolla un estudio, recopilando información apoyado en las entidades que fungen como entes rectores de los recursos naturales y condiciones ambientales en los diferentes puntos del país. Para la protección del lago de Atitlán y las microcuencas que lo componen, la institución gubernamental encargada es Amsclae (Autoridad para el Manejo Sustentable del lago de Atitlán y su Entorno) la cual tiene como objetivo gestionar de manera responsable los ecosistemas de la cuenca del lago de Atitlán.

Dentro de las estadísticas presentadas en dicho documento, Amsclae presenta información estadística sobre las características físicas y químicas de los ríos de la cuenca del Atitlán, en la cual también ofrece información preliminar de la calidad del agua del Río Cojolya y se identifica que hay niveles muy altos de los diferentes tipos de contaminantes en esta microcuenca, se podría mencionar; la tercer microcuenca en escala de sólidos totales disueltos, la primera en demanda química de oxígeno, la primera en nivel de nitrógeno total, la primera en mayor turbidez, en los primeros lugares en el análisis de sólidos en suspensión y desde el año dos mil quince no se ha continuado con el monitoreo y control de estos indicadores y si se ha hecho, al día de hoy no son públicos.

En cuanto a la publicación de Asociación Amigos del Lago de Atitlán (2018) se presentan temáticas para la enseñanza comunitaria, institucional o como una guía independiente de información en la que abordan temas específicos a la sostenibilidad y cuidado ambiental al lago de Atitlán y su entorno. La relación directa entre los ciclos de agua y las recargas hídricas indican los medios por los cuales los mantos acuíferos se abastecen y mediante el proceso de filtración natural de la tierra se redirigen a las cuencas. Estos elementos representan las partes involucradas en los procesos hídricos y es un indicativo para desarrollar estrategias para el manejo y gestión de tales recursos. Entre algunas de las acciones desarrolladas en este documento se pueden destacar:

- Prácticas agrícolas sostenibles, para proteger los suelos de la erosión y así evitar la pérdida de fertilidad en tierras agrícolas.
- Conservación de los bosques o reforestación en las zonas de recarga hídrica.
- Control de la contaminación por el exceso de agroquímicos.
- Control de la calidad y cantidad de agua, y la planificación de las necesidades de agua para poder satisfacer la demanda de las poblaciones y proteger el recurso hídrico. Así también el tratamiento de aguas residuales que se descargan en los ríos que se dirigen a la cuenca.
- Gestión de las áreas según el riesgo o vulnerabilidad que presentan, entre otras.

Por lo tanto, todo lo que afecte, al suelo, afectará el agua ya que son elementos que están estrechamente asociados.

En cuanto a la publicación llevada a cabo por Amsclae (2018) se definen los elementos de valoración de las subcuencas que se dirigen al lago de Atitlán y la necesidad de realizar intervenciones que apoyen el manejo de los recursos

naturales del sector para el manejo sostenible e integral de cada una de ellas y la importancia del involucramiento de las comunidades e instituciones. Este título busca planificar, desarrollar acciones para resguardar, proteger y cuidar el ecosistema del lago de Atitlán y su entorno, también presenta la importancia de la densidad poblacional y la presión que ejerce sobre el uso de los recursos hídricos. Como resultado, se definen los siguientes criterios, indicadores y principios para la priorización; Biofísicos: niveles de erosión, Socioeconómicos: densidad de habitantes, Ambiental; Calidad del agua y si existen plantas de tratamiento de desechos. Se determinó mediante esta matriz que la microcuenca La Catarata, también llamada por formar parte del Río Cojolya, como la tercera en necesidad de inmediata intervención. Por ese motivo, se propone como estrategia, la constante generación de información actualizada de los recursos del bosque, agua, clima y suelos, así también la relacionada con contaminación y desechos.

De acuerdo a la tesis de Gudiel (2007) se definen las características propias del alto grado de contaminación y sus posibles efectos en cuencas hídricas del territorio de Guatemala, así como las consecuencias del desecho de sedimentos en el ambiente de los lagos. Se registró un alto nivel de fósforo de fosfato y nitrógeno de nitrato en la superficie como efecto de la aireación artificial. Conexo a estos indicadores se considera de suma importancia la implementación efectiva del proyecto de canalización y tratamiento de aguas residuales que se dirigen al río Villalobos ya que este tiene desembocadura directa en el lago de Amatitlán y este contribuye en alto grado a la contaminación y al debilitamiento del proceso de recuperación del lago.

En otros países se encontraron estudios interesantes relacionados con el tema y a continuación se presentan:

En la tesis de Figueroa (2007) se desglosan 4 fases de investigación iniciando con el análisis de los acuíferos y su problemática, sus usos y su exploración en la región del Valle de Aguascalientes, México. En la cual se identificaron impactos ambientales como:

- Deterioro de la calidad el agua.
- Riesgos crecientes por el desarrollo urbano para los sistemas hídricos.
- En tal caso propone que el manejo moderno de la gestión para el agua debe ser global, sustentable, igualitario, inclusivo y eficaz. Para lo cual demuestra que bajo una metodología de investigación se puede presentar un modelo para definir un plan de trabajo integral y consistente. El Método *ZOPP* fue definido por la Comisión Nacional de Agua de México como una propuesta para manejo de proyectos relacionados con recursos hídricos, buscando así el establecer una guía para la elaboración de planes que generen acciones concretas para los problemas en el manejo de aguas que se presenten. Entre los resultados de esta investigación podemos resaltar que la metodología *ZOPP* es una excelente herramienta para la planeación, diseño de soluciones y establece indicadores de seguimiento y evaluación para las propuestas extraídas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para la población guatemalteca, el Lago de Atitlán es uno de los lugares turísticos más importantes del país, atrae durante muchas estaciones del año a turistas de todas partes del mundo. Para las comunidades asentadas alrededor de esta importante cuenca, es fundamental, la salud del ecosistema ya que muchas actividades comerciales se desarrollan en torno a la vida natural que existe en el lago, pesca, potabilización, aguas utilizadas para riego, turismo, arte y acuicultura son áreas que con el avance del tiempo se ven resentidas por los impactos ambientales.

La subcuenca del Río Cojolya es importante a nivel hidrológico en la región de lago de Atitlán, y es crucial identificar las propiedades de este afluente ya que se dirige directamente al lago y analizar las materias orgánicas provenientes de estos sectores, con el fin de identificar la cantidad de posibles sedimentos que se transportan a través de ellos.

Dado que la región cuenta con suelos de tipo volcánico, es posible que posean un alto nivel de fosfatos naturales que al ser combinados con el uso de fertilizantes agroquímicos para la siembra y cosecha de legumbres y alimentos vegetales de la región y la contaminación generada por el aumento exponencial de las áreas urbanas, proveen las condiciones ideales para que el afluente del Río Cojolya transporten grandes cantidades de sedimentos orgánicos que sean causantes de la eutrofización del lago.

La vida acuática depende de muchos factores para lograr su ciclo de vida, de forma normal y adecuada, la falta y el exceso de elementos biológicos,

químicos y físicos en los cuerpos de agua, produce secuelas como alta tasa de mortalidad en los seres vivos del agua, cambios en el tamaño y estructura de los peces, mal olor en la superficie de los ríos o lagos y efectos colaterales en la salud de la población (diarreas, enfermedades parasitarias) que ingiere alimentos de fuentes primarias y secundarias de la cuenca.

Los efectos visuales en los últimos años como el crecimiento de algas y vegetación en el fondo acuático del lago de Atitlán son efectos de los niveles de contaminación por aumento acelerado de introducción de nutrientes que a su vez también influyen en la coloración del agua, su aroma, la salud de la vida subacuática y alteraciones en el equilibrio del ecosistema.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio ¿Cómo se puede aplicar la metodología *ZOPP* para el análisis del agua del Río Cojolya y su impacto en la contaminación del lago de Atitlán?

Para responder a esta interrogante se deberán contestar las siguientes preguntas auxiliares:

- ¿Cuáles son las características químicas y físicas del agua del Río Cojolya y qué impacto generan en el lago de Atitlán?
- ¿Cómo la metodología *ZOPP* podría aportar al análisis de la investigación de la contaminación en el agua?
- ¿Qué efecto tiene el afluente y sus componentes hídricos en el lago de Atitlán?
- ¿Qué medidas de mitigación podrían reducir los efectos de contaminación?

4. JUSTIFICACIÓN

La realización de la presente investigación se justifica en la línea de investigación de Gestión y tratamiento del agua del área de Gestión Ambiental de la Maestría de Energía y Ambiente.

En la actualidad el lago de Atilán atraviesa una problemática medio ambiental debido a factores que generan impactos representativos en el equilibrio de los ecosistemas que se interconectan a través de la vida de la región. La investigación sobre el volumen de sedimentos provenientes de las subcuentas de lago y su cuantificación es un indicador de aportes que podrían estar aumentando la contaminación del agua, y a su vez generando consecuencias adversas sobre los organismos dependientes de los recursos hídricos de la cuenca. Además, proponer medidas de mitigación, propuestas tecnológicas, regulaciones y normas para el manejo sostenible de residuos sólidos orgánicos en el afluente del Río Cojolya.

Este proyecto permite establecer una metodología específica de desarrollo, desplegando secuencialmente actividades que tienen como fin establecer una guía profesional, que pueda aportar conocimiento sobre la calidad hidrológica, los impactos de actividades industriales y comunitarias en el agua.

Este estudio beneficiará principalmente a los pobladores de las regiones cercanas al río, autoridades del lago, investigadores de temas ambientales, desarrolladores de proyectos y personas interesadas en los efectos que causan los sedimentos en los cuerpos naturales de agua. Ofreciendo resultados sobre las características fisicoquímicas y biológicas de los recursos hídricos en

investigación. Así también, las medidas y herramientas para el desarrollo de proyectos de gestión de residuos y protección de los sistemas hidrológicos.

El presente estudio es pertinente para temas de Ingeniería ambiental e Ingeniería Industrial, ya que otorga soluciones y medidas que podrían ser aplicadas para la protección de lagos cálidos, tropicales mediante una metodología de planificación de proyectos llamada *ZOPP* (Planificación de proyectos orientada a objetivos) la cual está basada en despliegue de procesos lógicos que buscan el desarrollo de alternativas, riesgos y resultados específicos. Por su naturaleza flexible, este método puede utilizarse en estudios ambientales similares que requieran un marco de estudio base.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Analizar mediante la metodología *ZOPP* el impacto del agua del Río Cojolya en la contaminación del lago de Atitlán.

5.2. Específicos

- Definir las características químicas y físicas del agua del Río Cojolya.
- Desarrollar a través de la metodología *ZOPP* un análisis técnico de la contaminación en el agua.
- Determinar el efecto del afluente y sus componentes hídricos en el lago de Atitlán.
- Sugerir medidas de mitigación para reducir los efectos de contaminación.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

Una de las principales causas del aumento de contaminación en los ríos del municipio de Sololá, Guatemala. Es la falta de información y datos actualizados sobre los niveles que esta ha alcanzado, por lo tanto, es más difícil para los entes protectores del medio ambiente, el análisis, control y ejecución de medidas que reduzcan las consecuencias negativas de las actividades humanas.

El presente trabajo de investigación contribuirá con la aplicación de la metodología *ZOPP* que ha sido desarrollada como una herramienta de la ingeniería para la administración de proyectos, por medio de la cual se establecerán lineamientos sobre las técnicas necesarias para el análisis periódico de la contaminación en el Río Cojolya y a su vez permitirá la presentación de alternativas para la mitigación los efectos nocivos para el medio ambiente que se identifiquen y la influencia que tienen sobre la cuenca del lago de Atitlán.

En este estudio se establecerán las condiciones de temperatura, turbidez, olor, de la muestra de agua recopilada como una base inicial de fuente de información. Así también sus características químicas como; concentración de nitratos, concentración de amonio y potencial de hidrógeno las cuales se analizarán en un laboratorio bajo las medidas de inocuidad pertinentes. Si fuese necesario se incluirá un análisis bacteriológico, con el propósito de enriquecer la investigación y paralelamente sus resultados.

Al finalizar el estudio los datos obtenidos, serán analizados y publicados en el tesario de la Universidad de San Carlos de Guatemala junto con la metodología para la formación de resultados y medidas que puedan ser una

propuesta actual para los problemas medio ambientales que atraviesa el Río Cojolya en el área de recurso hídrico. Este estudio beneficiará en su parte técnica a la autoridad encargada de la protección y recuperación de los cuerpos de agua de la región (AMSCLAE) ya que proporciona datos e información que servirán para comprender la correlación que existe entre lo planteado y la contaminación, así también a las municipalidades cuyos municipios son vertientes a este río.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Propiedades de los ríos y lagos

Los ríos y lagos cuentan con elementos bióticos y abióticos que reflejan la vida, dinamismo e interacción sus elementos, las rocas, el agua, los minerales, la tierra, su diversidad climática que lo conforman: la temperatura, altitud, cantidad de luz, humedad y las bacterias, plantas, árboles, hongos, seres vivos como humanos, peces y distintos animales. Estos componentes se relacionan directamente unos con otros y de su misma relación también su dependencia. Que a través de cadenas tróficas representan la necesidad del equilibrio del ecosistema acuático y terrestre. (Asociación Amigos del Lago de Atitlán, 2018)

7.1.1. Estratificación

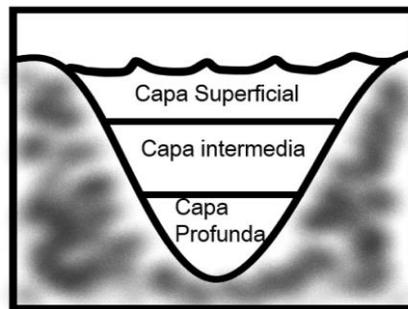
Los cambios climáticos suelen afectar en cuerpos de agua, es un fenómeno que se ha identificado en los lagos, y este puede variar según los ciclos estacionales, pero se observa mayor magnitud durante la época del invierno. Este puede darse por dos factores; naturalmente por la temperatura, que va relacionado en proporción a la temperatura climática y por la acumulación de sólidos disueltos en las profundidades. (Martín, s.f.)

Este fenómeno se define como el cambio de la diferencia de capas en el cuerpo de agua o aglomeración de estratos según densidad. Cuando el clima cambia e ingresa agua a diferente temperatura en la estación de invierno, más fría que la que se encuentra en la cuenca, esta tiende a irse a la profundidad y la

que se encuentra a mayor temperatura sale a la superficie, generando una capa superficial, una intermedia y otra de profundidad. (Gudiel, 2007)

En la Figura 1 se observa una visualización de la estratificación, en la capa 1 llamada Epilimnion, se encuentra en temperaturas entre los 20 y 25 grados centígrados y es rica en oxígeno. En la capa 2 llamada Metalimnion se encuentra en temperaturas entre los 4 y los 20 grados centígrados y hay una disminución de oxígeno significativa. En la capa 3 llamada Hipolimnion se encuentra en temperaturas entre los 0 y 4 grados centígrados con escaso nivel de oxígeno. (Martín, s.f.)

Figura 1. **Estratificación**



Fuente: elaboración propia, realizado con Paint 3D.

7.1.2. **Oxígeno**

El oxígeno dentro de los cuerpos de agua de los lagos es un indicador de donde se encuentran las especies acuáticas y el plancton, la distribución del oxígeno de manera homogénea en todas las profundidades, nos indica la distribución de peces en los diferentes estratos ya que es un elemento primordial para la subsistencia de estos. Cuando la cantidad de oxígeno es muy baja, los organismos acuáticos, perecerán. Esto hace importante la demanda bioquímica

de oxígeno, ya que, mediante esta, se puede conocer si la vida acuática es vulnerable a afecciones y puedan estar en riesgo de morir. El DBO (demanda bioquímica de oxígeno) puede cambiar a causa de: excesos de viga vegetal en la superficie, lo que reduce la cantidad de luz que fluye a través del agua, la contaminación, el crecimiento de bacterias anaeróbicas que generan gases tóxicos, desechos orgánicos. (Gudiel, 2007)

7.1.3. Nutrientes

El fósforo y el nitrógeno son elementos esenciales en la vida y crecimiento de las plantas y algas, la presencia de estas sustancias y el volumen de sedimentos controlan la cantidad de algas y plantas pueden crecer. Algunos lagos tienen presencia de fosfatos y nitratos reducida pero cuando se encuentra en mayores proporciones altera la tasa de crecimiento de estos microorganismos que sufren un aumento acelerado en su población. El aporte externo de estos nutrientes al ecosistema acuático generalmente es debido a los tanques de aguas negras, actividades industriales, actividades urbanas, actividad agrícola, deforestación, aguas residuales. Cuando hay poco oxígeno en el agua especialmente en las profundidades, los sedimentos liberan fósforo a la superficie, y esto causa proliferación en el crecimiento de algas, el agua se empieza a ver sucia y oscura y hay poca infiltración de luz. (Sabino, 2015)

7.1.4. Algas

Las algas son seres microscópicos que contienen clorofilas muy similares a las bacterias, cuando se encuentran en una población muy grande le dan un color verdoso, desagradable aroma y sabor al agua, estas generalmente se encuentran en lugares acuáticos donde hay luz y en ocasiones no suelen ser visibles, a menos que seas abundantes. Son una fuente alimento para los

organismos que viven en el agua, y en ocasiones pueden provocar incidencia en el decrecimiento de otras plantas nativas, reducen la cantidad de luz, también aportan a la falta de oxígeno en la superficie y sensorialmente son molestas para las comunidades asentadas a las cercanías de los lagos. (Gudiel, 2007)

7.1.5. Eutrofización

Se define como el proceso en el cual el agua de los lagos se va enriqueciendo de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno que pueden llegar a los cuerpos de agua por; aguas residuales, agua lavada por la lluvia en campos de cultivo, erosión del suelo, entre otros. Lo que promueve una sobre fertilización del agua que es dañina para los peces y este exceso puede provocar la muerte de la vida marina y su descomposición en el estrato del fondo, como sedimentos. El proceso de eutrofización tiende a ser evidente cuando un lago es de color verdoso, con presencia visual de muchas algas, mal aroma y turbidez. El cúmulo de estas actividades ponen en riesgo la vida del lago y aceleran su proceso de envejecimiento, a esta transición rápida se le denomina eutrofización cultural. (Sabino, 2015)

7.1.6. Sedimentación

La tierra se va al fondo y esto poco a poco va reduciendo la capacidad de llenado del lago, así también la tierra no posee vegetación en las profundidades por la falta de oxígeno y el cúmulo de materiales transportados por las aguas residuales, producen bajo la acción de gravedad zonas deprimidas y erosionadas. (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 1997)

7.2. Calidad del agua

El agua es una de las sustancias más abundantes del planeta tierra, gracias a su existencia es posible la vida sobre el planeta ya que es uno de los minerales principales de todos los seres vivos, el cuerpo de los ser humano está compuesto entre un 50 a 90 % de agua y en las plantas también puede llegar a esas proporciones.

7.2.1. Características Físicas

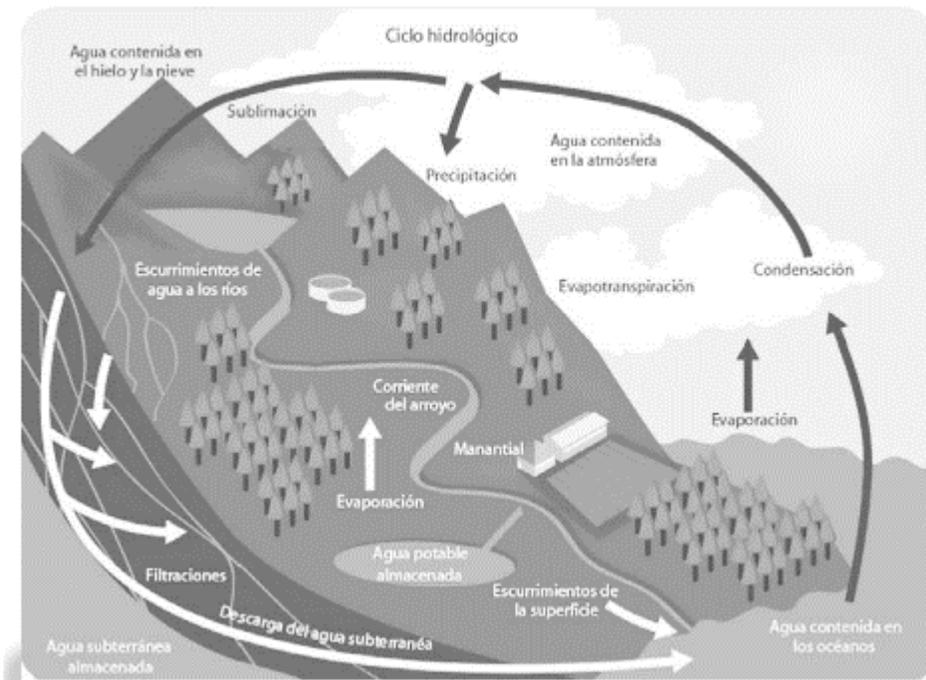
El agua posee un conjunto de características específicas en su estado natural o puro, también propiedades que le hacen diferente a otros líquidos, y estas en conjunto indican los posibles usos, provechos, utilizaciones, salud.

7.2.1.1. Estados del agua

El agua se encuentra en la naturaleza en diferentes estados, sólida, gaseosa y líquida; estas formas físicas están relacionadas también con su ciclo natural. La evaporación, condensación, precipitación e infiltración de nuevo en la superficie. Para las corrientes naturales de los ríos son también importantes, ya que recorren territorios por los cuales reciben flujo de los afluentes cercanos. Siendo transportadores de líquidos sanos y beneficiosos para la cuenca o contaminados y dañinos. (Asociación Amigos del Lago de Atitlán, 2004)

A continuación, observamos un ejemplo de cómo se integran el ciclo del agua a un ecosistema que cuenta con río y cuenca final.

Figura 2. **Ciclo Hidrológico**



Fuente: Asociación Amigos del Lago de Atitlán (2004). *Educando para Conservar*.

7.2.1.2. **Color**

El efecto visual del color en los cuerpos de agua de ríos y lagos está relacionado con los elementos disueltos dentro del mismo. Es importante relacionar el color aparente y el verdadero para determinar su salud y sus características. El color verdadero está relacionado con las sustancias disueltas, como los minerales, las sales, materias orgánicas, putrefacción de materias orgánicas, materias coloidales, algas microscópicas, tierras arcillosas, residuos industriales, lo cual se ve ligado a la turbiedad. El color natural del agua debe ser incolora y es recurrente medirla paralelamente con el pH ya que, si aumenta el pH, también lo hace el color. (Metalcaf, 1995)

7.2.1.3. Turbiedad

La turbiedad es el producto visual de la dispersión de los rayos de luz cuando atraviesan una muestra de agua otra forma de definirlo sería; la característica óptica de la amortiguación de la luz y su efecto sobre los elementos en suspensión. La turbiedad podría ser ocasionada por materias orgánicas en suspensión, desde partículas microscópicas hasta partículas visualmente perceptibles. El grado de turbiedad indica el grado de tratamiento necesario para las fuentes de agua, su requerimiento y tasa de filtrabilidad más adecuado, también la potabilidad del agua, su sedimentación, incidencia en la cantidad de penetración de luz que a su vez puede afectar la vida de los seres acuáticos. (Gudiel, 2007; Metalcaf, 1995)

7.2.1.4. Temperatura

La temperatura juega un rol muy importante en el ciclo del agua y en fases del proceso de tratamiento si se está pensando en mitigar alguna fuente de contaminación mediante procedimientos anaerobios. En verano se debe encontrar a una temperatura menor a la del ambiente y en la época de invierno debe suceder lo opuesto, un desequilibrio en la temperatura natural del cuerpo de agua puede producir la intensificación de sabores, olores y el crecimiento de microorganismos. (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 1997; Metalcaf, 1995)

7.2.1.5. Olor

El olor es la sensación percibida a través del olfato por los gases liberados por el agua. El mal aroma en el agua en ocasiones es producido por los gases liberados por materias orgánicas en descomposición, generalmente suele ser

desagradable, peculiar y psicológicamente generan tensión en la vida humana. En situaciones límite, los hedores pueden llegar al menoscabo de la salud del individuo y su comunidad, también se podrían presentar descompensaciones de las vías respiratorias como vómitos y náuseas. (Metalcaf, 1995)

7.2.2. Características Químicas

El análisis de sustancias líquidas, se realiza mediante el estudio de sus propiedades reactivas con otra materia, así también el efecto de neutralización que pudiese tener.

7.2.2.1. Potencial de Hidrógeno

Se le llama así a la medida de acidez o nivel de alcalinidad de una disolución, es comúnmente conocido como pH. Este indica la cantidad de iones de hidrógeno que se encuentran en una sustancia o solución. La medición de estas siglas se observa en una escala de ácido, neutro o alcalino, en donde las soluciones son ácidas si contienen una mayor concentración de iones de hidrógeno y son alcalinas cuando su concentración es menor.

El pH se puede calcular utilizando un potenciómetro, el cual contiene un sensor que determina el pH de una sustancia a través de una membrana de vidrio que se divide en dos soluciones de distinta concentración de protones. También existe un papel que ayuda a medir el potencial de hidrógeno, este es conocido como papel tornasol, y al colocar el papel en cualquier sustancia cambia de color y este indica el pH de dicha sustancia. (Sabino, 2015)

7.2.2.2. Oxígeno Disuelto

Niveles de oxígeno presente en el cuerpo de agua. Este parámetro es de suma importancia para la vida de la mayoría de los organismos que habitan en el agua. La cantidad de oxígeno disuelto en cualquier hábitat acuático indica la calidad del agua ambiental. Depende de las cantidades de OD (oxígeno disuelto) para que animales marinos, algas, plantas acuáticas o microorganismos puedan habitar en distintos cuerpos de agua, por ejemplo, las truchas y el salmón necesitan de altas concentraciones de oxígeno, mientras que las larvas y otros organismos requieren de bajas concentraciones. El OD puede variar durante el transcurso del día debido a las actividades de las plantas, en la mañana hasta la tarde puede elevarse y durante la noche disminuye. Otro nombre que se le puede dar al OD es: oxígeno libre. (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 1997; Sabino, 2015)

7.2.2.3. Demanda química y bioquímica de oxígeno

Sus siglas (DDQ). Es conocido como un parámetro que determina la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que se encuentran disueltas o en suspensión en una muestra de estado líquido.

Se usa para medir el nivel de contaminación y este se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro ($\text{mg O}_2/\text{L}$). (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 1997; Sabino, 2015)

7.2.2.4. Fosfatos

Su fórmula química es PO_4^{3-} . Los fosfatos son ésteres o sales del ácido fosfórico. Una de las formas más habituales para detectar la presencia de fósforo

en el agua, es por medio de los fosfatos. En donde los compuestos del fósforo son nutrientes que se encuentran en las plantas y guían al crecimiento de algas en los cuerpos de aguas superficiales. Se dice que se necesita únicamente un gramo de fosfato-fósforo para provocar el crecimiento de 100 gramos de algas. Algunos compuestos de fosfato se pueden encontrar en aguas residuales o superficiales que provienen de: detergentes, productos de limpieza, desechos humanos y/o animales y por último fertilizantes. (Gudiel, 2007; Sabino, 2015)

7.2.2.5. Nitrógeno

Es el elemento químico, para la atmósfera del planeta tierra es un componente principal ya que contiene el 78,1 % de su volumen. Su número atómico es el 7 y el símbolo N, en la tabla periódica. La concentración de nitrógeno en la atmósfera es el resultado del balance de la fijación del nitrógeno atmosférico por la actuación eléctrica, bacteriana, química y su liberación por medio de la descomposición de materias orgánicas por combustión o bacterias. También el nitrógeno forma parte de un 3 % de la composición elemental del cuerpo humano y de los restos de animales. El nitrógeno se comporta de forma inerte y como un agente diluyente del oxígeno en los procesos de respiración y combustión. (Sabino, 2015)

7.2.2.6. Conductividad

Es la medida de la capacidad del agua para transportar una corriente eléctrica. Dicha medida se encuentra relacionada con la concentración de iones en el agua, sus concentraciones, movilidad y valencia, como también la temperatura en la que se encuentra el recurso líquido. Los compuestos disueltos que se encuentran en el agua se convierten en iones, los cuales vienen de sales disueltas y materia inorgánica. Otro nombre que se les da como referencia es

electrolitos. Cuanto más alta sea la concentración de electrolitos en un cuerpo acuático, mayor será su conductividad electrónica. Este también es un parámetro, entre los más comunes, para poder determinar y observar la calidad del agua. La conductividad del agua es una forma o medida empleada en plantas de tratamiento y plantas industriales, ya que es considerado un método accesible. Este se mide con aparatos que contienen una sonda electrónica que coloca un voltaje entre dos electrodos. (Gudiel, 2007)

7.2.2.7. Sólidos totales

Se definen sólidos totales a todas aquellas sustancias que se encuentran presentes en el agua, que tienen un estado sólido. Son el parámetro más inclusivo y general. Sus siglas (ST). El procedimiento para calcular los sólidos totales consiste en evaporar directamente el agua de la muestra a 180 °C, el resultado de la muestra se indica en mg/L. Este parámetro se condiciona por la temperatura y la duración de la desecación. (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia, 1997)

7.3. Factores que influyen en la contaminación del agua

La contaminación es todo tipo de alteraciones que la materia o un líquido pueda sufrir al interactuar con otros componentes químicos, sólidos o sustancias que alteren su composición natural.

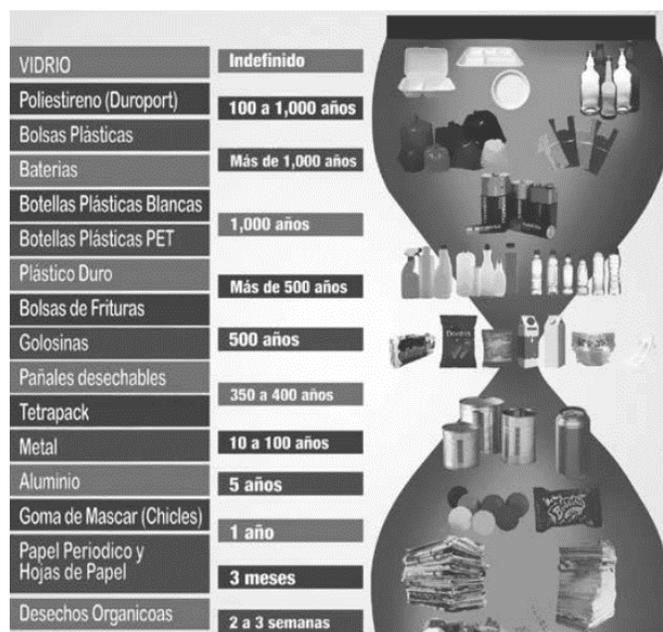
7.3.1. Residuos sólidos

Los residuos sólidos, más conocidos como basura, son unos de los grandes pilares de la contaminación ambiental, estos son materiales como botes plásticos, latas, botellas, papel, polietileno, empaques de golosinas, metal, tetra

Pak entre los más conocidos. Estos desechos inorgánicos necesitan periodos de tiempo muy largos para su descomposición y en el proceso pueden expulsar sustancias dañinas para la salud del ser humano o también para los seres vivos en el agua. (Sabino, 2015)

Comprender el manejo sustentable de estos en los cuerpos de agua, es muy importante. A continuación, se presenta la figura 3 la cual muestra el tiempo promedio de vida antes de su descomposición de estos materiales. En consecuencia, liberar estos residuos en un río o un lago, es un impacto que por muchos años generará consecuencias al medio ambiente. (Sabino, 2015)

Figura 3. **Tiempo de descomposición de desechos sólidos**



Fuente: Asociación Amigos del lago de Atitlán (2004). *Educando para Conservar*.

7.3.2. Residuos líquidos

Los desechos líquidos son todos aquellos fluidos que se descargan en un afluente con algún grado de contaminación, podríamos mencionar algunos ejemplos como; aguas negras, lubricantes, aceites, residuos agroquímicos y aguas grises que derivado de actividades industriales, comerciales, agrícolas o urbanas llegan a los cuerpos de agua naturales de alguna región. Este tipo de aguas tienen como particularidad, cambios en su calidad y bacterias, que al llegar a las fuentes de agua como ríos, lagos, nacimientos y aguas subterráneas pueden llegar incluso a dejar inaprovechable el recurso hídrico que si no llegasen a ser tratadas podrían generar graves problemas para la salud del ser humano y el ecosistema en el cual sean vertidas. (Gudiel, 2007)

7.3.3. Aguas Residuales

Las aguas residuales contienen microorganismos que son fuente de enfermedades ya que, si se utiliza el agua del río o lago de primera mano, sin hervirla o filtrarla con ozono anticipadamente, estos parásitos ingresan al cuerpo humano y producen enfermedades, entre las más comunes están: fiebre tifoidea, cólera, amebas, diarrea, infecciones estomacales, hepatitis A. También son responsables del crecimiento de cianobacterias acuáticas derivado del aumento de nutrientes como fósforo y nitrógeno que causan una precipitación en el proceso de eutrofización. (Asociación Amigos del lago de Atitlán, 2004)

Estas se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Aguas negras: Son aguas residuales que contienen heces fecales y orina.

- Aguas grises: Son aguas residuales que contienen detergentes, jabones, lavamanos y químicos provenientes de actividades de limpieza y aseo personal.
- Aguas industriales: Son aguas residuales que contienen gran cantidad de contaminantes provenientes de textilerías, beneficios de café, hospitales, veterinarias, destrozadoras de animales.
- Aguas residuales agrícolas: estas provienen de la corriente producida por las lluvias en zonas agrícolas y contienen altos niveles de fosfatos de pesticidas y abonos con alto contenido de sólidos en suspensión. (Asociación Amigos del lago de Atitlán, 2004)

7.3.4. Usos del suelo

El suelo es un pequeño estrato compuesto por el paso de los años y de lenta formación por humedad, aglomeración de arenillas y piedras, el efecto del viento y humedad. La complejidad de este elemento radica en su capacidad para almacenar, agua, lombrices, insectos, minerales, materias orgánicas, microorganismos, plantas y vegetales. Todo este conjunto de sustancias y factores bióticos son esenciales para la vida del ecosistema y su sustentación durante el tiempo, los cambios bruscos en su biología física y química pueden generar la pérdida del este importante hábitat.

Los suelos suelen ir cambiando al paso del tiempo, lo que se conoce como zonas forestales, en algún momento del crecimiento urbano o agrícola, puede modificarse a formar parte de tierras para la instalación de complejos de viviendas, empresas productoras o también para crecimiento de ganado y actividades de siembra, lo que genera diferencias en su composición física y

química lo que afecta su capacidad natural de ser fértil. (Asociación Amigos del lago de Atitlán, 2004)

7.3.5. Coliformes

Es un importante parámetro de entre los análisis de agua, ya que, si estas bacterias se encuentran en un análisis de laboratorio, se puede tomar la posibilidad de que el agua tienen niveles de contaminación los cuales pueden llegar a ser dañinos para el ser humano ya que estas, provienen de contaminación de tipo fecal, las cuales están presentes en el tracto digestivo de los seres humano y de los animales. La concentración de este indicador es una alerta para las comunidades que dependen de los recursos hídricos, ya que pueden ser potencialmente dañina y provocar riesgos a la salud de los que puedan ingerir agua de estas fuentes. (Perdomo, 2011)

Dentro de la categoría de estas bacterias, se pueden encontrar los de tipo fecal y los que habitan naturalmente en la tierra y el agua. Normalmente al existir movimientos en cuerpos superficiales y subterráneos, estas pueden viajar en los afluentes y se identifican de manera regular, en los pozos de agua en los cuales existen en las cercanías áreas de pastoreo, crianza y manejo de animales de granja. (Perdomo, 2011)

La utilización de recursos hídricos con coliformes fecales presentes para actividades agrícolas, está dimensionado y limitado por la Tabla I. Límites máximos permisibles para el reúso de aguas residuales con presencia de coliformes, en donde los de Tipo I están definidos para el riego agrícola en general, el Tipo II para cultivos comestibles, El tipo III para acuacultura, el Tipo IV para pastos y otros cultivos y el tipo V para uso recreativo.

Tabla I. **LMP coliformes**

Tipo de reuso	Demanda bioquímica de oxígeno, miligramos por litro	Coliformes fecales, número más probable por cien mililitros
Tipo I	No aplica	No aplica
Tipo II	No aplica	< 2x10 ²
Tipo III	200	No aplica
Tipo IV	No aplica	< 1x10 ³
Tipo V	200	< 1x10 ³

Fuente: Acuerdo Gubernativo 236-2006 (2006). *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

7.4. Normativas

Una de las normativas guatemaltecas para la promover protección y mejoramiento del medio ambiente velando por el equilibrio ecológico y con la intención de mejorar la calidad de vida de los habitantes se encuentra el acuerdo gubernativo 236-2006 y sus reformas en el año 2019, la cuales muestran los límites permisibles para la disposición de aguas residuales en alcantarillados públicos. Para lo cual se muestra la Tabla II, la cual define cuantitativamente estas cantidades. (Acuerdo Gubernativo 058-2019, 2019)

Tabla II. Límites máximos permisibles

		Fecha máxima de cumplimiento		
		Veintinueve (29) de Noviembre del año Dos Mil Diecinueve (2019)	Dos (2) de Mayo del año Dos Mil Veinticuatro (2024)	Dos (2) de Mayo del año Dos Mil Veintiocho (2028)
		Etapa		
Parámetros	Dimensionales	Uno	Dos	Tres
Temperatura	Grados Celsius	TCR +/-7	TCR +/-7	TCR +/-7
Grasas y aceites	Miligramos por litro	50	10	10
Materia flotante	Ausencia/presencia	Ausente	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de Oxígeno	Miligramos por litro	250	100	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	275	200	100
Nitrógeno total	Miligramos por litro	150	70	20
Fósforo total	Miligramos por litro	40	20	10
Potencial de Hidrogeno	Unidades de potencial de Hidrogeno	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Coliformes fecales	Número más probable en cien (100) mililitros	<1x10 ⁷	<1x10 ⁴	<1x10 ⁴
Arsénico	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.1
Cadmio	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.1
Cianuro total	Miligramos por litro	1	1	1
Cobre	Miligramos por litro	3	3	3
Cromo hexavalente	Miligramos por litro	0.1	0.1	0.1
Mercurio	Miligramos por litro	0.02	0.02	0.01
Níquel	Miligramos por litro	2	2	2
Plomo	Miligramos por litro	0.4	0.4	0.4
Zinc	Miligramos por litro	10	10	10
Color	Unidades Platino Cobalto	1000	750	500

Fuente: Acuerdo Gubernativo 058-2019 (2019). *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos.*

Tabla III. **LMP Agua Residual Lago de Atitlán en ríos**

Parámetros	Dimensiones	Fecha máxima de cumplimiento	
		Treinta y uno de agosto de dos mil once	Treinta de junio de dos mil trece
		Uno	Dos
Temperatura	Grados Celsius	TRC +/- 7 ^o *	TRC +/- 7 ^o *
Grasas y aceites	Miligramos por litro	25	10
Materia flotante	Ausencia/Presencia	Ausente	Ausente
Demanda bioquímica de oxígeno	Miligramos por litro	75	50
Demanda química de oxígeno	Miligramos por litro	150	100
Sólidos suspendidos	Miligramos por litro	100	60
Nitrógeno total	Miligramos por litro	25	10
Fósforo total	Miligramos por litro	15	5
Potencial de hidrógeno	Unidades Ph	6-9	6-9
Coliformes fecales	Número más probable en cien mililitros	<1X10 ⁴	<1X10 ⁴
Color aparente	Unidades platino cobalto	500	300

*Temperatura del cuerpo receptor en grados Celcius.

Fuente: Acuerdo Gubernativo 12-2011 (2011). *Reglamento de descargas de aguas residuales en la cuenca del lago de Atitlán.*

7.5. Metodología ZOPP

Un proyecto se puede entender como un conjunto de actividades que buscan un objetivo final o primario en donde todas sus tareas y labores están íntimamente relacionadas y organizadas. Para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto un proyectista profesional, debe tener un marco metodológico que invite al orden y lógica para la coordinación del mismo y su búsqueda de resultados.

La terminología (*ZOPP*) ha sido usada por muchos años para denominar y abreviar: Planificación de proyectos orientada a objetivos, que es adoptado de la traducción en idioma alemán de *Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammehar bait*. Desarrollado por la agencia de cooperación alemana (GTZ)

como una metodología que conlleva y persigue una serie de pasos, procesos y técnicas para dar relevancia a las partes más importantes en el análisis de la ejecución de proyectos. (Fernández, 1989)

Dentro del proceso de planificación, es importante identificar las contrapartes interesadas del proyecto, por lo cual, la metodología *ZOPP*, desarrolla una serie de procesos de desarrollo que buscan lograr situaciones de mejora y los objetivos de desarrollo que el planificador busque. Es importante adaptar este tipo de metodologías ya que brinda una manera estructurada de realizar la planificación y a su vez establecer todas las fases de la ejecución en tareas, límites económicos, enfoque de trabajo y alcances realistas del proyecto. (Helming y Göbel, 1998)

En México La Comisión Nacional del Agua, la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos naturales y Pesca, con el fin de alcanzar y lograr objetivos en la planificación de proyectos hídricos, han establecido la metodología *ZOPP* como una estrategia para el diagnóstico, participación y planeación de programas públicos y privados, buscando a través de este lograr un proceso de reflexión conjunta y continua, un cambio trascendente en la transformación y modernización de las regiones del país, buscando como propósito una nueva idea de uso del agua, su cultura, la buena administración y aumentar a niveles óptimos su aprovechamiento. Para lo cual presentan *Planeación de objetivos orientada a objetivos, Método Zopp* como una guía para la realización y validación de proyectos nacionales con propósitos de mejoras en el sistema de abastecimiento hídrico. (Comisión nacional de agua, 2020)

Entre las ventajas del uso y aplicación de este método se pueden identificar:

- Una fácil identificación de los problemas que producen impactos más altos y repercuten de forma directa a los afectados.
- Mejora la asimilación de los objetivos del proyecto en los distintos estratos y grupos de interés, haciéndolo de forma sencilla y directa.
- Enriquece el proyecto con ideas y experiencias de los miembros del equipo.
- Puede ser utilizado para grandes proyectos, subprogramas, pequeños proyectos, proyectos muy peculiares y también por su naturaleza flexible puede llegar a ser aplicada como una metodología universal.
- Instituye indicadores con características medibles y útiles para el sistema de control y seguimiento.
- Establece claramente las responsabilidades y tareas de los participantes del proyecto.
- Evalúa los principales actores involucrados, sus intereses e importancia.
- Estructura de manera lógica y ordenada los pasos a seguir en la trayectoria de planeación. (Comisión nacional de agua, 2020; Helming, 1998)

7.5.1. Objetivos de la aplicación del ZOPP

- Lograr una comprensión conjunta de los conflictos que se busca ser resueltos para lograr fines establecidos y su relación directa con los problemas que se buscan resolver.

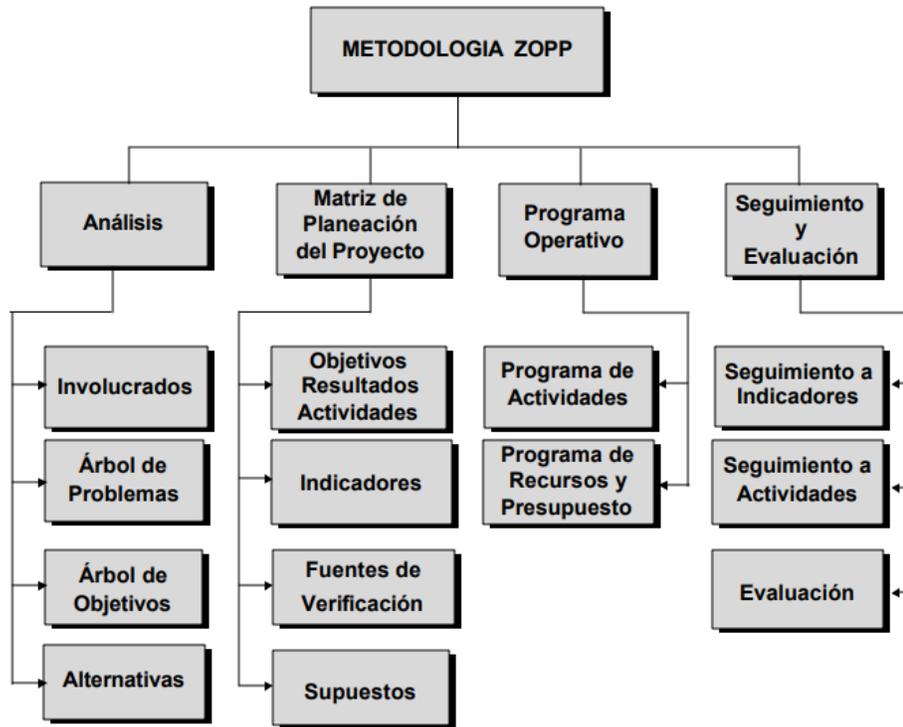
- Desarrollar medios para la cooperación y comunicación de los involucrados mediante procesos de planeación.
- Establecer un concepto claro y realista de las actividades y operaciones que se esperan desarrollar para la búsqueda y logro de los fines, incluyendo a todos los participantes del proyecto.
- Definir las responsabilidades y cómo se delegarán para el desarrollo de las actividades planteadas desde el proceso de planeación, ajustándose a los costos establecidos y los tiempos esperados.
- Plantear todos los indicadores que se estimarán para el seguimiento del proyecto y su posterior evaluación. (Comisión nacional de agua, 2020)

7.5.2. Características de la Metodología ZOPP

La metodología adopta varias funciones en las diferentes fases de desarrollo, entre las más importantes que se debe tomar en cuenta, es el trabajo en equipo, ya que es una modalidad conjunta en la cual los diferentes actores entran en escena y juegan roles de diferente índole. La visualización, cada procedimiento debe ser documentado de forma clara y notable para todos los participantes, esto mejora la calidad de comunicación y socializa mejor el proyecto. Moderación, un equipo multidisciplinario puede aportar conocimiento científico y que pueda moderar el enfoque de los involucrados, o bien puede estar determinado por el liderazgo del proyectista. (Cooperación Guatemala-Alemania, 2017)

La estructura general está definida por el ejemplo de Figura 4. La cual muestra todas las fases y subprocessos de la metodología de planeación.

Figura 4. Estructura ZOPP



Fuente: Comisión nacional de Agua (2020). *Planeación de proyectos orientada a objetivos: Método Zopp.*

7.5.3. Análisis de Involucrados

El estudio de los involucrados se fundamenta en la investigación de los principales representantes de las distintas partes relacionadas, esto conlleva un análisis de los objetivos, su relación, sus propósitos e intereses mediante el estudio social y su impacto dentro del desarrollo del proyecto. Los actores del estudio de involucrados no son únicamente los grupos que se beneficiarán o las organizaciones que establecen sus objetivos y fines, sino también los grupos o segmentos que se ven perjudicados por el desarrollo y ejecución del proyecto. (Helming, 1998)

Se deben identificar las organizaciones, grupos, personas, asociaciones, cocodes, instituciones que puedan tener una injerencia directa o indirecta en el proyecto. También se debe analizar los intereses, expectativas, fortalezas, características, debilidades. Se desarrollan de la siguiente forma:

Identificar y escribir en la primera columna todos los grupos, instituciones, organizaciones, asociaciones o personas individuales que puedan ser una influencia en el proyecto. Luego, segmentarlos y examinarlos (función o actividad, fortalezas, debilidades intereses) y considerar todas sus implicaciones que puedan tener en la ejecución del proyecto, incluyendo esta información en forma tabular (Fernández, 1989). Para definir y concretar los involucrados del proyecto, se puede utilizar la siguiente matriz de la Figura 5.

Figura 5. **Análisis de Involucrados.**

GRUPO O INSTITUCIÓN	FUNCIÓN O ACTIVIDAD	INTERESES	FORTALEZAS	DEBILIDADES

Fuente: Comisión nacional de Agua (2020). *Planeación de proyectos orientada a objetivos: Método Zopp.*

7.5.4. Lluvia de ideas

El concepto de lluvia de ideas, generalmente es percibido como una manifestación de la creatividad del proyectista, ya que este busca exponer mediante un proceso didáctico, diferentes asociaciones de ideas a un tema específico relacionadas con la solución o simplemente posibles causas de lo que se está examinando, este proceso debe realizarse de manera espontánea para que tenga validez, ya que las ideas de los participantes o del participante deben

expresarse sin influencia o conflicto de intereses personales y de otros involucrados. (Martínez, 2020)

En el análisis del desarrollo del proyecto es importante desarrollar un esquema de las posibles causas, soluciones, eventos o situaciones que pueden inferir y se deben tomar en cuenta antes de definir los supuestos de las problemáticas. Esta herramienta aporta ideas sobre los posibles ítems que luego se incluirán en el árbol de problemas. En la Figura 6. Se puede observar un ejemplo de cómo hacer una lluvia de ideas en forma de mapa mental, el cual está enfocado a un tema de análisis de precios de petróleo, sin embargo, puede utilizarse la misma estructura o bien otra parecida, pero con el tema de investigación en la parte central y las ideas que causan este problema en la parte exterior.

Figura 6. Lluvia de Ideas



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

7.5.5. Árbol de Problemas (Causa-Efecto)

Es una herramienta o proceso que sirve para identificar las posibles causas y efectos que puedan estar relacionadas directamente sobre los principales problemas que se estén visualizando en un tema de discusión o análisis.

Este procedimiento indica de manera estructurada como incluir y definir el problema principal y desglosar las causas y efectos de estos, en una visualización en diagrama de árbol. Se debe tener presente que el problema principal que se identifique debe reescribirse en forma negativa y este debe ser existente, no futuro o posible. También todos los efectos y causas que estén relacionados al tema central deben estar expresados como estados negativos en el esquema.

Para elaborar el árbol de problemas es importante tener en cuenta:

- Reconocer y analizar los principales problemas que puedan darse o generando en ese momento.
- Expresar en forma corta y concisa el problema principal.
- Escribir las causas que afectan directamente al problema principal.
- Escribir los efectos que se generan directamente del problema principal.
- Esbozar un esquema que represente las relaciones de causa - efecto en forma visual de árbol de problemas.

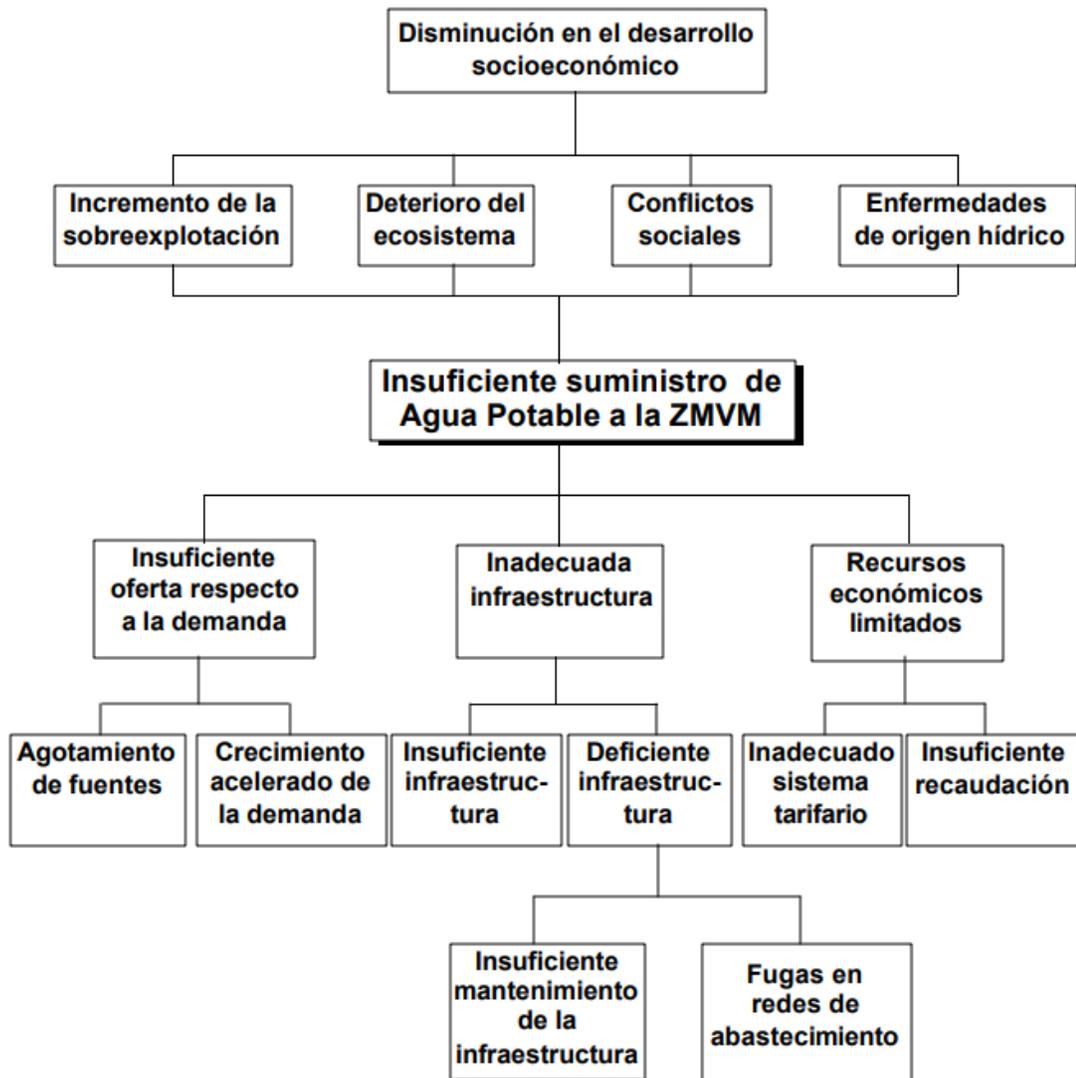
- Examinar lo descrito en el esquema para establecer su lógica, coherencia, integridad y por último validez.

Procedimiento:

- Las causas deben escribirse en pequeños cuadros en la parte inferior del problema central, y si existen varios, ordenarlos de forma paralela, debe tener en cuenta que para esto puede hacer uso de la herramienta de la lluvia de ideas como una fuente de datos para el establecimiento de causas, así también escriba al menos tres de ellas.
- Los efectos generados por el problema central deben estar ordenados de forma paralela y en la parte superior del esquema.
- Las causas y los efectos son establecidos de manera que se forman varios niveles de importancia y ramificaciones con efectos - causas secundarias del problema.

Ejemplo de árbol de problemas de una empresa de suministro de agua potable.

Figura 7. **Árbol de Problemas**



Fuente: Comisión nacional de Agua (2020). *Planeación de proyectos orientada a objetivos: Método Zopp.*

7.5.6. Árbol de Objetivos

Es una herramienta del marco de planeación de proyectos que refiere un procedimiento para lograr fines, basado en solución de problemas y transformar la correlación entre las causas y los efectos al enlace medios y fines, lo cual busca alternativas posibles de solución del proyecto. Los problemas, causas y efectos planteados en el árbol de problemas, deben reformularse en esta transferencia, para lo cual es importante destacar:

Si al momento de reformular las causas y efectos anteriormente señaladas, no le llevan a un análisis profundo de solución, retomar nuevamente la discusión del problema y verificar que es lo que en realidad se quiere expresar. Ya que lo expresado debe tener sentido y coherencia directa con lo que se le está relacionando, ya que las soluciones de problemas son basadas en el desglose de los medios y fines que el proyectista plantee perseguir durante la ejecución del proyecto.

Reexaminar si los objetivos que se están expresando son suficientes y válidos para alcanzar los fines inmediatos o asociados al ítem en discusión.

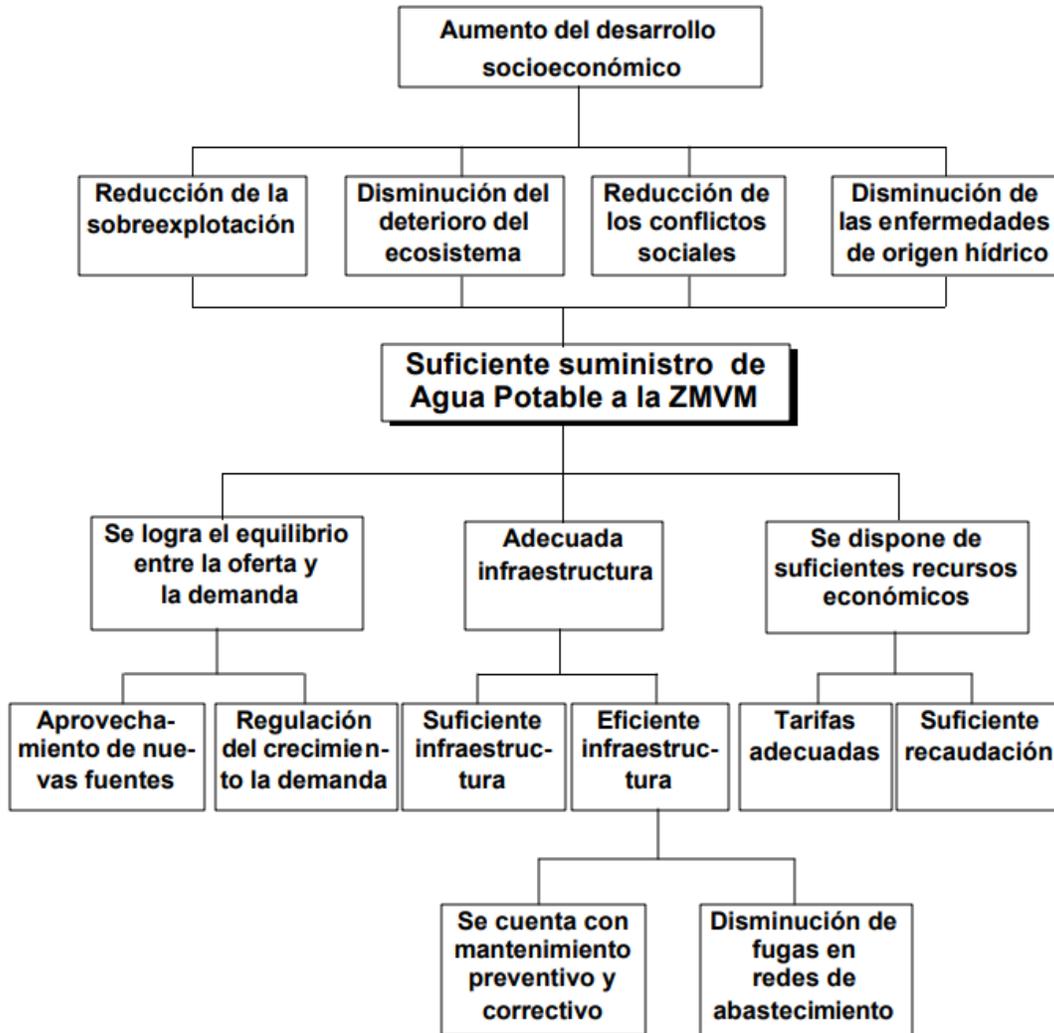
Para desarrollar el árbol de objetivos basándose en el árbol de problemas debe considerar seguir el siguiente procedimiento:

- Reescribir y reformular todos los aspectos negativos del árbol de problemas en condiciones positivas que tengan características lógicas de realización y que puedan llevarse a cabo, ósea que sea posible desarrollar esa solución en el proyecto.
- Evaluar la integridad y validez de la asociación entre los medios y los fines.

- Si lo considera oportuno; reformule, agregue nuevos ítems a los objetivos si estos fuesen de alta relevancia o también puede eliminar los que no tengan incidencia importante o sean innecesarios.
- Recuerde siempre ubicar cada ítem en una secuencia, donde el superior es el tronco, y las inferiores ramas de una misma solución. Para ejemplificar de mejor manera lo anterior descrito, se presenta un gráfico a continuación.

Ejemplo de árbol de objetivos de una empresa de suministro de agua potable.

Figura 8. **Árbol de Objetivos.**



Fuente: Comisión nacional de Agua (2020). *Planeación de proyectos orientada a objetivos: Método Zopp.*

7.5.7. Matriz de Planeación de Proyecto

MPP es una abreviatura que se le da a la Matriz de planeación de proyectos, la cual es una secuencia lógica donde se presentan los objetivos del proyecto y se adhieren a ellos, las alternativas de solución y el conjunto de actividades a realizar para lograr los fines, a esto también va conectado los participantes o actores de cada fase, indicando tareas críticas y los elementos que se utilizaran para la revisión y validación del efecto de estas tareas en el impacto al proyecto. (Cooperación Guatemala-Alemania, 2017)

La MPP es una estructura desarrollada en forma visual de columnas y filas que proporciona la posterior información:

- Objetivo superior ¿Por qué? se plantean propósitos para la solución de problemas y el fin supremos del proyecto
- Objetivo del proyecto ¿Qué? se espera del proyecto y su producto global resultante.
- Resultados/productos ¿Qué? fines que el proyecto pretende alcanzar.
- Actividades ¿Cómo? Se realizarán las tareas y labores críticas para la ejecución.
- Supuestos ¿Qué? Circunstancias exteriores son importantes analizar y tomar en cuenta para el logro de las metas.
- Indicadores de verificación ¿Cómo? Se pueden medir los efectos o impactos de lo realizado por el proyecto.

- Fuentes de verificación ¿Dónde? El proyectista puede hacer un levantamiento de datos para el análisis del proyecto.
- Especificaciones de recursos y costos ¿Cuál? es el impacto económico del proyecto y su costo total, si este sugiere un resultante de actividades económicas importantes. (Helming, 1998)

La matriz de planeación del proyecto presenta las tareas del proyecto o las actividades de las que se esperan resultados y los fines que se desean alcanzar de manera ordenada y lógica. También demuestra que tan importantes pueden ser los objetivos o qué relevancia pueden tener dentro del efecto resultante de la puesta en marcha. Para hacer esa representación estructurada de MPP se recomienda las consideraciones siguientes:

- Esbozar las ideas de los resultados y objetivos de forma concisa.
- Afinar los criterios de los involucrados para que su formulación refleje el criterio real.
- Existe una estrecha conexión entre todos los elementos de la matriz y hacer modificaciones o cambios en alguno de los objetivos, compromete la consecución general de ideas, por lo tanto, se deben hacer cambios en otros segmentos de la matriz. (Comisión nacional de agua, 2020)

7.5.7.1. Partes de la Matriz de Planeación de Proyecto

- Objetivo superior (Fin): Meta o beneficio esperado al estar en ejecución del proyecto.

- Objetivo proyecto (Propósitos): Conjunto de propósitos que refuerzan con actividades la búsqueda de los fines supremos del proyecto.
- Resultados (Productos): Servicios o conjunto de bienes producidos por el proyecto.
- Actividades: Acciones que se desarrollan con el fin de alcanzar los objetivos del proyecto. (Helming, 1998)

Ejemplo de la estructura de una matriz de planeación de Proyecto.

Figura 9. **Matriz Marco Lógico**

ESTRUCTURA DE LA MATRIZ DEL MARCO LÓGICO			
OBJETIVOS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
FIN Es una definición de cómo el proyecto contribuirá a la solución del problema	Mide el impacto general que tendrá el proyecto	Fuentes de información que se pueden utilizar para verificar los objetivos logrados	Indican acontecimientos, decisiones o condiciones necesarias para la sostenibilidad
PROPÓSITO Es el impacto directo a ser logrado a partir de los resultados	Describe el impacto logrado al final del proyecto	Fuentes de información que permitan ver si los objetivos se están logrando	Indican acontecimientos, decisiones o condiciones para que el PROPÓSITO contribuyan para el logro del FIN
RESULTADOS Son las obras, servicios y capacitación que se requiere para el proyecto	Descripciones breves de cada uno de los RESULTADOS que se tienen que terminar en el proyecto	Dónde se puede encontrar la información para verificar que los RESULTADOS han sido producidos	Indican acontecimientos, decisiones o condiciones para que los RESULTADOS alcancen el PROPÓSITO
ACTIVIDADES Tareas que se deben cumplir para alcanzar los resultados	Contiene el presupuesto para cada actividad a ser producido por el proyecto	Información dónde se puede verificar si el presupuesto ha sido gastado de acuerdo a lo planificado	Indican acontecimientos, decisiones o condiciones que tienen que suceder para completar los RESULTADOS

Fuente: Helming (1998). *Planificación de proyectos orientada a objetivos (ZOPP)*.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Propiedades de los ríos y lagos.

1.1.1. Estratificación.

1.1.2. Oxígeno.

1.1.3. Nutrientes

1.1.4. Algas

1.1.5. Eutrofización

1.1.6. Sedimentación

1.2. Calidad del agua

1.3. Características Físicas

1.3.1. Estados del agua

1.3.2. Color

- 1.3.3. Turbidez
- 1.3.4. Temperatura
- 1.3.5. Olor
- 1.4. Características Químicas
 - 1.4.1. Potencial de Hidrógeno
 - 1.4.2. Oxígeno Disuelto
 - 1.4.3. Demanda química y bioquímica de oxígeno
 - 1.4.4. Fosfatos
 - 1.4.5. Nitrógeno
 - 1.4.6. Conductividad
 - 1.4.7. Sólidos totales
- 1.5. Factores que influyen en la contaminación del agua
 - 1.5.1. Residuos sólidos
 - 1.5.2. Residuos líquidos
 - 1.5.3. Aguas Residuales
 - 1.5.4. Usos del suelo
 - 1.5.5. Coliformes
 - 1.5.6. Normativas

1.6. METODOLOGÍA ZOPP

- 1.6.1. Objetivos de la aplicación del ZOPP
- 1.6.2. Características de la Metodología ZOPP
- 1.6.3. Análisis de Involucrados
- 1.6.4. Lluvia de ideas
- 1.6.5. Árbol de Problemas
- 1.6.6. Árbol de Objetivos
- 1.6.7. Matriz de Planeación de Proyecto

2. OBSERVACIÓN

- 2.1. Hallazgos primera visita técnica.
- 2.2. Hallazgos segunda visita técnica.
- 2.3. Entrevista

3. TOMA DE MUESTRAS

- 3.1. Análisis de informe de laboratorio
 - 3.1.1. Resultados de laboratorio
 - 3.1.2. Cotejo

4. EJECUCIÓN DE LA METODOLOGÍA ZOPP

- 4.1. Lluvia de ideas
- 4.2. Análisis de involucrados
- 4.3. Árbol de problemas
- 4.4. Árbol de Objetivos

5. IDENTIFICACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN

6. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Tipo de Estudio

El presente estudio es de tipo cuantitativo descriptivo. En este se elaborará una propuesta para la investigación del agua del Río Cojolya y el impacto ambiental que su afluente produce en el lago de Atitlán, a través de una caracterización del agua mediante un estudio hídrico en un laboratorio y posteriormente se utilizará la metodología de planificación de proyectos *ZOPP* para enfocar el análisis a la búsqueda de propuestas para la mitigación de los posibles efectos ambientales que se logren detectar.

9.2. Definición de variables

Las variables de análisis representan las características físicas o químicas y biológicas que el estudio pretende puntualizar. A continuación, la Tabla IV. Define las variables presentadas en este estudio.

Tabla IV. **Variables**

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional
Caudal	Se refiere fundamentalmente al volumen hidráulico de la escorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma.	Se determinará mediante exploración bibliográfica. Suele medirse en m ³ /seg.

Continuación tabla IV.

Sólidos totales	Se definen solidos totales a todas aquellas sustancias que se encuentran presentes en el agua, que tienen un estado sólido.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en el dimensional miligramo por unidad de volumen de agua (mg/l).
Concentración Nitrógeno	Es un contaminante presente en las aguas residuales que debe ser eliminado ya que reduce el oxígeno disuelto de las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en el dimensional miligramo por unidad de volumen de agua (mg/l)
Fosfatos	Los fosfatos son ésteres o sales del ácido fosfórico. Una de las formas más habituales para detectar la presencia de fósforo en el agua, es por medio de los fosfatos.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en el dimensional miligramo por unidad de volumen de agua (mg/l)
Oxígeno Disuelto	Es la cantidad de oxígeno gaseoso que está disuelto en el agua.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en el dimensional miligramo por unidad de volumen de agua (mg/l)
DBO	Es un parámetro que mide la cantidad de dióxigeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en el dimensional miligramo por unidad de volumen de agua (mg/l).

Continuación tabla IV.

DQO	Es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O ₂ /l).	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en el dimensional miligramo por unidad de volumen de agua (mg/l).
Potencial de Hidrógeno	Se le llama así a la medida de acidez o nivel de alcalinidad de una disolución, es comúnmente conocido como pH.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en la una tabla referencial de valores que pueden estar de 0 a 14.
Conductividad	Es la medida de la capacidad del agua para transportar una corriente eléctrica. Dicha medida se encuentra relacionada con la concentración de iones en el agua, sus concentraciones, movilidad y valencia.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en el dimensional siemens por centímetro (siemens/cm).
Color	El efecto visual del color en los cuerpos de agua de ríos y lagos está relacionado con los elementos disueltos dentro del mismo.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado y se apoyará mediante un análisis sensorial.
Olor	El olor es la sensación percibida a través del olfato por los gases liberados por el agua.	Se determinará mediante un análisis sensorial.

Continuación tabla IV.

Turbiedad	La turbiedad es el producto visual de la dispersión de los rayos de luz cuando atraviesan una muestra de agua otra forma de definirlo sería; la característica óptica de la amortiguación de la luz y su efecto sobre los elementos en suspensión. La turbiedad podría ser ocasionada por materias orgánicas en suspensión, desde partículas microscópicas hasta partículas visualmente perceptibles.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en la dimensional de turbidez nefelométrica (UTN).
Temperatura	Magnitud en relación al calor medible mediante una magnitud escalar relacionada con energía interna.	Se medirá mediante un termómetro en grados centígrados.
Coliformes	La denominación genérica coliformes designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua.	Se determinará mediante un ensayo de laboratorio certificado. Se medirá en las dimensionales unidades formadoras de colonias por litro (UFM/L).

Fuente: elaboración propia.

9.3. Fases del Estudio

En esta parte del documento se definen los pasos o fases que se llevaran a cabo para completar el estudio del agua en Rio Cojolya, se presentan las 5 fases en las que se desarrolla la investigación.

9.3.1. Fase 1: Exploración bibliográfica

En esta fase se describirá la teoría y bibliografía relacionada al tema de investigación, así también se identificarán las variables necesarias y más importantes para la medición de las propiedades y características fisicoquímicas del agua. También se ampliarán definiciones y conceptos que permitirán a la investigación, tener una visión más amplia en cuanto al análisis de los recursos hídricos de los ríos.

9.3.2. Fase 2: Observación

En esta etapa se hará una visita técnica al departamento de Sololá, con la intención de capturar sistemáticamente información sobre, la ubicación del Río Cojolya, vertientes cercanas de aguas residuales, presencia de industrias manufactureras que utilicen el río como fuente de agua o para vertiente de desechos, concurrencia de terrenos para el uso de agricultura y posibles puntos adecuados para la toma de muestras. Adicional a esto se incluirá una posible entrevista con alguna entidad responsable del cuidado y manejo de los recursos hídricos del departamento de Sololá.

En la siguiente tabla de recopilación de datos. Se definen los aspectos visuales a identificar en las áreas cercanas al río, posteriormente si es posible concretar una entrevista, se utilizará para recopilación de datos.

Tabla V. **Recopilación de datos**

Datos a recopilar	SI	NO	Unidades / Observaciones
1. Ubicación Geográfica			
2. Longitud del Río			
3. Caudal Superficial			
4. ¿Existen vertientes de aguas residuales al río?			
5. ¿Hay presencia de basureros clandestinos?			
6. ¿Existen actualmente plantas de tratamiento?			
7. ¿La municipalidad tiene alguna política de recuperación para el recurso hídrico del río?			
8. ¿Existe presencia de áreas de uso agrícola en las cercanías del río?			
9. ¿Existe alguna normativa para el manejo y control de los agroquímicos?			
10. ¿Existe erosión en los suelos?			
11. ¿Es notable la presencia de sustancias y sólidos flotantes?			
12. ¿Existe algún tipo de vida marina? ¿Pueden los pobladores pescar en el Río Cojolya?			
13. ¿Existe crecimiento urbano cercano al cauce principal?			

Fuente: elaboración propia.

9.3.3. Fase 3: Toma de Muestra

En esta parte de la metodología están detallados los equipos que se requerirán para la toma de muestras, así como las características y procedimientos esenciales para la buena práctica en la toma del recurso hídrico y las normas que deben seguirse, así como también la documentación para la correcta trazabilidad de la muestra antes de ser enviada al laboratorio para su posterior análisis.

Equipo requerido para la toma de muestra:

- Guantes
- Mascarilla KN95
- Botas de hule
- Pantalón Impermeable
- Termómetro
- Recipiente colector totalmente esterilizado de 205-500 ml, boca ancha, con tapa rosca y cubiertos con papel craft para su conservación.
- Previo acuerdo con el laboratorio químico para el análisis fisicoquímico y bacteriológico.

En esta fase se procederá con ubicar un sitio para el muestreo el cual debe cumplir con las siguientes características:

- Fácil Acceso
- Considerar lugares más susceptibles a contaminación.
- Tomar la muestra al menos a 30 cm bajo la superficie y a 30 centímetros del fondo a contracorriente.
- Colocar tapón y colocar papel de protección.

- La muestra debe enviarse al laboratorio no más de 24 horas después de haber sido recolectada.

Al momento de recolectar la muestra para el análisis fisicoquímico debe llenarse la siguiente información (Tabla VI: Identificación de muestra), así como también una para la muestra del análisis bacteriológico.

Tabla VI. **Identificación de Muestra**

Número de Muestra	
Origen de la fuente	
Ubicación geográfica (latitud, longitud)	
Fecha y hora de la toma de muestra	
Tipo de análisis requerido	
Responsable del muestreo	
Temperatura	
Observaciones	
Color	
Olor	
Turbidez aparente	

Fuente: elaboración propia.

Al momento de enviar la muestra al análisis de laboratorio y recibir los resultados, se debe tabular la siguiente información basada en el informe:

Tabla VII. **Análisis Físicoquímico y Microbiológico**

Determinación	Unidad
Turbiedad	
Color	
Dureza	
Fosfatos	
Sólidos Disueltos	
DBO	
DQO	
Potencial de Hidrógeno	
Concentración de Nitrógeno	
Conductividad	
Coliformes	

Fuente: elaboración propia.

9.3.4. Fase 4: Análisis de informe de laboratorio y Cotejo

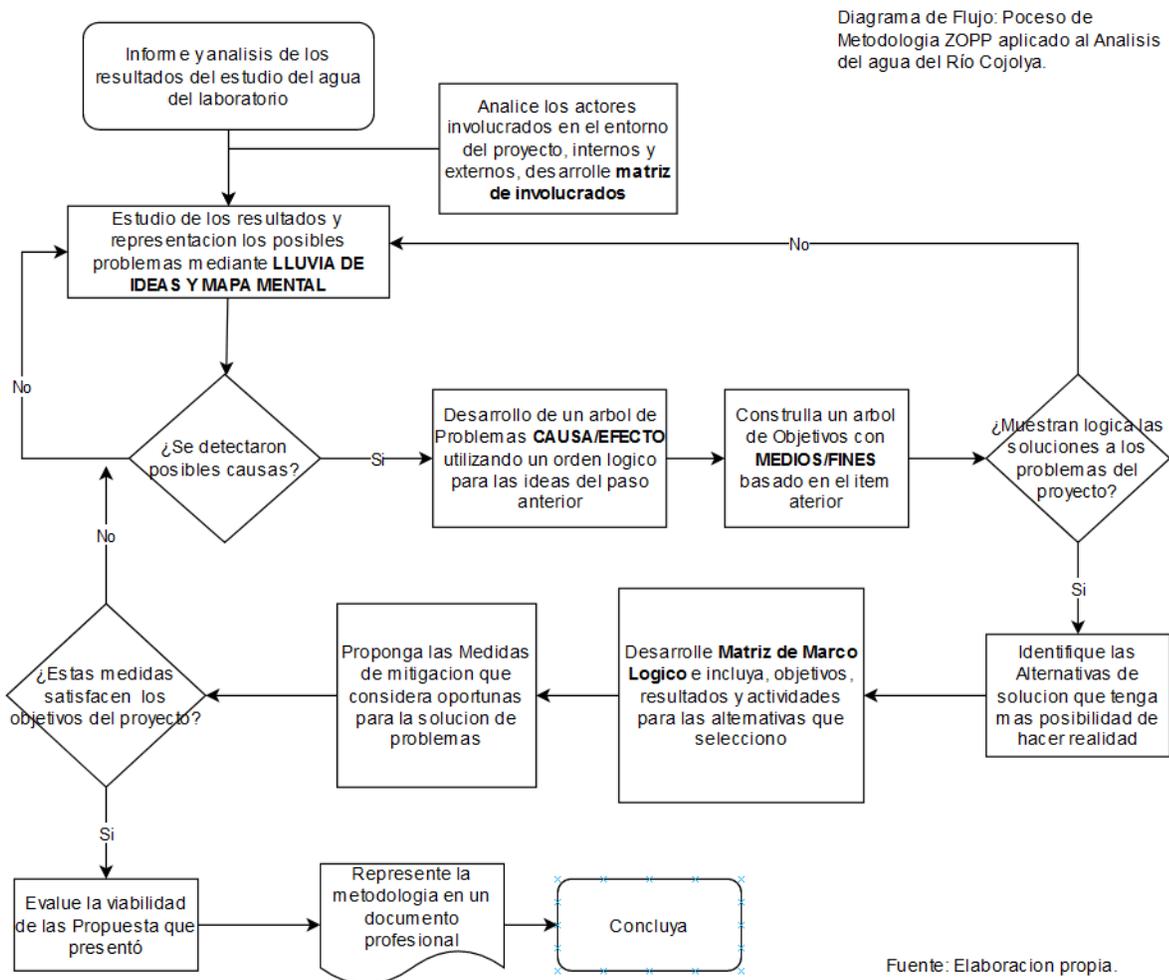
En esta fase se hará una comparación de los resultados del análisis de laboratorio, con información histórica de la priorización y el análisis del agua de las microcuencas del lago de Amatitlán, el cual se encuentra en *Compendio Estadístico Ambiental 2015* así también un análisis del aporte porcentual del Río Cojolya al volumen de la cuenca del lago de Atitlán.

En esta fase además se hará una comparación directa de los resultados del análisis de laboratorio, respecto del afluente del Río Cojolya y se cotejarán con los existentes del Compendio Estadístico Ambiental de Guatemala, 2015. Mediante una regla de tres, se calculará la dimensión porcentual de lo que aportan las características físicoquímicas y biológicas de la microcuenca y su dimensión en la contribución al volumen hídrico de la cuenca del lago de Atitlán, y para luego ser analizadas mediante la metodología *Zopp*.

9.3.5. Fase 5: Metodología ZOPP

La metodología ZOPP, es una estructura para la realización de proyectos a niveles profesionales en la cual, un proyecto de evaluación del agua refleja una estructura del análisis de los problemas actuales, destinando el proceso a la búsqueda y presentación de propuestas para la mitigación de los riesgos detectados. Para definir el proceso a seguir se presenta lo siguiente:

Figura 10. Diagrama de flujo



Fuente: elaboración propia, realizado con Lucidchart.

9.3.6. Fase 6: Discusión de Resultados

En esta fase se presentará un resumen de los resultados más significativos obtenidos mediante la metodología de proyectos *Zopp* y se discutirá respecto a ellos.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En este estudio se elaborará una propuesta para la investigación del agua del Río Cojolya y el impacto ambiental que su afluente produce en el lago de Atilán, a través de una caracterización del agua mediante un estudio hídrico en un laboratorio y mediante la metodología *Zopp* se evaluarán propuestas de mitigación. Para el desarrollo de la investigación se emplearán técnicas para el análisis de información, ordenando los datos obtenidos de tal manera que pueda ser más fácil su interpretación y discusión. Las herramientas estadísticas permitirán un cotejo entre los hallazgos y la información histórica.

Para ello se utilizarán las siguientes herramientas:

- Tabla de recopilación de datos, basados en observación.
- Tabla de hallazgos de fase de observación.
- Tabla para identificación de muestra, y trazabilidad.
- Tabla de resultados de análisis de agua de laboratorio.
- Tabla de cotejo.
- Diagrama de Árbol de problemas.
- Diagrama de Árbol de objetivos.
- Tabla de matriz de marco lógico.
- Tabla de medidas de mitigación.

Para el análisis estadístico de la información, se utilizarán las siguientes herramientas:

- Cálculo de la proporcionalidad.

- Promedios para los elementos de la caracterización.
- Gráfico circular para la representación de la dimensionalidad del aporte de caudal del río al lago de Atitlán.

11. CRONOGRAMA

A continuación, se detalla el orden cronológico que se seguirá para completar la investigación. Cada cuadro representa una semana del mes.

Tabla VIII. **Cronograma de Actividades**

Actividad	Año 2022																															
	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio											
Fase 1: Exploracion bibliografica	■	■	■	■																												
Fase 2: Observacion					■	■	■	■																								
Fase 3: Toma de Muestras y Analisis Fisico y Microbiologico									■	■																						
Fase 4: Analisis informe de laboratorio											■	■	■	■																		
Fase 5: Cotejo															■	■	■	■														
Fase 6: Metodologia ZOPP																	■	■	■	■												
Fase 7: Discusión de resultados																									■	■	■	■	■	■	■	■

Fuente: elaboración propia, realizado con Excel.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para realizar la presente investigación se necesitarán los siguientes recursos económicos:

Tabla IX. **Recursos**

Recurso		Costo
Materiales Consumibles	Q	50.00
Equipo y Materiales para Muestreo	Q	500.00
3 Analisis fisicoquimicos de laboratorio certificado	Q	1,500.00
Movilizacion	Q	500.00
Alimentacion y Hospedaje	Q	500.00
Asesor	Q	2,500.00
	Q	5,550.00

Fuente: elaboración propia.

La presente investigación se realizará con los recursos económicos propios del estudiante de maestría, teniendo en consideración la posible variabilidad del costo de los análisis de laboratorio.

13. REFERENCIAS

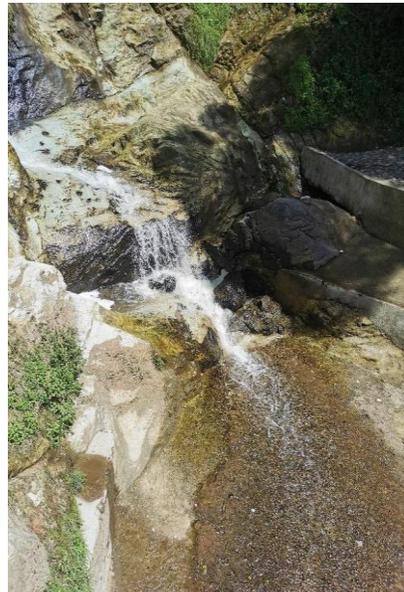
1. AMSCLAE (2018). *Priorización de Microcuencas*. Sololá: Autor.
2. Asociación Amigos del Lago de Atitlán (2004). *Educando para Conservar*. Guatemala: Cholsamaj.
3. Asociación Nacional de Empresarios de Colombia (1997). *Manual de caracterización de aguas residuales industriales*. Medellín: Ideas Gráficas Ltda.
4. Comisión Nacional del Agua (2000). *Planeación de Proyectos Orientada a Objetivos, Método ZOPP*. México: Autor.
5. Fernández, M (1989). *Planificación de Proyectos Orientado a Objetivos: el Método Zopp*. *Cuadernos de trabajo social 2*, 116-127. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/CUTS/article/view/CUTS8989110115A>
6. Figueroa, M. (2007). *Gestión de los Recursos Hídricos del Acuífero Valle de Aguascalientes, Ags., aplicando el método ZOPP (Tesis de maestría)*. Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F.
7. Gudiel, D. (2007). *Evaluación del efecto de la aireación artificial para mejorar la calidad del agua en el lago de Amatitlán (Tesis de licenciatura)*. Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.

8. Comisión Nacional de Microcuencas Proyecto Tacaná (2009). *Guía para la Elaboración de Planes de Manejo de Microcuencas*. Guatemala: Policolor.
9. Helming, S. & Göbel, M. (1998). Planificación de proyectos orientada a objetivos (ZOPP) Orientaciones para la planificación de proyectos y programas nuevos y en curso. Eschborn: Deutsche Gesellschaft.
10. Instituto Nacional de Estadística (2015). *Compendio Estadístico Ambiental de Guatemala*. Guatemala: Autor.
11. Mares, A. (21 de abril, 2020). Petróleo, crisis [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Petroleo-crisis-20200421-0016.html>
12. Martín, M. (s.f.). Estratificación de una masa de agua superficial [Mensaje en un blog]. Recuperado de <http://eimaformacion.com/estratificacion-de-una-masa-de-agua-superficial/>
13. Martínez, G. (2020). Lluvia de ideas: 19 técnicas y 4 ejercicios para empujar la creatividad [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.mediasource.mx/blog/lluvia-de-ideas-creativas>
14. Metcalf & Eddy, INC. (1995). Ingeniería de las aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Tomo I. (1era. ed.). Madrid: McGraw-Hill.
15. No. A. G. 236-2006, y su modificación Acuerdo Gubernativo No. 110-2016. Reglamento de las Descargas y reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Guatemala. 5 de mayo de 2006.

16. No. A.G. 58-2019, Reformas al A.G. 236-2019. Reglamento de las Descargas y Reúso de Aguas Residuales y de la Disposición de Lodos. Guatemala. 30 de abril de 2019
17. No. A.G. 12-2011, Reglamento de Descargas de Aguas Residuales en la Cuenca del lago de Atitlán. Guatemala. 17 de enero de 2011.
18. Perdomo, C., Casanova, O., & Ciganda, V. (2001). Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del Uruguay. *Agrociencia* No 1, 10-22. Recuperado de <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4239/1/AGROCIENCIA-UY-v.5.n.1.p.10-22-PERDOMO.pdf>.
19. Ramírez L. (2014). Evaluación de la ejecución del plan maestro de la reserva de uso múltiple, la cuenca del Lago de Atitlán período 2007-2011 (Tesis de licenciatura). Universidad San Carlos de Guatemala, Guatemala.
20. Ruiz-Cano, A., Axpuaca-Aspuac, E., Estrada-Palencia, E., Valladares-Jovel, B., Oliva-Hernández, B., Hernández-Hernández, E., & Pérez-Sabino, F. (2017). Metabolitos secundarios y cianotoxinas producidos por cianobacterias del lago de Atitlán. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*, 27(1), 8-20.
21. Sabino, F., Valladares, B., Hernández, E., Oliva, B., Del Cid, M., & Reyes, P. (2015). Determinación de arsénico y mercurio en agua superficial del lago de Atitlán. *Ciencia, Tecnología y Salud*, 2(2), 37-44.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Fotos de La catarata, sitio turístico transitorio en las vistas a Panajachel. Parte de la cuenca del Rio Cojolya



Fuente: [Fotografías de Carlos Izaguirre]. (La Catarata, Sololá, 2021). Colección particular. Guatemala.