



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS PARA
TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE
BAHÍA DE CARÁQUEZ**

AUTORES:

**DARWIN ALEJANDRO DUEÑAS OYANEDER
MICHAEL ADRIÁN ZAMBRANO GALLARDO**

TUTOR:

ING. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA, M.Sc.

CALCETA, OCTUBRE 2023

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

DARWIN ALEJANDRO DUEÑAS OYANEDER, con cédula de ciudadanía **1350539365** y **MICHAEL ADRIÁN ZAMBRANO GALLARDO**, con cédula de ciudadanía **1313899641**, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE SISTEMAS BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS PARA TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE BAHÍA DE CARÁQUEZ** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



DARWIN ALEJANDRO DUEÑAS OYANEDER
CC: 1350539365



MICHAEL ADRIÁN ZAMBRANO GALLARDO
CC: 1313899641

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

DARWIN ALEJANDRO DUEÑAS OYANEDER, con cédula de ciudadanía **1350539365** y **MICHAEL ADRIÁN ZAMBRANO GALLARDO**, con cédula de ciudadanía **1313899641**, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE SISTEMAS BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS PARA TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE BAHÍA DE CARÁQUEZ**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



DARWIN ALEJANDRO DUEÑAS OYANEDER
CC: 1350539365



MICHAEL ADRIÁN ZAMBRANO GALLARDO
CC: 1313899641

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA, M.Sc., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE SISTEMAS BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS PARA TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE BAHÍA DE CARÁQUEZ**, que ha sido desarrollado por **DARWIN ALEJANDRO DUEÑAS OYANEDER** y **MICHAEL ADRIÁN ZAMBRANO GALLARDO**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. CARLOS LUIS BANCHÓN BAJAÑA, M.Sc.

CC: 0918059189

TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del Tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **EVALUACIÓN DE SISTEMAS BIOLÓGICOS Y QUÍMICOS PARA TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE BAHÍA DE CARÁQUEZ**, que ha sido desarrollado por **DARWIN ALEJANRO DUEÑAS OYANEDER** y **MICHAEL ADRIÁN ZAMBRANO GALLARDO**, previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL**, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO, MG

CC: 1308632262

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ING. MARCOS JAVIER VERA VERA, MG

CC: 1313674481

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DR. C. EVER DARÍO MORALES AVENDAÑO

CC: 0959966342

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia que me motivó a seguir preparándome de manera profesional y en tener un futuro digno y honorable, destacando dentro de todos a mi madre, que me apoyo con amor, paciencia y sabiduría todo el trayecto de mi vida, la que me dio aliento a pesar de la distancia, y que, a su vez, creyó en mí. También a mi ángel que me cuida y protege desde el cielo, Mami Orfa, gracias por inculcarme valores y disciplina para nunca darme por vencido y ser un hombre de bien.

Agradezco a todos mis amigos que estuvieron ahí apoyándome, en especial a mi amiga Yamileth Sacón que me brindo su amistad sincera e incondicional.

Quiero agradecer a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí por brindarme un mar de conocimientos y experiencia para el fortalecimiento y desarrollo profesional y personal. Y por supuesto, agradezco a todos los docentes de la carrera de ingeniería ambiental, en especial al Ing. Joffre Candell y a mi tutor Ing. Carlos Banchón, quiero expresarles mi agradecimiento porque me demostraron su pasión en las ciencias del agua, sus valiosos conocimientos los cuales compartían dentro y fuera de sus aulas, les agradezco por demostrar que su pasión, se ha vuelto el mío; así mismo quiero dar mi entero agradecimiento al Ing. José Calderón por ser una de las personas que me ayudo en todo mi camino universitario aportando con conocimientos, consejos, amistad y sobre todo paciencia.

¡Gracias a todos de corazón!

DARWIN ALEJANDRO DUEÑAS OYANEDER

AGRADECIMIENTO

Primero que nada agradezco a Dios, que fue mi guía en este proceso, a mis padres Jhon Zambrano y Johana Gallardo por el amor recibido, la dedicación y la paciencia por la que cada día se preocupaban por mi avance y desarrollo de la tesis, es simplemente único y se refleja en la vida de un hijo.

Gracias por ser los principales motores de mis sueños, gracias por cada día confiar y creer en mí, en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme en todo este proceso, en los agotadores días donde sus palabras motivadoras y sus buenos deseos eran para mí muy valiosos y suficiente para seguir adelante.

Gracias Mamá y Papá por siempre anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida.

Gracias a mis padres que fueron mis mayores promotores durante este proceso.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, y a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

En este momento tan especial que espero, que perdure en el tiempo, en mi día a día y en la mente de las personas que les agradecí.

Les agradezco con todo mí ser.

MICHAEL ADRIÁN ZAMBRANO GALLARDO

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi madre Pamela Oyaneder que creyó en mí y a mi angelito en el cielo, mami Orfa que desde arriba me ve y ánima, gracias a ambas por su inquebrantable apoyo y amor incondicional a lo largo de este viaje académico. También quiero honrar a mis profesores, cuyas enseñanzas han iluminado mi camino hacia el conocimiento. A mis amigos, por su constante ánimo, ya todos aquellos que creen en la importancia de la investigación y la educación. Esta tesis es un tributo a todos ustedes.

DARWIN ALEJANDRO DUEÑAS OYANEDER

DEDICATORIA

A mi madre que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a seguir adelante en los momentos difíciles.

A mi padre que con carácter ha sido un pilar fundamental para motivar a seguir con mis proyectos.

También a mis abuelos, mis tíos que con sus grandes consejos me dieron un motor incondicional a seguir con este gran proyecto.

MICHAEL ADRIÁN ZAMBRANO GALLARDO

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	viii
DEDICATORIA	ix
CONTENIDO GENERAL	x
CONTENIDO DE TABLAS	xiv
CONTENIDO DE FIGURAS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4. HIPÓTESIS.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. CONTAMINACIÓN	5
2.1.1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL	5
2.1.2. EFECTO INVERNADERO	6
2.2. CONTAMINACIÓN DE AGUA	6
2.2.1. PRINCIPALES CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA....	6
2.2.2. CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.....	7
2.2.3. AGUAS RESIDUALES	7
2.3. TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AGUA.....	8
2.3.1. AGUAS GRISES	8
2.3.2. AGUAS NEGRAS.....	8
2.3.3. INDUSTRIAL	9

2.3.3.1.	LUBRICADORAS	9
2.3.3.2.	CAMARONERAS	10
2.3.3.3.	CAMAL	10
2.3.3.4.	AGRICULTURA.....	10
2.4.	CONSECUENCIAS POR INGERIR AGUAS CONTAMINADAS	11
2.4.1.	ENFERMEDADES	11
2.4.1.1.	CÓLERA.....	11
2.4.1.2.	ENFERMEDADES DIARREICAS	12
2.4.1.3.	HEPATITIS A	12
2.4.1.4.	FIEBRE TIFOIDEA.....	13
2.5.	LAGUNA DE OXIDACIÓN.....	13
2.5.1.	LAGUNA ANAEROBIA.....	14
2.5.2.	LAGUNA AERÓBICA O DE MADURACIÓN.....	14
2.5.3.	LAGUNA MIXTA.....	14
2.6.	CALIDAD DEL AGUA	14
2.6.1.	PARÁMETROS DEL AGUA.....	15
2.6.1.1.	DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).....	15
2.6.1.2.	POTENCIAL DE HIDRÓGENO.....	15
2.6.1.3.	COLIFORMES TOTALES	16
2.6.1.4.	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	16
2.6.1.5.	SÓLIDOS TOTALES	16
2.6.1.6.	SÓLIDOS SUSPENDIDOS	17
2.6.1.7.	TURBIEDAD.....	17
2.6.1.8.	COLOR.....	17
2.7.	TRATAMIENTO DEL AGUA.....	18
2.7.1.	TRATAMIENTO PRIMARIO.....	18
2.7.2.	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	18
2.7.3.	TRATAMIENTO TERCIARIO	19
2.8.	TRATAMIENTO BIOLÓGICO.....	19
2.9.	TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO	19
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO		20
3.1.	UBICACIÓN	20
3.2.	DURACIÓN.....	20
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	21

3.4.	MÉTODOS.....	21
3.4.1.	MÉTODO BIBLIOGRÁFICO.....	21
3.4.2.	MÉTODO DEDUCTIVO	21
3.4.3.	MÉTODO CUANTITATIVO	21
3.5.	TÉCNICAS.....	22
3.5.1.	OBSERVACIÓN DIRECTA	22
3.5.2.	ANÁLISIS DE LABORATORIO	22
3.6.	VARIABLES A MEDIR.....	22
3.6.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	22
3.6.2.	VARIABLE DEPENDIENTE	22
3.7.	DISEÑO EXPERIMENTAL	22
3.8.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	23
3.9.	MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	24
3.9.1.	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO Y QUÍMICO PARA LA PURIFICACIÓN PROVENIENTE DEL AFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES	24
3.9.2.	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS MEDIANTE LA PRUEBA DE JARRAS COMO VERIFICACIÓN DE SU EFECTIVIDAD	26
3.9.3.	PROPUESTA DE UN PLAN DE MITIGACIÓN PARA LOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES IDENTIFICADOS EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE BAHÍA DE CARÁQUEZ.....	27
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		29
4.1.	RESULTADOS.....	29
4.1.1.	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO Y QUÍMICO PARA LA PURIFICACIÓN PROVENIENTE DEL AFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES	29
4.1.2.	DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS MEDIANTE LA PRUEBA DE JARRAS COMO VERIFICACIÓN DE SU EFECTIVIDAD	32
❖	TURBIDEZ.....	32
❖	POTENCIAL DE HIDRÓGENO	34
❖	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	36
❖	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	37
❖	COLOR.....	38
❖	TURBIDEZ.....	42
❖	COLOR.....	44

❖	SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	44
❖	POTENCIAL DE HIDRÓGENO	46
4.1.3.	PROPUESTA DE UN PLAN DE MITIGACIÓN PARA LOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES IDENTIFICADOS EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE BAHÍA DE CARÁQUEZ	47
4.2.	DISCUSIONES	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		61
5.1.	CONCLUSIONES	61
5.2.	RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA		62
ANEXOS		76

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 3.1. Diseño Factorial Completamente al Azar para el Tratamiento Químico	23
Tabla 3.2. Diseño Factorial Completamente al Azar para el Tratamiento Biológico	23
Tabla 4.1. Lagunas de oxidación de Bahía de Caráquez.....	27
Tabla 4.2. Dosis de coagulante a adicionar.....	29
Tabla 4.3. Dosis de floculante a adicionar.....	29
Tabla 4.3. Factores socioambientales afectados por la fase operativa de la laguna de oxidación..	49

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 2.1. Laguna de oxidación.....	13
Figura 3.1. Mapa de georreferenciación de la Laguna de Estabilización.....	19
Figura 4.2. Turbidez	34
Figura 4.3. Potencial de hidrógeno.....	35
Figura 4.4. Sólidos totales disueltos (TDS)	36
Figura 4.5. Conductividad eléctrica	37
Figura 4.6. Color.....	38
Figura 4.7. Optimización: Turbidez Vs % remoción de turbidez.....	39
Figura 4.8. Optimización: potencial de hidrógeno	40
Figura 4.9. Optimización: Sólidos totales disueltos	41
Figura 4.10. Optimización: Color	42
Figura 4.11. Turbidez.....	43
Figura 4.12. Color	44
Figura 4.13. Sólidos totales disueltos.....	46
Figura 4.14. Potencial de Hidrógeno.....	47

RESUMEN

Actualmente, la contaminación de afluentes en las lagunas de oxidación es uno de los principales problemas ambientales. Por ello, se requiere la aplicación de sistemas de tratamientos que brinden solución ante esta problemática. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar los sistemas biológicos y químicos para el tratamiento de afluentes de las aguas residuales provenientes de la ciudad de Bahía de Caráquez, Manabí, Ecuador. Para el desarrollo del trabajo, se aplicó un diseño factorial 2^2 , con 4 tratamientos y 4 repeticiones. Se emplearon coagulantes y floculantes de sulfato de aluminio comercial aplicando el test de jarras. Se caracterizó el agua residual y el agua tratada teniendo en cuenta parámetros como, pH, color, CE, TDS, ST y turbidez, dichos valores fueron constatados con la tabla 10 del anexo 1 del Libro VI del TULSMA. Los resultados obtenidos demuestran que la aplicación de sustancias químicas y biológicas son favorables en los tratamientos con y sin cal. Se comprobaron buenas eficiencias de remoción en los parámetros evaluados: turbidez siendo el T7 mejor tratamiento con 97,3% de remoción; pH obtuvo valores de 5 y 7 en los T8 y T9; SDT alcanzó 1320 mg/l en el T2 y el color presentó 150 unidades de color en el T2. Se determinó que el pH del agua residual se encuentra dentro de los límites permisibles del TULSMA. Finalmente, se elaboró una propuesta de un plan de mitigación para los impactos socioambientales identificados en la laguna de oxidación.

Palabras clave: coagulantes, floculantes, remoción, tratamientos

ABSTRACT

Currently, contamination of tributaries in oxidation lagoons is one of the main environmental problems. Therefore, the application of treatment systems that provide a solution to this problem is required. The objective of this research was to evaluate the biological and chemical systems for the treatment of wastewater tributaries from Bahía de Caráquez city, Manabí, Ecuador. For the development of the work, a 22 factorial design was applied, with 4 treatments and 4 repetitions. Commercial aluminum sulfate coagulants and flocculants were used applying the jar test. The wastewater and the treated water were characterized taking into account parameters such as pH, color, EC, TDS, ST and turbidity. These values were verified with table 10 of annex 1 of Book VI of the TULSMA. The results obtained demonstrate that the application of chemical and biological substances are favorable in treatments with and without lime. Good removal efficiencies were verified in the parameters evaluated: turbidity, T7 being the best treatment with 97.3% removal; pH obtained values of 5 and 7 in T8 and T9; SDT reached 1320 mg/l in T2 and the color presented 150 color units in T2. It was determined that the pH of the wastewater is within the permissible limits of the TULSMA. Finally, a proposal for a mitigation plan was prepared for the socio-environmental impacts identified in the oxidation lagoon.

Keywords: coagulants, flocculants, removal, treatments.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, un 80% de aguas residuales no depuradas son descargadas a cuencas superficiales cuya composición contiene contaminantes de origen fecal, sustancias orgánicas, pesticidas e incluso metales muy tóxicos que deterioran la composición natural del agua, de forma que no puede llegar a reunir las condiciones para el uso que se le hubiera destinado en su estado natural; más de 3 millones de personas fallecen por enfermedades relacionadas a la ingesta de estas aguas, por ello, tiene una afectación directa a la salud humana debido al inadecuado e insuficiente tratamiento (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2017; Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2016; Ocha, 2016; Larios Meoño et al., 2015; Walker et al., 2019).

Rodríguez (2017) argumenta que, en China, más del 80% de sus aguas superficiales están tan deteriorados, que ya no son aptas para usos domésticos o potables; en Estados Unidos, 2 de cada 5 ríos, incluyendo los más grandes, tienen tanta contaminación, que las autoridades ambientales han comunicado a los habitantes que no pueden bañarse e incluso está prohibido la pesca en ellos, Por otro lado, Thomas (2021) menciona que una gran cantidad de carga fecal está contaminando el Océano Índico, frente a Dar-es-Salaam (Tanzania, África), mientras que, la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2022) hace referencia que en países bajos y medianos más de 800000 personas mueren cada año como consecuencia de la insalubridad del agua.

Las enfermedades diarreicas son un problema importante de salud pública, siendo la segunda causa de muerte en niños menores de cinco años, aproximadamente 12.000 niños que están entre los 5 años o menos, murieron a causa de la diarrea en América Latina y el Caribe (Academy of Nutrition and Dietetics, 2016).

En Ecuador, solamente el 13,4% del sector rural tiene acceso de saneamiento básico (Fondos de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2020); es así que de los 215 municipios que existen solo 133 GAD aplican un tratamiento a sus aguas residuales (Peña et al., 2017). A nivel regional, la sierra cuenta con 49,88% de PTAR, por su parte, la región costera posee 30,64%, la región amazónica 19% y la región insular 0,48% de plantas de tratamientos de agua (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2016). Velasco (2017) manifiesta que las zonas costeras cuentan con una mayor cantidad de lagunas de estabilización, siendo los municipios de Portoviejo, Santa Ana, Chone y Manta los que poseen mejores tratamientos.

De acuerdo con el Gobierno Autónomo Descentralizado [GAD] de Sucre (2015), la ciudad de Bahía de Caráquez cuenta con una laguna de oxidación que provee servicio a 26.112 habitantes; en dicha laguna, se busca un tratamiento eficiente para la purificación de estas aguas residuales. Un estudio realizado por Arnáiz et al. (2020) afirman que los tratamientos biológicos tienen mayor eficiencia con un presupuesto económico, logrando remover totalmente los contaminantes emergentes del agua, convirtiéndolas en sustancias inocuas. Por otro lado, Camareno y Esquivel (2006) sostienen que los tratamientos químicos como es el tratamiento de coagulación-floculación pueden remover partículas coloidales y suspendidas de un 80% a 90% de efectividad.

Ante los argumentos expuestos los autores se plantean la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué tipo de tratamiento biológico o químico será el más efectivo para aguas residuales de la ciudad de Bahía de Caráquez para que se cumpla la norma TULSMA, Anexo 1, Tabla 10 “LÍMITE DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA”?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Desde el ámbito legal, la Constitución de la República del Ecuador en su artículo 264 apartado 4 manifiesta que los municipios, dentro de su ámbito de actuación y a través de las entidades prestadoras de los servicios de agua potable y alcantarillado de carácter público o encomendados al sector privado, son responsables de hacer frente a la contaminación de las aguas por abastecimiento, uso y su deterioro de la calidad del agua, es por ello, que a los problemas causados, se deberá implementar un plan de descarga de interceptación y tratamiento de la contaminación correspondiente, determinando de fortalecer el control de las aguas gravemente contaminadas (Febles y Hoogesteijn, 2018).

Desde una perspectiva ambiental, los recursos naturales se ven directamente afectados por actividades antropogénicas, en especial fuentes hídricas que son contaminadas por el hombre; por esta razón que, el sexto objetivo de la Agenda 2030 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015) propone brindar fuentes de agua limpia y de libre acceso, es por ello que, un estudio hecho por Martínez et al. (2020) manifiestan que los países desarrollados y en desarrollo tienen el tipo de tecnología de tratamiento de aguas residuales, en el caso de Latinoamérica respecto la implementación de tal servicio de saneamiento para reutilización de aguas es un reto en la actualidad.

Desde lo social, toda persona tiene la potestad de gozar un ambiente óptimo y seguro, pues es, un recurso fundamental para la actividad diaria como para la salud pública de acuerdo con Ángel et al. (2019) da por dicho que el crecimiento rápido a aumentado la demanda de recursos hídricos, dando como principal objetivo ha sido plantearse un saneamiento de las aguas degradadas, donde su enfoque primordial sea la sostenibilidad de las aguas residuales, que incite a mejorar la eficiencia del uso del agua en diversos sectores.

En virtud de lo anteriormente expuesto, este trabajo justifica su relevancia al presentar opciones de tratamiento para abordar eficazmente el problema de un sistema de tratamiento óptimo y sostenible para las aguas, contribuyendo así al

cumplimiento de los objetivos legales, ambientales y sociales en este importante ámbito.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar sistemas biológicos y químicos para el tratamiento de afluentes de las aguas residuales provenientes de la ciudad de Bahía de Caráquez.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las condiciones de operación del tratamiento biológico y químico para la purificación proveniente del afluente de las aguas residuales.
- Determinar la calidad del agua residual antes y después de los tratamientos aplicados mediante la prueba de jarras como verificación de su efectividad.
- Proponer un plan para mitigación para impactos socioambiental identificados en la laguna de oxidación de la ciudad de Bahía de Caráquez.

1.4. HIPÓTESIS

H0: Todos los tratamientos biológicos y químicos aplicados al afluente de las aguas residuales logran cumplir con los parámetros establecidos del libro TULSMA, Anexo 1, Tabla 10 “LIMITE DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA”.

H1: Uno de los tratamientos biológicos y químicos aplicados al afluente de las aguas residuales logran cumplir con los parámetros establecidos del libro TULSMA, Anexo 1, Tabla 10 “LIMITE DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA”.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. CONTAMINACIÓN

De acuerdo con Ortega (2018), la contaminación es definida como aquel recurso o sustancias que comúnmente no deberían estar en el ambiente y que están afectando la estabilidad del ecosistema. Los agentes contaminantes tienen la posibilidad de ser físicos, químicos o biológicos y contaminan medios como el agua, el suelo o el viento, una vez que se muestran en concentraciones bastante altas, dichos compuestos alteran las condiciones de los organismos que habitan en ellos, generando inconvenientes de salud o de estabilidad, malestar e inclusive el deceso (Vargas, 2018).

2.1.1. CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

Una de las primordiales secuelas de la contaminación ambiental es el cambio climático, conocido como calentamiento global, como consecuencia la temperatura del mundo va incrementando de forma progresiva, tanto la temperatura atmosférica como la de océanos y mares (Montoya et al., 2019). La contaminación ambiental implica un peligro para la salud de los organismos vivos que habitan los ecosistemas contaminados, incluyendo a los seres vivos, además, la tala indiscriminada, la explotación desmesurada de los recursos naturales y la emisión de contaminantes al medio ambiente gases a la atmósfera, vertidos en medios acuáticos, residuos rígidos, causa la devastación de ecosistemas (Jiménez, 2020).

Así, muchas especies de animales y plantas ven cómo su hábitat natural se va disminuyendo cada vez más, logrando llegar a ocasionar inclusive su extinción (Atomayo, 2018). Leonor (2020) señala que los humanos no somos los únicos seres que generamos contaminación, varias algas que crecen en los embalses o represas liberan toxinas que contaminan el agua, del mismo modo.

2.1.2. EFECTO INVERNADERO

El impacto invernadero es un fenómeno natural gracias al cual la radiación solar traspasa la capa defensora de la Tierra y la captura a modo de calor, esta capa la conocemos como atmósfera y debido a ella una sección de la energía solar que entra al mundo queda en la Tierra, brindando la temperatura correcta para el desarrollo de la vida de todos los organismos que la habitamos (López, 2021).

De acuerdo con Rolof (2021), el problema ha surgido una vez que, fruto de la actividad humana y del incremento industrial y social, la proporción de gases en la atmósfera con características para ocasionar este impacto invernadero ha incrementado desproporcionadamente y en tiempos bastante cortos, al incrementar la cantidad de gases de impacto invernadero por arriba de las concentraciones habituales, el impacto invernadero natural terrestre se ha multiplicado, dando sitio a un fenómeno dañino.

2.2. CONTAMINACIÓN DE AGUA

Existen más de 70 mil sustancias conocidas como contaminantes cuyo vertido en océanos y mares suponen una de las primordiales razones de contaminación en el agua, esto implica situar en riesgo un recurso bastantepreciado para la vida en el mundo no solo de los individuos, sino además de una cantidad enorme de especies que viven en él (Willians, 2020).

2.2.1. PRINCIPALES CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Hall (2019) expone las principales causas de la contaminación del agua:

- **Vertido de contaminantes en el agua:** proceden de la producción industrial o de los desechos de basuras que se genera en el día a día, uno de los desafíos a los que en la actualidad se enfrenta el planeta es la contaminación por microplásticos.

- **El cambio climático:** altera la estabilidad de los mares, es decir, la pérdida de oxígeno en el agua que pone en riesgo la realidad de la diversidad biológica.
- **La deforestación:** es otra de las principales razones de la contaminación en el agua. Uno de los efectos más dañinos de la tala de árboles es la aparición de sedimentos que poseen como objetivo el agua de los mares y ríos ocasionando que su calidad sea nociva para el mundo.
- **Aguas fecales:** La Organización de Naciones Unidas alertó de que más del 80% de las aguas residuales llegan a océanos, mares y permanecen sin depurar.
- **Tráfico marítimo:** la mayor parte de los residuos que se lanzan al océano proceden de barcos pesqueros o petroleros que ocasionan una contaminación bastante perjudicial del agua.
- **Derrames de combustibles:** suponen una de las razones más frecuentes de contaminación en el agua, además, el transporte y almacenamiento de petróleo puede ocasionar filtraciones que acaban en el océano.

2.2.2. CONSECUENCIAS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

Frankland (2020) menciona que varias de las secuelas más relevantes de los diversos tipos de contaminación en el agua son: la devastación de la diversidad biológica, la contaminación de la cadena alimentaria que implica la transmisión tóxica a los alimentos y la escasez del agua potable.

Las reservas de agua subterránea abastecen al 80% de los habitantes del mundo, el 4% de las reservas han sido contaminadas, de todos los tipos de contaminación del agua, los principales siguen siendo similares a la actividad industrial después de la Segunda Guerra Mundial, por ejemplo, cada año se vierten en el océano más de 450 kilómetros cúbicos de aguas residuales, para diluir esta contaminación, se utilizaron 6.000 kilómetros cúbicos adicionales de agua dulce (Jack, 2018).

2.2.3. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son aguas con impurezas que proceden de vertidos de diferentes orígenes, domésticos e industriales, primordialmente, así las aguas

residuales tienen la posibilidad de contener recursos contaminantes originados en desperdicios urbanos o industriales; las aguas residuales urbanas principalmente se conducen por sistemas de alcantarillado y tratadas en plantas de purificación de aguas residuales para su depuración previo a su vertido, aunque no constantemente es de esta forma en todos las naciones (Brown, 2020).

2.3. TIPOS DE CONTAMINANTES DEL AGUA

La contaminación de agua puede darse por diversas actividades entre ellas, las descargas de efluentes directos, por ejemplos: aguas provenientes de las lubricadoras, textiles, destiladoras, ganado, entre otras (Días, 2017). Las aguas residuales domésticas son producto de la implementación del líquido en las diversas ocupaciones de un hogar, las cuales generan un grado de contaminación al agua que puede expresar la existencia de firmes, desperdicios orgánicos, detergentes, jabones y grasas, lo cual rigurosa de un proceso para su supresión (Jacuzzni, 2022).

A continuación, se exponen los principales contaminantes del agua:

2.3.1. AGUAS GRISES

Tienen que su nombre a su aspecto turbio y su condición de estar entre el agua dulce y potable y aguas residuales, son un recurso que, una vez reutilizadas, puede suplir el agua de consumo humano en ciertos usos habituales, las aguas grises o aguas utilizadas es el concepto usado para el agua que nace del uso de la casa, principalmente se descomponen más deprisa que las aguas negras y poseen mucho menos nitrógeno y fósforo y permanecen compuestas por materia orgánica e inorgánica y microorganismos (Zarza, 2019)

2.3.2. AGUAS NEGRAS

Las aguas negras o comúnmente conocidas como aguas residuales son provenientes de fuentes domésticas, industriales o institucionales luego de la

participación humana, que altera su estructura natural gracias a los desperdicios orgánicos y químicos, mismas que son arrastradas por la red de alcantarillado, excluyendo así la escorrentía no recolectada de los asentamientos urbanos y sistemas agrícolas (Math, 2020).

2.3.3. INDUSTRIAL

Según Britania (2021), el sector industrial está constituido por un grupo de productores que fabrican o suministran bienes, servicios o fuentes de ingresos, volviéndose el principal sector de ingresos económicos, donde se incluye la agricultura, la pesca, extracción de minerales, canteras, etc. El proceso de producción para la elaboración de un producto por parte de las industrias conlleva el consumo en recursos hídricos, esto a su vez, descargan altas cantidades de aguas residuales llevando consigo cargas contaminantes (Sánchez et al., 2001).

Las actividades industriales producen todo tipo de productos físicos (automóviles, equipos y productos químicos para el sector agrícola, textiles, etc.) facilitando y satisfaciendo las necesidades humanas; sin embargo, conlleva la alteración del ambiente, pérdidas de espacios en el hábitat de especies, dañando la calidad de suelos, agua y aire (Fischedick et al., 2014).

2.3.3.1. LUBRICADORAS

Un incremento en el vertido incontrolado de aceite usado automotriz en dichos centros ocasionando la muerte de plantas y causando malestar en la salud del ser humano y de las personas que residen cerca de estos establecimientos; de tal forma que, produce que el aceite se concentre demasiado en la superficie de estos ríos formando una capa impenetrable de oxígeno que causa la muerte de seres vivos que habitan en el medio, provocando diversos efectos que ocasiona el verter el aceite usado automotriz en el agua, ya sea de forma directa en ríos o por medio de vías de alcantarillado. (Gutiérrez, 2014).

2.3.3.2. CAMARONERAS

De acuerdo con Leung y Engle (2008) la cría y producción de camarones ha alcanzado un rol relevante en la producción de marisco en el aspecto global, siendo la exportación de camarón o productos derivados representantes de una cuarta parte del total de exportaciones de mariscos y pescados a nivel mundial. Por ello, se obtiene una rápida degradación de la calidad del agua y suelo y expansión no controlada de enfermedades animales y humanas (Asche et al., 2021).

2.3.3.3. CAMAL

Según la Real Academia Española [RAE] (2019), un camal es un espacio donde se da la acción de matar, sacrificar y desollar animales terrestres que son destinados para el abastecimiento y venta de la carne al sector público; No obstante, las aguas residuales generadas en los mataderos poseen una elevada carga contaminante, teniendo además de un alto contenido en materia orgánica, un porcentaje importante de grasas que hacen que sean difíciles de tratar, es por ello que, constituyen por tanto un problema para este tipo de industrias; las aguas residuales del sacrificio y tratamiento de vísceras presentan cargas orgánicas elevadas, mayor turbidez y color, en tanto que las aguas residuales de lavado tienen una menor carga pero son de mayor caudal, con elevados niveles de cloruros y desinfectantes (FAO, 2002).

2.3.3.4. AGRICULTURA

Algunas actividades agrícolas dependientes de altos insumos pueden contribuir de forma significativa a la contaminación del agua potable, debido a las cantidades de fertilizantes y plaguicidas aplicados anualmente; en el caso de la utilización de fertilizantes, frecuentemente hay un volumen de nitrógeno residual no asimilado por las plantas y que por lixiviación se conduce hasta la zona de saturación de agua, donde se acumula en forma de nitratos (National Geographic, 2022).

La agricultura, en cuanto mayor usuario del agua dulce a escala mundial y principal factor de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos como consecuencia de la erosión y de la escorrentía química; en la actualidad, la acuicultura es también un importante problema en los medios de agua dulce, estuarios y costas, lo que ha dado lugar a eutrofización y daños en los ecosistemas (FAO, 2001).

2.4. CONSECUENCIAS POR INGERIR AGUAS CONTAMINADAS

El agua contaminada y el saneamiento deficiente se han relacionado con la propagación de enfermedades como el cólera, otras diarreas, disentería, hepatitis A, fiebre tifoidea y poliomielitis, sin servicios de agua y saneamiento, o si estos servicios son inadecuados o están mal administrados, las personas enfrentan riesgos de salud prevenibles (Peroni, 2020); Cabe mencionar que, la presencia de metales que son nocivos para la salud humana, produciendo enfermedades crónicas en infantes (Benítez, E. M. L., Verdecia, G. M., y Castell, M. A. P., 2021.)

Para la salud además podría ser determinante la existencia natural de productos químicos, como el arsénico y el fluoruro, especialmente en aguas subterráneas, además, en el agua para consumo humano tienen la posibilidad de aparecer otros productos químicos, como el plomo, en porciones altas como consecuencia de la lixiviación de elementos involucrados con el abasto de agua, se calcula que unas 829.000 personas fallecen todos los años de diarrea como resultado de la insalubridad del agua, de un saneamiento insuficiente o de una mala limpieza de manos, siendo que la diarrea es extensamente prevenible y el deceso de unos 297.00 chicos menores de 5 años podría prevenirse todos los años si se abordararán dichos componentes de peligro (Job, 2021).

2.4.1. ENFERMEDADES

2.4.1.1. CÓLERA

El cólera es una patología radicalmente virulenta que puede provocar una grave diarrea acuosa aguda (Lugones et al., 2018). La aparición de los indicios tras la

ingestión de alimentos o agua contaminados puede tardar entre 12 horas y 5 días, el cólera perjudica a chicos y adultos y podría ser letal en tan solo horas si no se trata, la mayor parte de los individuos infectados por *V. cholerae* no muestran indicios; no obstante, la bacteria está presente en sus heces a lo largo de los 1 a 10 días siguientes a la infección y vuelve al medio ambiente, con el consiguiente peligro de infección de otras personas (Litin, 2022).

Euvi (2021) indica que el cólera todavía es una amenaza mundial para la salud pública y un indicador de inequidad y falta de desarrollo social, los estudiosos calculan que todos los años hay en el planeta alrededor de entre 1,3 y 4 millones de casos de cólera, y entre 21 000 y 143 000 defunciones por este motivo.

2.4.1.2. ENFERMEDADES DIARREICAS

La diarrea se define como tres o más deposiciones por día o, para un individuo, deposiciones blandas o líquidas con más frecuencia de lo normal, depósitos repetidos de heces de consistencia sólida no son diarrea, ni son heces sueltas y blandas en bebés amamantados, la diarrea es a menudo un síntoma de una infección gastrointestinal, que puede ser causada por diferentes organismos bacterianos, virus y parásitos, la infección se transmite a través de alimentos o agua potable contaminados, o de una persona a otra debido a una mala limpieza (Nower, 2020).

Barek (2018) realizó un estudio donde la diarrea es más frecuente en verano, ya que el clima favorece la propagación de las bacterias causantes de la diarrea y las altas temperaturas aumentan el riesgo de deshidratación, por eso es importante acudir al médico en lugar de auto medicarse en caso de diarrea, que puede ser síntoma de una enfermedad como el cólera.

2.4.1.3. HEPATITIS A

La hepatitis A es una infección del hígado altamente contagiosa causada por el virus de la hepatitis A, es uno de varios virus de la hepatitis que causan inflamación

y afectan la función del hígado, más probable que lo contraiga al ingerir alimentos o agua contaminados, o a través del contacto directo, la hepatitis A infección concomitante u objeto, hepatitis A leve no requiere tratamiento (Matike, 2020).

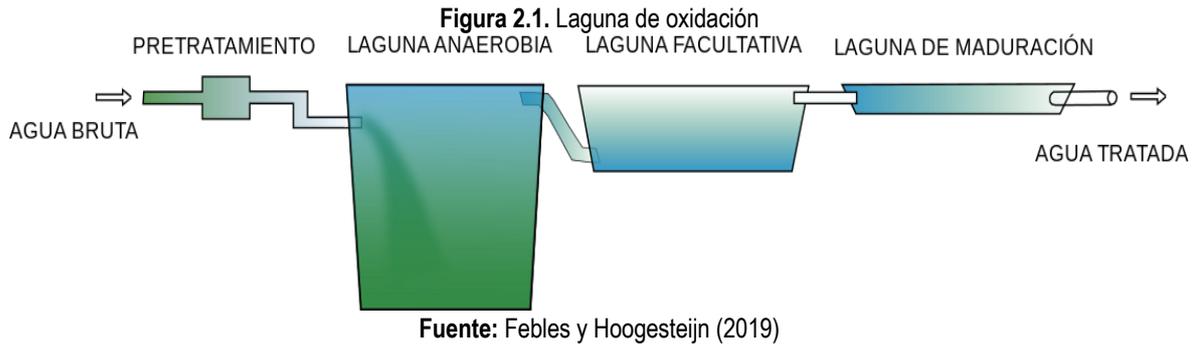
Cornell (2021) sostiene que la hepatitis A es la causa más común de hepatitis viral aguda, es especialmente común en niños y adultos jóvenes, la hepatitis A no se vuelve crónica, es decir, la infección no dura más de 6 meses, cuando una persona se expone al virus de la hepatitis A, su sistema inmunitario produce anticuerpos que la protegen de volver a contraer la hepatitis A.

2.4.1.4. FIEBRE TIFOIDEA

La Organización Mundial de la Salud [OMS] (2018) ha estudiado la fiebre tifoidea y señala que es una patología infecciosa potencialmente mortal causada por la bacteria *Salmonella typhi*, que suele transmitirse por agua o alimentos contaminados, una vez ingerida, S.Poliomielitis. La fiebre tifoidea puede aparecer de repente o de manera gradual durante escasas semanas, esta patología suele provocar fiebre alta, dolor de estómago y molestias corporales entre una y dos semanas luego de haber estado expuesto a la bacteria, si la infección no se trata, el perjudicado puede perder peso, desarrollar un abdomen hinchado o distendido o una erupción roja y jaspeada en la parte baja del pecho y alta del abdomen (Dowshen, 2018).

2.5. LAGUNA DE OXIDACIÓN

Para Febles y Hoogesteijn (2019) una laguna de oxidación es un proceso abierto en donde el agua pasa por medio de una cuenca, construida en especial para purificación de las aguas residuales y residuos industriales biodegradables por procesos naturales que involucran bacterias y algas. Por otro lado, Toscano (2019) que las lagunas de oxidación se han empleado para intentar aguas residuales ya hace 3,000 años, que el primer tanque de estabilización artificial que se construyó ha sido en San Antonio, Texas, en 1901.



2.5.1. LAGUNA ANAEROBIA

Las lagunas anaerobias son aquellas que reciben y degradan mayor proporción de materia orgánica por acción de bacterias anaeróbicas, sin la existencia de oxígeno disuelto en el agua, el proceso de transformación de la materia puede producir olores (Crombet et al., 2020).

2.5.2. LAGUNA AERÓBICA O DE MADURACIÓN

La descomposición de la materia orgánica ocurre en un ambiente aeróbico y el oxígeno disuelto facilita el desarrollo y reproducción de algas y bacterias requeridas para el proceso, por lo tanto, el líquido de esta laguna es verde e inodoro (González et al., 2021).

2.5.3. LAGUNA MIXTA

En estas lagunas se encuentran los dos procesos aeróbico y anaeróbico, con la zona aeróbica superior cubriendo la zona anaeróbica inferior, y la capa intermedia con organismos facultativos adaptados a ambas condiciones, observándose abundante producción de oxígeno en su superficie (Farina, 2018).

2.6. CALIDAD DEL AGUA

El agua es un recurso natural que se encuentra en parte del planeta, siendo el elemento más abundante e importante; también, es el medio básico donde suceden los procesos y ciclos de la vida, por ello, el incremento exponencial de la población

a nivel global, lo vuelve un recurso limitado debido a la demanda creciente de su uso por las actividades antropogénicas. Existen factores externos que deterioran la composición natural del cuerpo hídrico, convirtiendo su consumo tóxico para el bienestar y salud humana, y de otras especies (Ponce et al., 2019).

La calidad de agua puede considerarse como parámetros de susceptibilidad para determinados usos en donde este se ve implicando sus características físicas, químicas y biológicas (United States Geological Survey [USGS], 2018). No obstante, se aplican normas de calidad del agua, con el propósito de disminuir o evitar alteraciones que deterioren las características físicas-químicas del agua, estas normas son de disposiciones territorial, tribal autorizado o federal, protegiendo medios acuáticos, y garantizando un ecosistema ecológicamente equilibrado (Environmental Protection Agency [EPA], 2022).

2.6.1. PARÁMETROS DEL AGUA

2.6.1.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

La Demanda Bioquímica del Oxígeno (DBO) es el valor final o total del oxígeno que se utilizó en el consumo bacteriana durante un periodo de cinco días de biodegradación; siendo una forma de medir la cantidad de oxígeno que se requiere para la degradación de la carga orgánica presente en el agua, acción causada por la actividad de bacterias aerobias (Lecca y Lizama, 2014).

2.6.1.2. POTENCIAL DE HIDRÓGENO

El pH es una característica física de una solución, puesto que sirve para medir la acidez como la alcalinidad presente de dicha solución; cabe recalcar que no es una magnitud doble, por lo que, no puede tener características ácidas o alcalinas al mismo tiempo, ya que son dos conceptos contrarios (Abantangelo, 2019). Existen factores que pueden influir directamente el pH, y uno de estos es el CO₂, pudiendo alterar las propiedades del agua, es decir, si el dióxido de carbono baja, el pH aumenta (Paucar, 2021).

2.6.1.3. COLIFORMES TOTALES

De acuerdo con Miao et al. (2018) en la actualidad, el recuento de coliformes totales realizado por el número más probable (NMP) es el indicador de potabilidad; los indicadores bacterianos se utilizan actualmente en la mayoría de los países del mundo para evaluar la contaminación fecal o por patógenos en las aguas superficiales.

El grado de remoción de microorganismos patógenos se evalúa mediante la presencia de coliformes fecales, debido a que estos microorganismos son indicadores de la calidad sanitaria del agua, es decir, la detección de coliformes fecales en agua indica, con alta probabilidad, la presencia de patógenos entéricos; es mediante el contenido de coliformes fecales como se evalúa la eficiencia de un tratamiento de aguas residuales en la remoción de microorganismos patógenos y, también, se detecta la contaminación de aguas naturales con aguas residuales domésticas Morillo (Semanate et al., 2019).

2.6.1.4. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad eléctrica es un parámetro para determinar la corriente eléctrica que puede pasar a través del agua, depende de la presencia de iones y de la concentración relativa, movilidad y valencia, así como también de la temperatura de la medición (Zhan et al., 2015). De acuerdo con Chacón y Ramos (2019) a medida que la conductividad eléctrica aumenta existe una mayor presencia de sólidos disueltos total en el agua.

2.6.1.5. SÓLIDOS TOTALES

Los sólidos totales que se encuentren en grandes cantidades en el agua, son una sustancia desagradable, causando problemas en la salud de las personas que no suelen beber de estas aguas, esto a su vez, afecta la claridad e impide la captación de luz solar en las plantas acuáticas, dificultando el proceso de la fotosíntesis; otro problema, es que, provoca el aumento de la temperatura del agua, perjudicando los

organismos acuáticos que se han acoplado a un régimen de temperaturas bajas (Atencia, 2021).

2.6.1.6. SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Por su parte Schumann y Brinker (2020) indican que los sólidos suspendidos son todo tamaño menor a una micra, excluyendo a los sólidos coloidales, por lo general, estas fuentes de partículas suspendidas se hallan principalmente en operaciones acuícolas, estos tienden a presentar distintos tamaños. Por esto, tener en cuenta la concentración del material suspendido presentes en el agua proporciona información relacionada a la calidad y transparencia del cuerpo de agua (Shahzad, et al., 2018).

2.6.1.7. TURBIEDAD

La turbiedad del agua hace referencia a la presencia de materias en suspensión; en aguas residuales es el parámetro que indica la calidad del agua con referencia a la materia coloidal y residual en suspensión (Cedeño, 2020). La turbidez es medida en NTU (unidad nefelométrica de turbidez), mediante este parámetro se puede identificar la calidad de aguas residuales o naturales (Ortiz, 2011).

2.6.1.8. COLOR

El color causado por materia en suspensión recibe el nombre de color aparente, mismo que es diferente al color por restos de vegetales, que presentan un color real (Chacón y Ramos, 2019). Villacis (2011) afirma que el color puede ser definido por el período de las aguas residuales, ya que, en principio estas aguas pueden tener un color gris, mientras que en períodos prolongados de conservación las aguas se tornan de color negro, debido a varios factores como la ausencia de oxígeno, entre otros.

2.7. TRATAMIENTO DEL AGUA

Liernur propuso un proyecto cuyo objetivo era recolectar y separar las aguas negras, grises y pluviales, pero sin ser tratadas de ninguna forma (Hernández et al., 2017). Luego de varios años, se ha mantenido en constante mejora estos sistemas de tratamientos con el objetivo de purificar y recuperar las aguas contaminadas tratando de llevar a su estado natural o similar (Rivera et al., 2021). Moeller y Tomasini (2004) señalan que existen métodos cuyo objetivo es purificar de forma eficiente las aguas residuales, ya que, al ser descargadas a un medio acuático no causen daños ambientales.

2.7.1. TRATAMIENTO PRIMARIO

El tratamiento primario consiste en la eliminación de sólidos gruesos, reduciendo la carga de contaminante en las aguas residuales. Se emplean tratamientos físicos o fisicoquímicos, como tanques estabilizadores o sustancias químicas (coagulantes o floculantes), para que la sedimentación sea más rápida y eficaz. En el tratamiento primario se logra eliminar el 40 a 60% de los sólidos en suspensión y se reduce hasta el 40% de la BDO₅ (Zhang et al., 2015).

2.7.2. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Por lo general, el tratamiento secundario es biológico, tiene como finalidad estabilizar la materia orgánica que está presente en el agua residual (Morán, 2014). Según Morán (2014) en este tratamiento se utilizan procesos microbianos aeróbicos, que degradan la materia orgánica en presencia del oxígeno disuelto, empleando y acelerando los procesos naturales en la eliminación de residuos. En la actualidad, se emplean diversos procesos alternativos para el tratamiento secundario, tales como los filtros biológicos, lodos activados y lagunas de estabilización (Del Real et al., 2021).

2.7.3. TRATAMIENTO TERCIARIO

Del Real et al. (2021) mencionan que el tratamiento terciario consiste en la aplicación de procesos físicos y químicos para eliminar metales pesados, fósforo, nitrógeno y compuestos biodegradables. En este tratamiento, se emplean diversos métodos alternativos como sustancias químicas (coagulantes y floculantes), filtración y carbón activado, por ello, cabe destacar que en el tratamiento terciario es esencial la desinfección del efluente con la finalidad de eliminar los agentes patógenos (Oliveros et al., 2019).

2.8. TRATAMIENTO BIOLÓGICO

El tratamiento biológico para aguas residuales se emplea microorganismos para eliminar sólidos y nutrientes. Por lo general, se lo considera un método rentable y amigable con el medio ambiente (Sánchez y Matsumoto, 2012). En el tratamiento biológico se utilizan reactores biológicos en aguas residuales que presentan alto contenido de materia orgánica y nutrientes biodegradables, ya que, el contenido orgánico es utilizado por microorganismos (Chacón y Ramos, 2019).

2.9. TRATAMIENTO FISICOQUÍMICO

El tratamiento fisicoquímico del agua residual consiste en eliminar partículas coloidales y materiales finos en suspensión, que mediante la adición de productos químicos se producen alteraciones del estado físico con estas sustancias. Con este tratamiento se logra eliminar hasta el 40% de la DQO, 70% de la DBO₅ y hasta un 80 a 90% de la materia suspendida (Chacón y Ramos, 2019).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en la ciudad de Bahía de Caráquez, perteneciente del Cantón Sucre, el cual se encuentra geolocalizada en la provincia de Manabí en las coordenadas UTM 564141.26 m E y 9928599.46 m S.

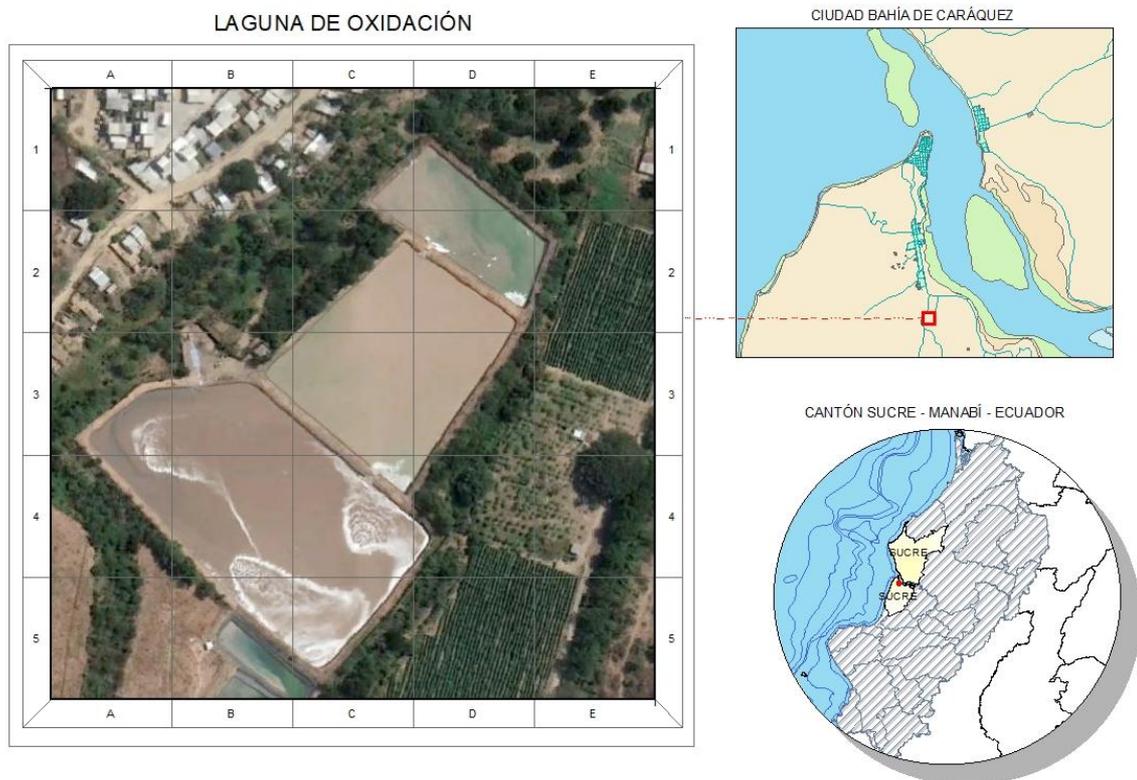


Figura 3.1. Mapa de georreferenciación de la Laguna de Estabilización

3.2. DURACIÓN

La investigación tuvo una duración de nueve meses desde septiembre 2022 hasta julio del 2023.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio tuvo una investigación de tipo experimental, ya que de acuerdo con García et al. (2018) la investigación experimental contribuye a la verificación de hipótesis mediante la combinación y experimentación de variables, obteniendo resultados beneficiosos que aportarán al proyecto y al investigador.

3.4. MÉTODOS

3.4.1. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO

Según Herrán (2020) este método permitió adquirir e implementar conocimientos de diversos autores con base a la indagación de revisión literaria, contribuyendo con la necesidad del proyecto en proporcionar información que aporte al desarrollo de una propuesta de PMA y aplicación de técnicas.

3.4.2. MÉTODO DEDUCTIVO

El método deductivo es usado a través de un proceso investigativo, que facilita un amplio razonamiento a la investigación, para utilizarlos en procedimientos o temas en conciso (Newman, 2019). Por medio de este método, se desarrolla teoría y observaciones que permite establecer énfasis del tema.

3.4.3. MÉTODO CUANTITATIVO

Se implementó el método cuantitativo por el cual los investigadores se basan en lo científicos y no en hipótesis, por lo tanto, el uso de esta herramienta y técnicas basadas en una comprensión en cuanto a seleccionar su método investigativo (Cadena et al., 2018).

3.5. TÉCNICAS

3.5.1. OBSERVACIÓN DIRECTA

Se aplicó la observación directa para determinar el comportamiento de la turbidez en los diferentes tipos de experimentación por medio del test de jarras, en busca de resultados favorables (Chila y Zevallos, 2018).

3.5.2. ANÁLISIS DE LABORATORIO

Se transportó las muestras de agua al laboratorio de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Luego, se procedió a utilizar métodos analíticos para el respectivo estudio de cada muestra; para ello, se utilizó un potenciómetro para medir el Potencial de Hidrógeno (pH), el método estándar APHA para el Color (Pt-Co), un turbidímetro para la turbidez (NTU), un conductímetro para medir la Conductividad Eléctrica (mhos/cm) y para Sólidos Totales y Sólidos Disueltos Totales se utilizó el método gravimétrico en el que consiste calentar una cantidad de agua a una temperatura de 400°C por una hora.

3.6. VARIABLES A MEDIR

3.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Tratamiento Biológico

Tratamiento Químico

3.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Calidad de agua

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente trabajo se utilizó un Diseño Factorial 2², de acuerdo a Gutiérrez y De Vara (2008) este DF 2² (Diseño factorial 2²) en la cual explica los experimentos y qué efecto causan en los dos factores sobre una respuesta, observando la

combinación entre ellos. Por ello, en el presente investigación se pretende utilizar el mismo diseño para ambos tratamientos como se observa en la tabla 3.2 (Químico y biológico), obteniendo dos factores, y cada factor tiene dos niveles, por lo cual, indica que se debe realizar 4 repeticiones y 16 unidades experimentales con orden aleatorio, la aplicación de este modelo experimental al trabajo investigativo contribuyó en la evaluación del rendimiento de las dosis de coagulante (Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$)), floculante (Poliacrilamida (C_3H_5NO)) y biológicos (aireación y nutrientes (NKP)) a distintos niveles.

Tabla 3.1. Diseño Factorial Completamente al Azar para el Tratamiento Químico

D. $Al_2(SO_4)_3$	D. C_3H_5NO	Tratamientos	Calidad de Agua					
			yT	yC	ys	yEC	ypH	yTDS
250	10 mg/L	T1	yT1	yC1	ys1	yEC1	ypH1	yTDS1
80	10 mg/L	T2	yT2	yC2	ys2	yEC2	ypH2	yTDS2
250	5 mg/L	T3	y3	yC3	ys3	yEC3	ypH3	yTDS3
80	5 mg/L	T4	y4	yC4	ys4	yEC4	ypH4	yTDS4

Tabla 3.2. Diseño Factorial Completamente al Azar para el Tratamiento Biológico

Aireación	Nutrientes	Tratamientos	Calidad de Agua					
			yT	yC	Ys	yEC	ypH	yTDS
con aireación	0 mg/L	T1	yT1	yC1	ys1	yEC1	ypH1	yTDS1
Sin aireación	0 mg/L	T2	yT2	yC2	ys2	yEC2	ypH2	yTDS2
con aireación	100 mg/L	T3	y3	yC3	ys3	yEC3	ypH3	yTDS3
Sin aireación	100 mg/L	T4	y4	yC4	ys4	yEC4	ypH4	yTDS4

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico-gráfico y tablas para la presentación de datos obtenidos en los laboratorios, se empleó programas estadísticos como Minitab, para la elaboración y demostración de resultados.

- **Estadística descriptiva:** Diagrama de cajas y medianas
- **Estadística inferencial:** Análisis de varianza

3.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.9.1. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO Y QUÍMICO PARA LA PURIFICACIÓN PROVENIENTE DEL AFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES

Actividad 1. Identificación del área del estudio.

Durante esta actividad se hizo una visita técnica al área de oxidación y purificación de las aguas residuales situado en la ciudad de Bahía de Caráquez, barrio Fanca; esto, con el propósito de conocer el procedimiento de operación de cada laguna y sus dimensiones.

Para la realización de este objetivo también se identificaron las condiciones de operación de la laguna de oxidación, mismos que se presentan a través de un flujograma indicando cada proceso.

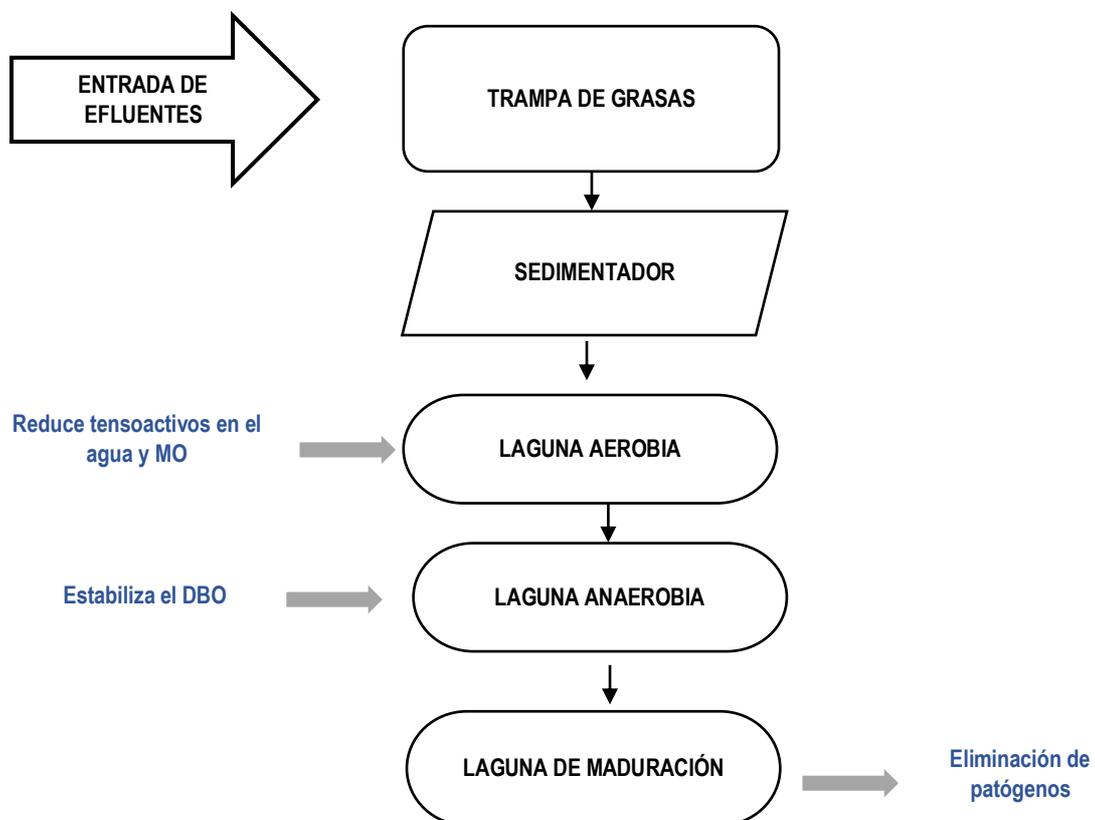


Figura 4.2. Diagrama de los procesos de la laguna de oxidación

Actividad 2. Elaboración del coagulante

De acuerdo con Vargas y Romero (2016) se disolvió 2,5 g de sulfato de aluminio comercial granulado por cada litro de disolución para lograr una concentración de 0,25 % m/v.

Actividad 3. Elaboración del floculante

Para el floculante se procedió a seguir el manual técnico sugerido por Vargas y Romero (2016) en la cual, menciona una preparación de una solución de 0,2 g por litro de disolución del polímero.

Actividad 4. Test de jarras de coagulación-floculación

Para el procedimiento de la prueba de jarra, se midió el pH inicial del agua. Luego, se calcularon las dosis de productos a adicionar en mg/L (ppm), las cuales se resumen en la Tabla 3.2; la mezcla de adición de coagulantes y floculantes en revoluciones intensas (aprox. 200 rpm) se las ubicó en un lapso de 5 minutos, después se efectuó la fase de floculación que se llevará a cabo durante 20 minutos a velocidad de 50 rpm, como paso final, la fase de sedimentación se la realizará durante 30 minutos a velocidad 0 rpm, este procedimiento se lo llevará a cabo en función de las referencias bibliográficas publicadas por (Véliz et al., 2010).

Actividad 5. Pruebas de dosificación de inoculantes bacterianos

Para el tratamiento biológico se adicionó un consorcio microbiano aislado de las lagunas de oxidación, es por ello, que dentro una jarra de 500 mL se añadió este consorcio bajo condiciones aerobias o anaerobias según la Tabla 3, una vez disuelto el consorcio microbiano, se aplicó al envase con agua residual por 3 días; finalmente, los microorganismos consumieron la materia orgánica con disminución de sólidos suspendidos (Miranda et al., 2017).

3.9.2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS MEDIANTE LA PRUEBA DE JARRAS COMO VERIFICACIÓN DE SU EFECTIVIDAD

Actividad 6. Toma de muestra y transporte

En esta actividad se procedió a seguir los protocolos establecidos en las normas INEN 2 169:98, es por ello que, como recipiente se optó por un frasco de vidrio con tapa, ya que no debe haber interacción con medio que pueda alterar la muestra; durante el llenado del recipiente con muestra, como se establece en las normas técnicas ecuatorianas expresa que para análisis de parámetros físicos y químicos, se deberá llenar completamente el recipiente, una vez llenada se rotularan las muestras; y durante el transporte se utilizará una hielera contenedora, ya que estas son ideal para mantenerlas a temperaturas bajas durante el trayecto de transportar y proteger de las muestras.

Actividad 7. Caracterización del agua residual

En esta actividad, se tomaron muestras de clase puntal es decir al momento 2 veces a la semana durante un mes, se captó alrededor más de 50 litros en total de la laguna de maduración. Para la caracterización del agua residual se analizaron los aspectos fisicoquímicos en el laboratorio de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Los parámetros que se consideraron fueron:

- pH
- Color
- Conductividad eléctrica
- Sólidos totales disueltos (TDS)
- Sólidos Totales
- Turbidez

Actividad 8. Caracterización del agua tratada

Luego de la aplicación del coagulante, floculante e inoculante bacteriano al agua residual, se caracterizó el agua tratada. Una vez tratada el agua residual, se procedió a hacer una comparativa de eficiencia, utilizando los resultados con los parámetros establecidos por el TULSMA tabla 10 (anexo 1). Los parámetros que se consideraron fueron:

- pH
- Color
- Conductividad eléctrica
- Sólidos totales disueltos (TDS)
- Sólidos Totales
- Turbidez

Actividad 9. Tabulación de datos.

Una vez obtenido los resultados emitidos por los parámetros estudiados, se tabularon estos resultados en una base de datos en Excel, con el fin de resaltar de manera gráfica y entendible la eficiencia de cada factor (químico y biológico) ante la respuesta de cada parámetro de estudio establecidos en este trabajo investigativo.

3.9.3. PROPUESTA DE UN PLAN DE MITIGACIÓN PARA LOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES IDENTIFICADOS EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE BAHÍA DE CARÁQUEZ

Actividad 10. Socialización de la propuesta a las autoridades de turno.

Para este efecto, es importante asegurar el cumplimiento de las medidas propuestas en los programas que contiene el Plan de Manejo Ambiental (López., 2019). Durante la elaboración de la siguiente propuesta para la implementación de un PMA en aguas residuales (Negrete, 2019). Se utilizó un esquema en el cual se estableció la estructura donde se incorporó un plan de mitigación de olores,

residuos, educación ambiental, entre otros factores como están estipulados en los documentos de (CONSORCIO HTA, 2008; TÉCNICAS CBB S.A, 2020), para la parte de costos de la aplicación de este plan, se realizaron consultorías externas a expertos del tema.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO Y QUÍMICO PARA LA PURIFICACIÓN PROVENIENTE DEL AFLUENTE DE LAS AGUAS RESIDUALES

La laguna de oxidación de las aguas residuales se localiza en el barrio Fanco de la ciudad de Bahía de Caráquez, cantón Sucre, provincia de Manabí, en las coordenadas UTM 564141.26 m E y 9928599.46 m S, su extensión total es de 39.000 m², entre sus condiciones de operación presenta un caudal de 2.500 m³/día, volumen de 7.344 m³ y una profundidad de 1,8 m. Su diseño es con un tiempo de retención de 28 días para atender las necesidades de una población de 26.112 habitantes (figura 3.1).

La laguna de maduración cuenta con un área total de 48 m², teniendo entre sus condiciones operativas una profundidad de 1,8 m, caudal de 2.500 m³/día, volumen de 70.200 m³ y un tiempo de retención de 4 horas. Dicha laguna fue diseñada para atender las necesidades de una población de 26.112 hab y cuenta con tres espacios, como se describe a continuación:

Tabla 4.1. Lagunas de oxidación de Bahía de Caráquez

Lagunas	Extensión	Profundidad
Laguna 1 - Aerobia	17,500 m ²	2,5 m
Laguna 2 - Anaerobia	11,420 m ²	2 m
Laguna 3 - Maduración	4800 m ²	1,5 m

El proceso de operación de la laguna de oxidación inicia con la entrada del efluente, posteriormente pasa por la trampa de grasa, cuya función es separar el agua y la grasa. Una vez efectuado dicho proceso, se da paso al sedimentador dónde se eliminan los sedimentos como arena o tierra; en este se reduce la velocidad del agua para que estos sedimentos decante por su peso al fondo del sedimentador y puedan ser purgados.

En el caso de la laguna aeróbica, se ocasiona la degradación de la materia orgánica a través de bacterias aerobias que consumen el oxígeno producido y se reducen

los tensoactivos en el agua. Con respecto a la laguna anaerobia, esta se encarga de retener la mayor carga orgánica presente en el agua y, además se estabiliza el DBO. Finalmente, en la laguna de maduración se consigue la eliminación casi total de los agentes patógenos.

Macías (2019) menciona que las lagunas de oxidación son un método sencillo y eficiente para el tratamiento de aguas residuales provenientes del alcantarillado, asimismo, es un sistema efectivo en cuanto a costos. Aunque las lagunas de oxidación sean sistemas simples, los procesos y mecanismos de transformación son complejos, ya que implican varios procesos desde la sedimentación, digestión, oxidación, aireación, entre otros (Rolim, 2000; Iannacone y Argota, 2020).

Por otra parte, Moncada (2021) enfatiza que las lagunas anaerobias poseen la función de retener mayor carga orgánica posible, y en muchas ocasiones producen una serie de malos olores debido a que la transformación de la carga orgánica no es completa y se derivan productos intermedios de ácidos orgánicos, sulfuro de hidrógeno, entre otros. Sin embargo, si el funcionamiento se da de manera adecuada y se forman productos finales como el dióxido de carbono y metano, siendo los olores inapreciables.

En relación a los análisis de los tratamientos biológicos y químicos de la purificación proveniente de los afluentes de las aguas residuales, se consideraron las siguientes dosis de coagulante y floculante a adicionar en los tratamientos, tal como se detallan en la tabla 4.2 y 4.3:

Tabla 4.2. Dosis de coagulante adicionado

V1 = dosis en mL	C1 = ppm Sulfato Al	V2 = mL agua residual	C2 = Sulfato Al (ppm)
3	30000	400	250
1	30000	400	80
3	30000	400	250
1	30000	400	80

Tabla 4.3. Dosis de floculante adicionado

V1 = dosis en mL	C1 = ppm Sulfato Al	V2 = mL agua residual	C2 = Sulfato Al (ppm)
1	5000	400	10
1	5000	400	10
0,4	5000	400	5
0,4	5000	400	5

La tabla 4.2 muestra las dosis de coagulante donde V_1 es volumen, C la concentración del coagulante y V_2 el agua residual empleada para los tratamientos realizados. Se utilizaron cuatro muestras (1 y 3 mL) con concentraciones de Sulfato de Al (C_1) a 3000 ppm y a 250 y 80 ppm para la concentración dos en 400 mL de agua residual; mientras que para las dosis de floculante se consideraron cuatro muestras (0,4 y 1 mL) con concentraciones (C_1) de 5000 ppm y de 5 y 10 ppm (C_2) (tabla 4.3).

Antov et al. (2010) manifiestan que la utilización de sustancias químicas como coagulantes y floculantes son esenciales en el tratamiento de aguas residuales; la aplicación de estos productos ayudan a remover especies químicas disueltas y a mejorar la turbiedad del agua producidos por coagulantes químicos convencionales, siendo un paso esencial en el proceso del tratamiento del agua, dado a que no solo remueve las partículas responsables de la turbiedad generadas por el material coloidal y las partículas suspendidas, sino también microorganismos que por lo general se adhieren a las partículas.

Cabe mencionar, que la aplicación de estas sustancias también presenta ciertas desventajas como los altos costos de adquisición, producción, la presencia de grandes volúmenes de lodo y la afectación del pH del agua tratada (Yin, 2010). Flaten (2001) afirman que existen enfermedades de Alzheimer en seres humanos, debido a la presencia de aluminio en el agua tratada.

A continuación, se presentan los resultados de los tratamientos químicos en los cuales se observó que el color no desaparece y su olor se mantuvo:

Tabla 4.4. Resultados de la calidad del agua en base a los tratamientos químicos

D. $Al_2(SO_4)_3$	D. C_3H_5NO	Tratamientos	Turbidez (NTU)	Color (UTC)	Calidad de Agua			
					Sólidos Totales (mg/L)	Conductividad Eléctrica ($\mu s/cm$)	pH	TDS (mg/L)
250	10 mg/L	T1	3,48	115,67	2200	2,73	7,82	1416,7
80	10 mg/L	T2	27,85	432,33	1800	2,75	7,71	1370
250	5 mg/L	T3	5,71	125	2400	2,71	7,51	1390
80	5 mg/L	T4	22	463,33	2000	2,71	8,23	1350

En la tabla 4.5 se aprecian los resultados promedio de los tratamientos biológicos los cuales fueron realizados mediante sistema de aireación y sin aireación:

Tabla 4.5. Resultados de la calidad del agua en base a los tratamientos biológicos

Sistema	Agua residual	Tratamientos	Calidad de Agua			
			Turbidez (NTU)	Color (UTC)	pH	TDS (mg/L)
Con aireación	0 mg/L	T1	89,67	21,22	7,14	100
Sin aireación	0 mg/L	T2	162,33	7,67	6,88	166,7
Con aireación	100 mg/L	T3	2,70	3,33	6,88	100
Sin aireación	100 mg/L	T4	0,64	3	6,88	126,67

4.1.2. DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL ANTES Y DESPUÉS DE LOS TRATAMIENTOS APLICADOS MEDIANTE LA PRUEBA DE JARRAS COMO VERIFICACIÓN DE SU EFECTIVIDAD

Para la determinación de la calidad del agua residual de la laguna de oxidación se analizaron las muestras de agua residual no tratadas y tratadas, teniendo en consideración parámetros como pH, color, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos (TDS), sólidos totales y turbidez, para demostrar la efectividad de los tratamientos químicos y biológicos estudiados. A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

4.1.2.1. TRATAMIENTOS QUÍMICOS

❖ TURBIDEZ

En la figura 4.2 se presentan los resultados de la medición de turbidez pre y post tratamientos. Donde, el agua residual inicial presentaba un valor promedio de turbidez de 100 NTU. En el estudio, se evaluaron cuatro tratamientos diferentes sin el uso de cal y con la cal, proyectando los siguientes resultados:

Sin Cal

- **Tratamiento T₁:** Se aplicaron 250 mg/l de sulfato de aluminio y 10 mg/l de floculante. Este tratamiento logró reducir significativamente la turbidez, alcanzando un valor promedio final de 3,48 NTU.
- **Tratamiento T₂:** En este caso, se emplearon 80 mg/l de coagulante y 10 mg/l de floculante. Aunque este tratamiento también mostró una disminución en la turbidez, se obtuvo un valor promedio final de 27,85 NTU.
- **Tratamiento T₃:** Con este tratamiento al utilizar 250 mg/l de sulfato de aluminio y 5 mg/l de floculante se obtuvo una disminución hasta 5,71 NTU.
- **Tratamiento T₄:** Se emplearon 80 mg/l de coagulante y 5 mg/l de floculante. En este tratamiento se disminuyó significativamente la turbidez hasta 22 NTU.

La turbidez del agua residual en los cuatro tratamientos disminuyó su concentración. Sin embargo, el tratamiento T₁ fue más efectivo, obteniendo una turbidez final considerablemente menor en comparación con el tratamiento T₂ y T₄. Estos resultados indican la eficacia de los coagulantes y floculantes utilizados en el tratamiento del agua residual para mejorar su claridad y calidad.

Con Cal

- **Tratamiento T₁:** Se aplicaron 250 mg/l de sulfato de aluminio y 10 mg/l de floculante. Este tratamiento logró reducir elocuentemente la turbidez, alcanzando un valor promedio final de 14,95 NTU.
- **Tratamiento T₂:** En este caso, se emplearon 80 mg/l de coagulante y 10 mg/l de floculante. Este tratamiento dio una disminución considerable, alcanzando un valor promedio final de 24,47 NTU.
- **Tratamiento T₃:** Con este tratamiento al utilizar 250 mg/l de sulfato de aluminio y 5 mg/l de floculante se obtuvo una disminución hasta 3,66 NTU, siendo el tratamiento con más disminución en comparación a los demás tratamientos.
- **Tratamiento T₄:** Con respecto al tratamiento 4 disminuyó hasta 27,12 NTU.

Por medio de lo anterior se demuestra que el tratamiento 3 fue el que más redujo a comparación de los tres tratamientos restantes y de los tratamientos sin cal.

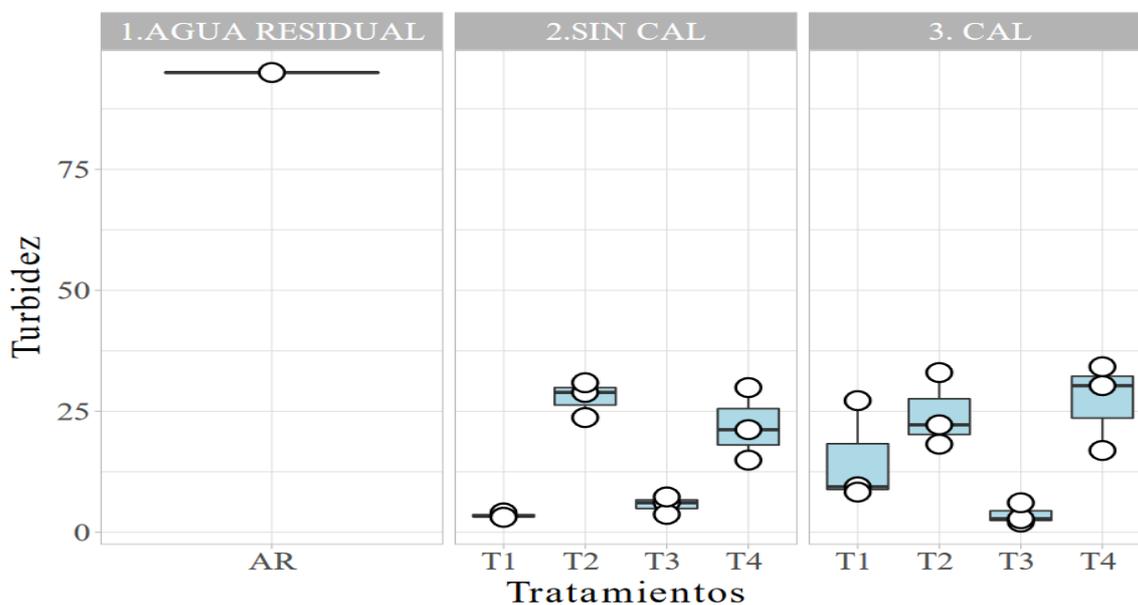


Figura 4.1. Turbidez

❖ POTENCIAL DE HIDRÓGENO

En la figura 4.3 se reflejan gráficamente los resultados pre y post tratamiento químico, donde el agua residual se encontraba en un pH de 6. A continuación, se detalla los resultados obtenidos:

Sin Cal

- **Tratamiento T₁:** En este tratamiento se puede apreciar a través de la figura que su pH aumento a 7,82.
- **Tratamiento T₂:** En este caso, se emplearon 80 mg/l de coagulante y 10 mg/l de floculante. Aunque este tratamiento mostró un aumento en el pH, alcanzando los 7,71.
- **Tratamiento T₃:** Con respecto a este tratamiento el pH del agua tratada alcanzó los 7,51.
- **Tratamiento T₄:** En relación a este tratamiento aumentó significativamente hasta los 8,23.

Los cuatro tratamientos aumentaron significativamente en consideración al agua residual inicial. Siendo el tratamiento T₄ el más creciente en comparación con los demás.

Con Cal

- **Tratamiento T₁:** Se aplicaron 250 mg/l de sulfato de aluminio y 10 mg/l de floculante. Este tratamiento logró alcanzar los 7,89 de pH.
- **Tratamiento T₂:** Se emplearon 80 mg/l de coagulante y 10 mg/l de floculante. Este tratamiento consiguió los 7,90 pH.
- **Tratamiento T₃:** Con este tratamiento al utilizar 250 mg/l de sulfato de aluminio y 5 mg/l de floculante se obtuvo un aumento promedio de 7,85.
- **Tratamiento T₄:** Con respecto al tratamiento 4 se utilizó 80 mg/l de coagulante y 5 mg/l de floculante obteniendo un pH de 7,84.

Detallados los resultados anteriormente se determina que el pH del AR demuestra un rango de concentración de iones de hidrogeno baja, manteniéndola en valores de acidez leve. Todas las muestras (sin cal) adoptan una variabilidad de resultados, es por ello que, se aprecia distintos valores que se encuentran dentro de las bases neutras, exceptuando al T₄ que tiene un promedio de 8,23 volviendo una sustancia ligeramente alcalina; por otro lado, las muestras de cal permanecen en una sola escala de pH que oscila entre neutra y ligeramente alcalina.

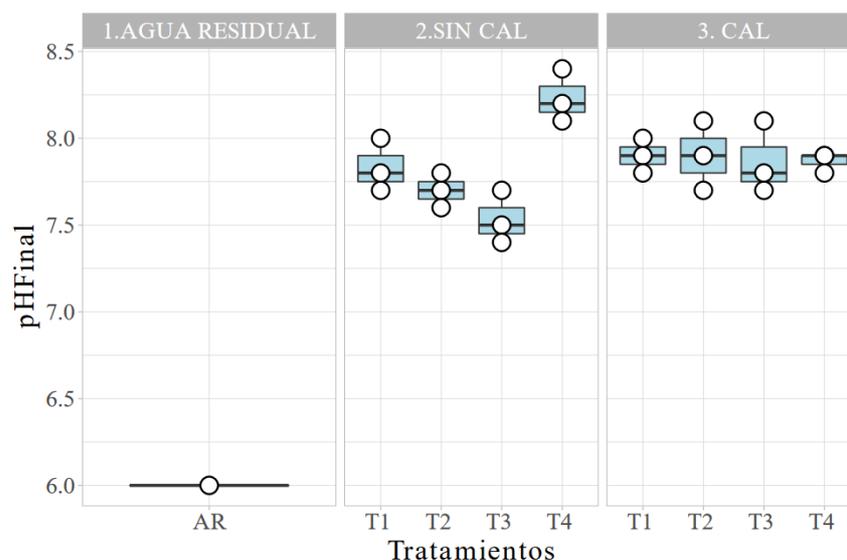


Figura 4.2. Potencial de hidrógeno

❖ SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Mediante la figura 4.4 se observan los resultados en relación a los sólidos totales disueltos, en donde el agua residual inicial contenía 1330 mg/L, al momento de comparar con los resultados obtenidos, se alcanzó lo siguiente:

Sin Cal

El tratamiento T_2 y T_4 en su parte extrema inferior tienen valores de 1370 y 1350 mg/l de TDS, mientras que en el T_3 consigue un aumento en sus resultados de 1390 mg/l presente, sin embargo, el T_1 tiene la mayor presencia de estos contaminantes en sus aguas con 1416,7 mg/l, por lo que, el tratamiento no tuvo eficiencia en esta.

Con Cal

Las muestras de agua residual tratadas con cal presentan una eficiencia de remoción similares que las muestras tratadas sin cal. Sin embargo, el T_2 presenta una mayor remoción, determinando resultados de 1350 mg/l TDS, aun así, los tratamientos sin cal predominan dentro de este parámetro.

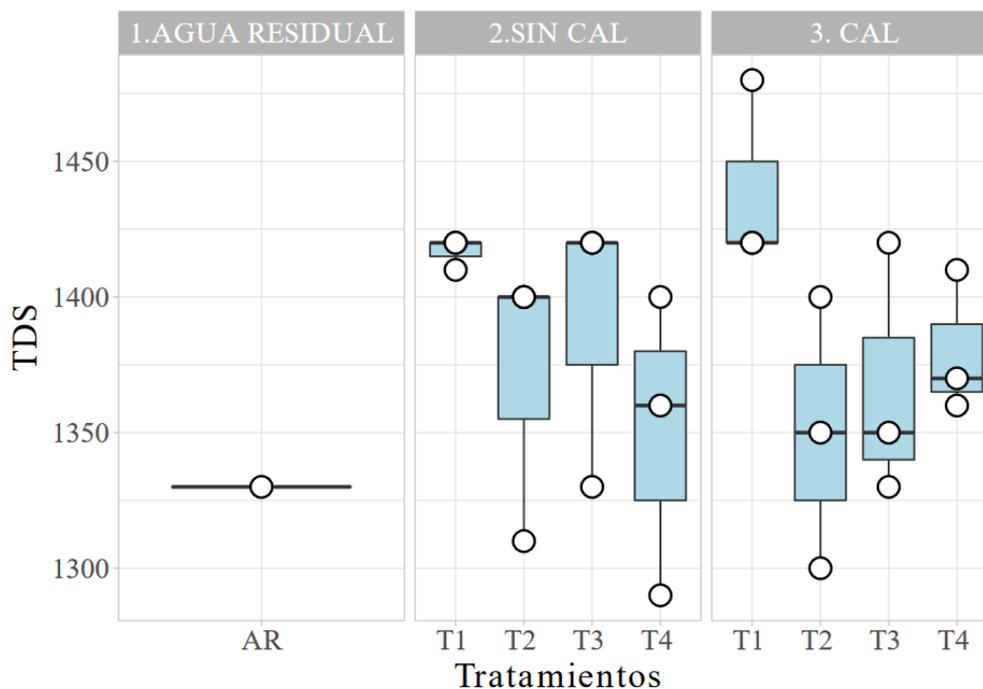


Figura 4.3. Sólidos totales disueltos (TDS)

❖ CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La conductividad en el agua es un parámetro importante que brinda información sobre la capacidad del agua para conducir electricidad, por lo que en la figura 4.5 se realizó una prueba para medir la conductividad del agua sin cal y con y arrojaron los siguientes resultados:

- **Tratamiento T₁:** El T₁ muestra una variación dando un valor promedio sin cal de 2,73 $\mu\text{s}/\text{cm}$, mientras que con la cal disminuyó a 2,63 $\mu\text{s}/\text{cm}$.
- **Tratamiento T₂:** El T₂ tiene valores de 2,75 y 2,72 $\mu\text{s}/\text{cm}$ entre los dos sistemas utilizados, los mismos que no presentan variaciones.
- **Tratamiento T₃:** El T₃ al igual que el T₂ entre los sistemas empleados no presenta una variación significativa dado que en el sistema sin cal arrojó un valor de 2,71 $\mu\text{s}/\text{cm}$ mientras que con cal dio un promedio de 2,69 $\mu\text{s}/\text{cm}$.
- **Tratamiento T₄:** Con respecto a este tratamiento se obtuvo un valor de sistema sin cal de 2,71 $\mu\text{s}/\text{cm}$ mientras que con cal aumentó a 2,75 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Al comparar la efectividad de los 4 tratamientos en función a sus valores, los tratamientos T₂ y T₃ contienen los resultados más consistentes y constantes, mientras que, el T₁ es de mayor variabilidad, es por ello, que el T₂ y T₄ indican una mayor estabilidad.

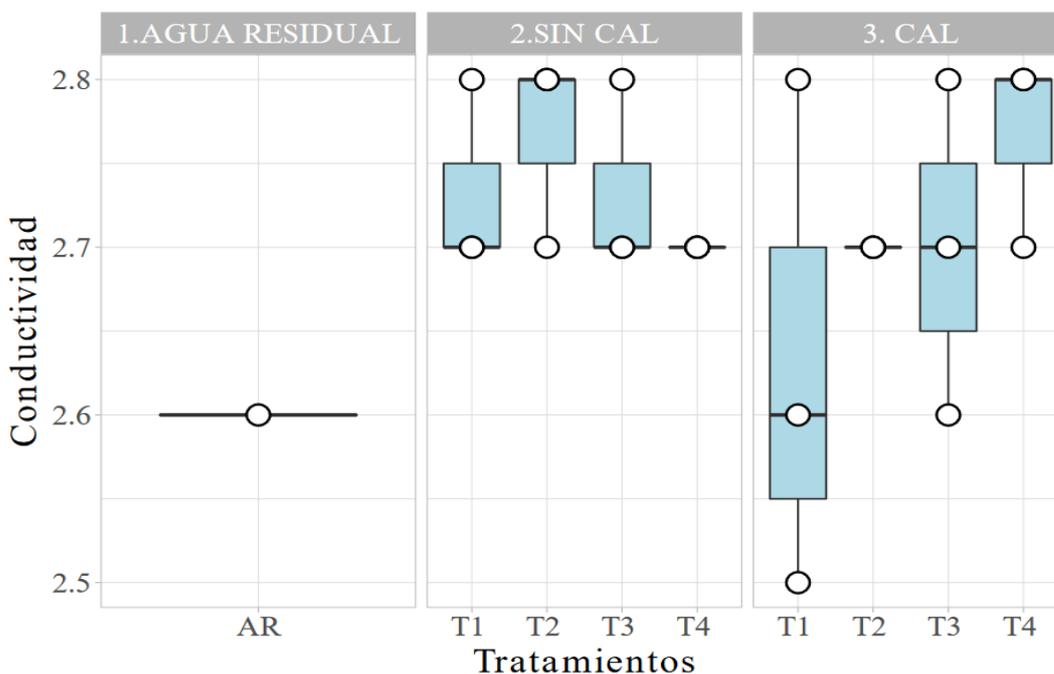


Figura 4.4. Conductividad eléctrica

❖ COLOR

Por medio de la figura 4.6 con respecto al parámetro color el agua residual inicial contenían 200 unidades. En el caso de los sistemas sin Cal se encontró que el T₁ (115,67 unidades) y T₃ (125 unidades) redujeron su color siendo más eficientes que el T₂ (432,33) y T₄ (463,33) los cuales presentan valores de color más altos.

Por otro lado, respecto a los sistemas con Cal se presenta valores donde el color tiene variabilidad, destacando el T₁ el cual posee 78 unidades en cuanto resultados de color, siguiendo a un costado el T₃ con valores 126,3 unidades, mientras que los T₂ (353,7) y T₄ (456,3) presentan unidades más altas superando el valor inicial del agua.

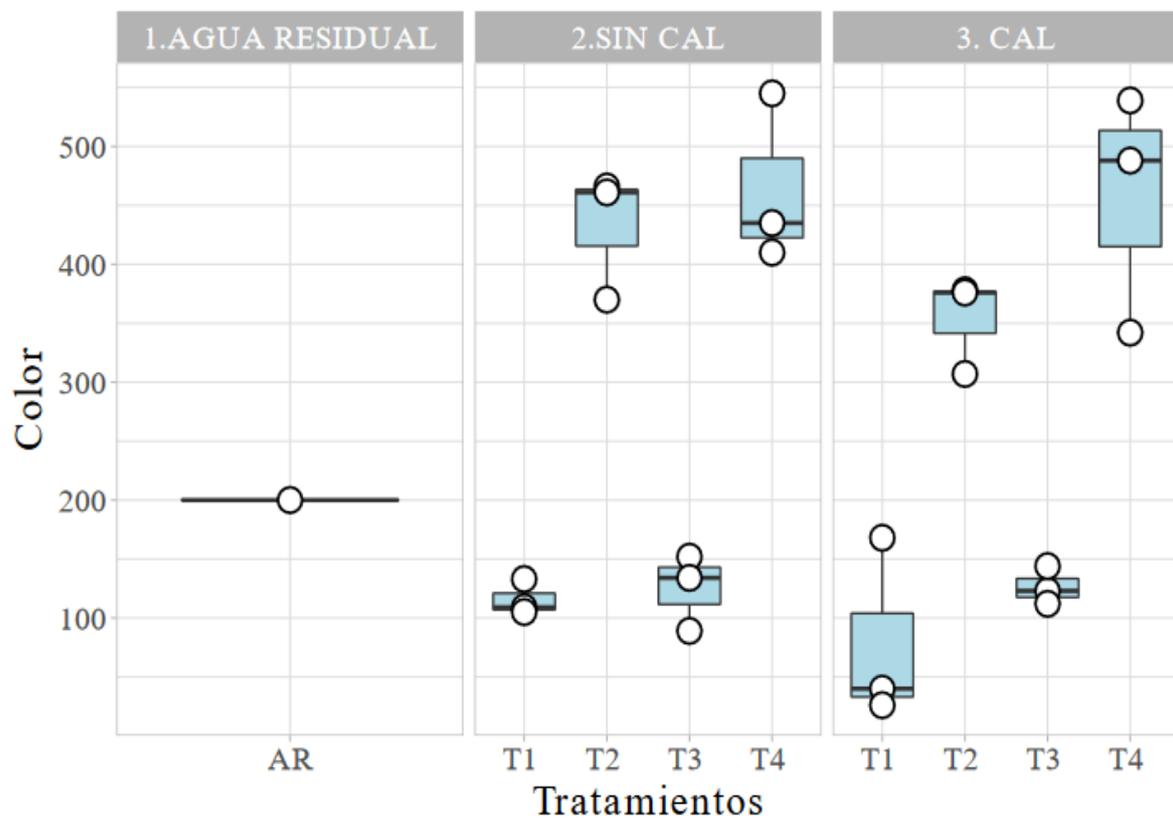


Figura 4.5. Color

4.1.2.2. OPTIMIZACIÓN: TURBIDEZ VS % REMOCIÓN DE TURBIDEZ

En el gráfico 4.7 se aprecian los resultados de la optimización referente a la turbidez vs el % de remoción de turbidez. Donde se encontró que los tratamientos con resultados más favorable fueron T₅, T₆, T₇ y T₈. Aquellos "Tn" destacan el T₇ con un resultado de 7,4 NTU obteniendo una eficiencia de remoción del 97,3%, siguiendo

por detrás el T₈ con valores de 9.1 NTU y una eficiencia del 96,7%; por otro lado, el T₁ solamente pudo remover el 10,3%, lo cual no presenta un cambio significativo en comparación del T₂ cuya eficiencia de remoción fue del 82,07%. Por lo cual, se deduce que entre menos turbidez presente en el agua mayor es su eficiencia de remoción. Guzmán et al. (2013) mencionan que los procesos de coagulación y floculación convierten el agua turbia en agua clara al acelerar el tiempo que tardan las partículas en asentarse. Una vez que estas partículas se han asentado, se pueden filtrar.

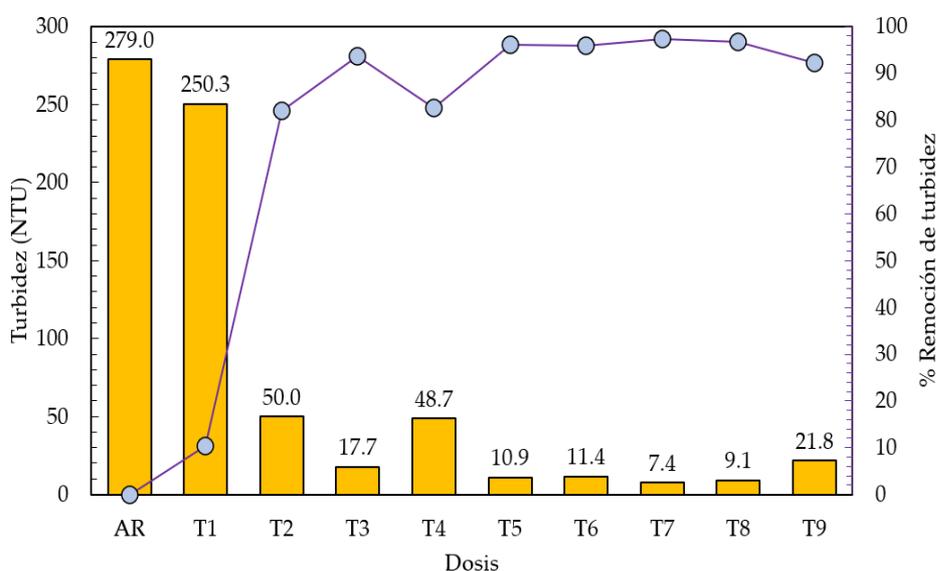


Figura 4.6. Optimización: Turbidez Vs % remoción de turbidez

4.1.2.3. OPTIMIZACIÓN: POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Dentro de los análisis cuantitativos se calculó mediante un potenciómetro el potencial de hidrógeno del agua tratada, el cual se le aplicó distintos tratamientos, de acuerdo con la figura 4.8., el pH en el T₁ aumenta significativamente con respecto al agua residual inicial, no obstante, en cada aplicación de coagulante sus valores disminuyen gradualmente, mostrando una disminución en la acidez. Además, se aprecia valores dentro del rango de 7, los cuales son considerados disolución neutra, mientras que los demás tratamientos tienen valores más alcalinos, siendo el T₈ y T₉ los que poseen mayor acidez teniendo valores entre 5,6 y 5,7 en dichos tratamientos.

De acuerdo con Ordoñez y Torres (2022), el valor del pH es clave durante la coagulación de las moléculas orgánicas e inorgánicas. La turbidez causada por partículas coloidales inorgánicas se elimina de manera efectiva mediante coagulantes orgánicos con un pH aproximadamente. Por su parte, Arango (2012) indica que las sustancias orgánicas naturales se recomiendan ser eliminadas a valores de pH ácidos; de acuerdo con el tipo de coagulante el rango recomendado es de 4 a 7.5.

Cuando se coagula una mezcla de impurezas, el pH óptimo y la dosificación del coagulante pueden diferir significativamente de los valores para la coagulación de un compuesto; por lo que es importante realizar las diferentes pruebas para determinar las condiciones idóneas para obtener los mejores resultados (Cabrera et al., 2018). Debido a que los valores de pH afectan las cargas superficiales y la forma en la que reaccionan los coagulantes y las impurezas, es importante mantener un control en los niveles de acidez o alcalinidad (Banchón et al., 2016).

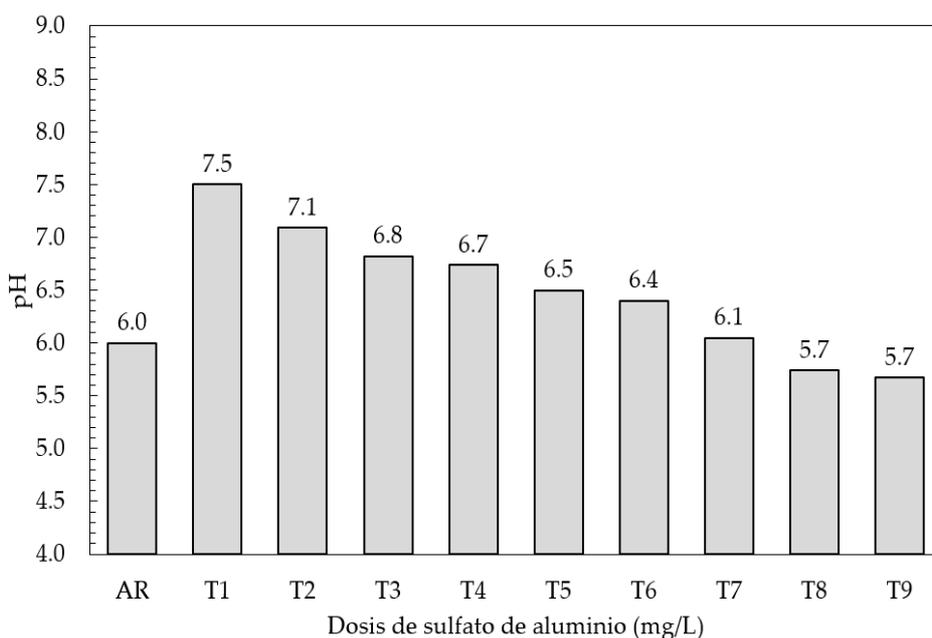


Figura 4.7. Optimización: potencial de hidrógeno

4.1.2.4. OPTIMIZACIÓN: SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

Dentro de los resultados de la medición de sólidos totales disueltos presente en los nueve tratamientos se observa mediante la figura 4.9 valores que varían de 1400 mg/L a 1320 mg/L. Los tratamientos que obtuvieron una menor cantidad en remover

sólidos disueltos fueron aquellos con una efectividad baja como es el T₁ con 1370 mg/L, T₃ con 1380 mg/L, T₄ con 1370 mg/L, T₅ con 1390, T₇ con 1380 mg/L y T₉ con 1400 mg/L, estos exponen valores cuyas concentraciones son altas; Por otro lado, los demás tratamientos manifestaron una remoción de los sólidos disueltos moderada como es el caso del T₆ y T₈ dando resultado de 1350 mg/L, y el T₂ obtuvo mejor rendimiento en contener y remover sólidos disueltos.

Vejarano y Príncipe (2021) mencionan que los sólidos disueltos totales son la suma de todos los minerales, metales y sales disueltas en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua. No obstante, una concentración elevada de sólidos disueltos proporciona al agua una apariencia turbia (Araujo, 2022).

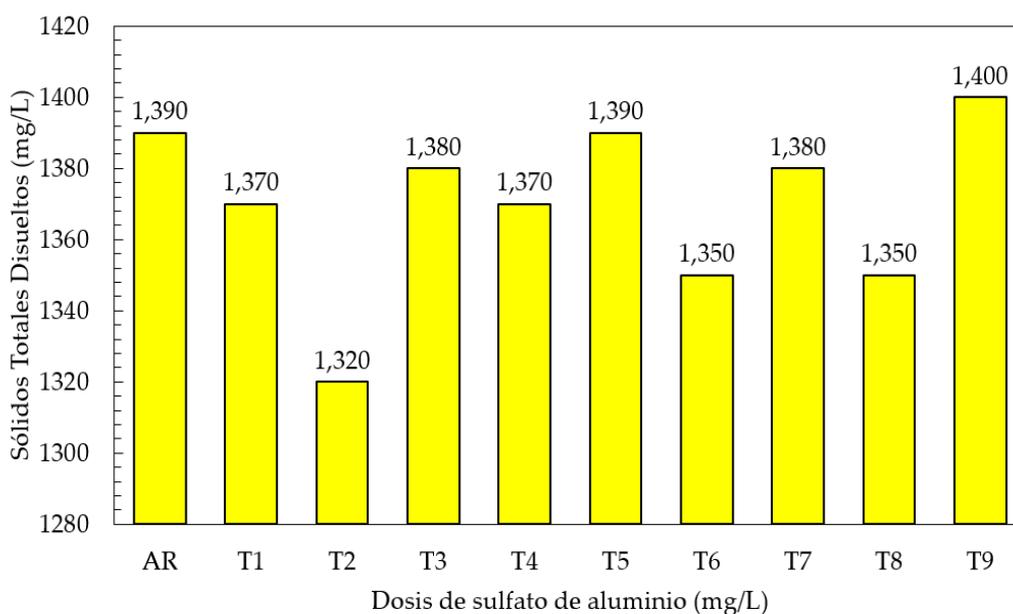


Figura 4.8. Optimización: Sólidos totales disueltos

4.1.2.5. OPTIMIZACIÓN: COLOR

En el caso de los resultados del parámetro de color, se puede observar dentro de la figura 4.10 la viabilidad de los tratamientos, siendo T₃ y T₄ aquellos resultados cuyos valores radicaron entre 514 unidades de colores y 506 unidades de colores. El T₇ alcanzó una medición de 190 unidades de colores y el T₈ un valor de 198, mientras que, T₁ presentó una medición de 270 unidades de colores, el T₉ obtuvo

252 unidades de colores, el T₅ refleja un resultado de 289 unidades de colores y el T₆ 291 unidades de colores. Cabe resaltar que aquel tratamiento que consiguió un resultado más óptimo fue el T₂ que alcanzó 150 unidades de colores.

El color del agua, junto a la turbidez, el olor y el sabor, representan el grupo de parámetros organolépticos que son indicativos de la calidad del agua de consumo humano (Trujillo y Cajigas, 2018). El color como una de las propiedades organolépticas del agua es afectado por la presencia de material disuelto, suspendido o coloidal (Umek, 2016).

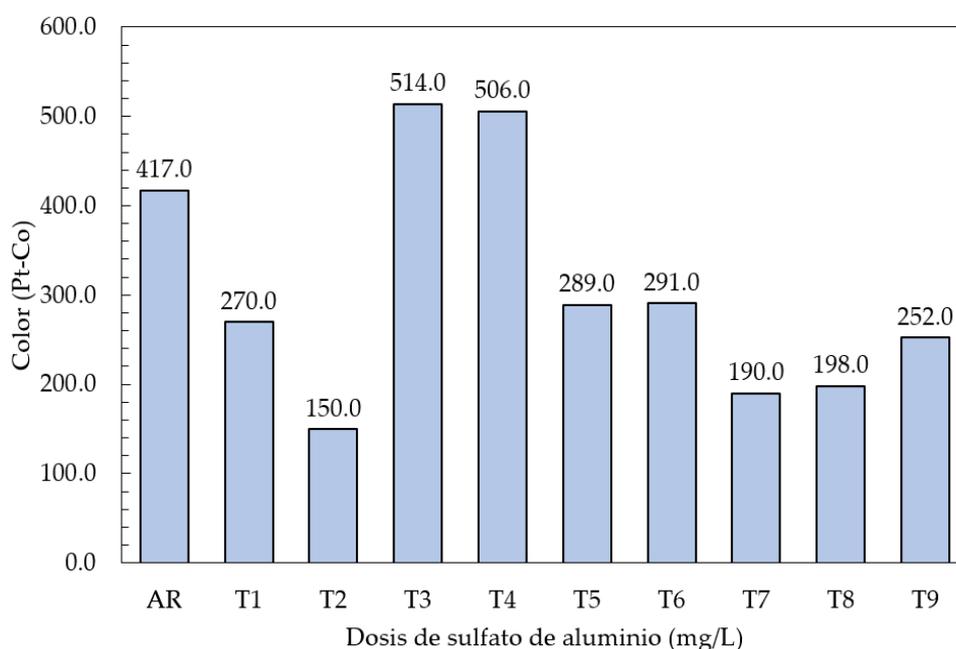


Figura 4.9. Optimización: Color

4.1.2.6. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

❖ TURBIDEZ

Se determinó la turbiedad en los tratamientos biológicos con un sistema de aireación y sin aireación, donde se consiguió los siguientes resultados:

- **Tratamiento T₁:** Este tratamiento fue con un sistema de aireación, en el cual no se utilizaron nutrientes, donde se alcanzó 89,67 NTU.
- **Tratamiento T₂:** En este caso, el sistema fue sin aireación, al igual que el T₁ no se utilizaron nutrientes. Sin embargo, este tratamiento a comparación

con los demás mostró un aumento en su concentración, alcanzando los 162,33 NTU.

- **Tratamiento T₃:** Este tratamiento fue uno de los más bajos, siendo un sistema con aireación utilizando como fuente de microorganismos 100 mg/l de agua residual, alcanzando los 2,70 NTU.
- **Tratamiento T₄:** Sin aireación, y con 100 mg/l de nutrientes, este tratamiento disminuyó significativamente la turbidez hasta 0,64 NTU.

El T₄ demostró ser el tratamiento más eficiente en la remoción de partículas presentes en el agua. Dando por excelencia su eficiencia en porcentaje de remoción superando a los demás tratamientos que no cumplieron el mismo objetivo. Los otros tratamientos no obtuvieron un buen rendimiento en eliminación o remoción de turbidez, en este caso el T₂ presentó una remoción poca significativa al comparar con el AR.

Figura 4.10. Turbidez

❖ COLOR

Durante el análisis de los tratamientos del parámetro de color se aprecian diferencias significativas entre los tratamientos tal como se refleja en la figura 4.12, dando como resultados:

- **Tratamiento T₁:** El primer tratamiento en función al color con un sistema con aireación obtuvo 21,22 unidades, siendo el tratamiento con contracción más alta.
- **Tratamiento T₂:** En el caso de este tratamiento a comparación del T₁ su concentración fue disminuyendo, consiguiendo 7,67 unidades.
- **Tratamiento T₃:** Este tratamiento fue uno de los más bajos, siendo un sistema con aireación utilizando como fuente de microorganismos 100 mg/l de agua residual, alcanzando 3,33 unidades, siendo el agua más clara y de calidad.
- **Tratamiento T₄:** Con respecto a este tratamiento fue el más bajo en concentraciones de color alcanzando las 3 unidades.

Figura 4.11. Color

❖ SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

La figura 4.13 refleja de manera gráfica los resultados que consiguieron las mediciones de sólidos totales disueltos, donde:

- **Tratamiento T₁:** el T₁ alcanzó una concentración de TDS de 100 mg/l al igual que el T₃ con una misma remoción. Además, utilizaron un sistema sin aireación, donde su única variante fue la cantidad de agua residual utilizada (100 mg/l) como fuente de microorganismos, no obstante, queda demostrado que la variación de agua residual utilizada no tuvo significancia dado que el sistema utilizado fue el mismo, por lo cual demuestra su eficacia al momento de ser removido las concentraciones.
- **Tratamiento T₂:** Este tratamiento alcanzó la concentración más alta (166,7 mg/l) en comparación con los tres tratamientos estudiados. Sin embargo, dicho tratamiento en cuestión disminuyó considerablemente al agua residual inicial, mismo que se encontraba en 250 mg/l lo cual generaba apariencia turbia y el olor era desagradable.
- **Tratamiento T₃:** El presente tratamiento al igual que el T₁ lograron reducir su valor de TDS a 100 mg/l. Es importante mencionar que, los TDS básicamente es la suma de todos los minerales, metales y sales disueltos en el agua, por tal motivo a menos concentraciones, mejor es la calidad del agua.
- **Tratamiento T₄:** En relación a este tratamiento su concentración de TDS disminuyó al utilizar un sistema sin aireación y utilizando 100 mg/l de agua residual, donde consiguió 126,67 mg/l. Al igual que los demás tratamientos logró reducir su concentración respecto al agua residual inicial, con una eficiencia de remoción del 49%.

Figura 4.12. Sólidos totales disueltos

❖ POTENCIAL DE HIDRÓGENO

Dentro de la figura 4.14 se observa los resultados de remoción del pH pre y post tratamientos, efectuados mediante un sistema sin aireación y con aireación, donde se obtuvo que, sus valores no obtuvieron post tratamiento, es importante que en consideración al valor obtenido pre tratamiento del agua sus concentraciones aumentaron, consiguiendo los siguientes resultados:

- **Tratamiento T₁:** Con respecto al potencial de hidrógeno en el agua residual tratada mediante el sistema de aireación y sin utilizar agua residual como fuente de microorganismo se alcanzó un pH con valores que se acercan más a una disolución neutra con un máximo de 7,14.
- **Tratamiento T₂, T₃ y T₄:** Estos tratamientos lograron aumentar un 14% siendo su pH de 6,88 en comparación con el agua residual inicial. Lo que significa que sus aguas están ligeramente acidas a una transición neutral.

Es importante mencionar que el parámetro pH en los cuatro tratamientos no se encontró diferencia significativa, por tal motivo no se puede determinar qué tipo de tratamiento fue el más eficaz, dando a entender que entre un sistema con aireación y sin aireación su concentración de pH se encuentra dentro de los límites máximos permisibles del TULSMA anexo 1 tabla 10.

Figura 4.13. Potencial de Hidrógeno

4.1.3. PROPUESTA DE UN PLAN DE MITIGACIÓN PARA LOS IMPACTOS SOCIOAMBIENTALES IDENTIFICADOS EN LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE BAHÍA DE CARÁQUEZ

4.1.3.1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad las aguas residuales no son tratadas adecuadamente y en ocasiones son vertidas directamente a ríos o mares causando una gran cantidad de contaminación y daños ecológicos, además de problemas de salud que afectan a la población. Bajo esta problemática, las lagunas de oxidación se han convertido en una alternativa viable y de bajo costos económicos para el tratamiento de aguas residuales generadas en poblaciones pequeñas y medianas.

La ciudad de Bahía de Caráquez cuenta con una laguna de oxidación que se encuentra ubicada en el barrio Fanca, y provee servicio a 26.000 habitantes; sin embargo, actualmente se presentan carencias dentro de las instalaciones de la laguna que llegan a afectar al medio ambiente, a la salud de los trabajadores y de los pobladores cercanos del área directa de influencia, por lo tanto, en la presente propuesta se exponen medidas para mitigar los impactos generados por la laguna de oxidación.

4.1.3.2. OBJETIVOS

4.1.3.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Proponer un plan de mitigación para los desechos generados en la laguna de oxidación de la ciudad de Bahía de Caráquez.

4.1.3.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el alcance del plan de mitigación para los desechos generados en la laguna de oxidación de la ciudad de Bahía de Caráquez.
- Identificar los principales impactos socioambientales generados por las actividades de la laguna de oxidación.
- Elaborar medidas ambientales para mitigar los impactos socioambientales identificados en la laguna de oxidación.

4.1.3.3. ALCANCE

El presente plan de mitigación se realiza para adoptar medidas que permitan y ayuden a mitigar los principales impactos socioambientales identificados en la laguna de oxidación de la ciudad de Bahía de Caráquez. Las medidas propuestas establecerán buenas prácticas en la fase de operación y mantenimiento de la laguna.

4.1.3.4. FACTORES SOCIOAMBIENTALES AFECTADOS

A continuación, se describen los principales factores ambientales que están siendo afectados por la fase operativa de la laguna de oxidación de Bahía de Caráquez:

Tabla 4.3. Factores socio ambientales afectados por la fase operativa de la laguna de oxidación

Medio	Componente	Factores	Impacto
MEDIO FÍSICO	Aire	Calidad del aire	Generación de malos olores y gases como el metano, H ₂ S y CO ₂ .
	Suelo	Calidad de suelo	Generación de residuos sólidos como lodos.
			Generación de residuos comunes.
Agua	Calidad del agua	Contaminación de aguas por deficiencias en el proceso de depuración.	
		Ausencia de laboratorios y reactivos para análisis de la calidad de agua.	
		Ausencia de equipos de aireadores.	
MEDIO SOCIO ECONÓMICO	Socio- económico	Salud y seguridad	Afectación a la salud por procedimientos de operación inseguros, falta de señalización y ausencia de equipos de protección personal en las actividades de operación de la planta.
			Accidentes laborales por la utilización de botes de transportes inseguros.
		Calidad de vida	Carencia de servicios básicos en la laguna de oxidación.

4.1.3.5. PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

El plan de prevención y mitigación de impactos contiene un conjunto de acciones tendientes a mitigar, evitar, reducir y eliminar los impactos potencialmente negativos, basados en la aplicación de mejores prácticas que deberá seguir el personal que labora en la laguna de oxidación de Bahía de Caráquez.

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS						
OBJETIVO	Establecer medidas para la prevención y mitigación del recurso aire para la fase operativa de la laguna de oxidación de Bahía de Caráquez					PPMI-01
FASE DEL PROYECTO	Operación y mantenimiento	RESPONSABLE	Proponente			
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA	PERÍODO
Calidad del aire	Generación de malos olores y gases como el metano, H ₂ S y CO ₂ .	Implementar barreras vivas con árboles nativos de la zona, mismos que deberán ser plantados alrededor de la laguna de oxidación con el fin de mitigar la dispersión de malos olores en el aire.	(Números de plantas sembradas / Números de plantas requeridas) x 100	Registro fotográfico de los árboles sembrados.	1	Anual
		Implementar un sistema de control de olores, como filtros biopercoladores para degradar el H ₂ S.	(Números de filtros instalados / Números de filtros requeridos) x 100	-Facturas de los sistemas adquiridos. -Registro fotográficos de los sistemas instalados.	1	Durante l fase de operación y mantenimiento

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS						
OBJETIVO	Establecer medidas para la prevención y mitigación del recurso suelo para la fase operativa de la laguna de oxidación de Bahía de Caráquez					PPMI-02
FASE DEL PROYECTO	Operación y mantenimiento	RESPONSABLE	Proponente			
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA	PERÍODO
Calidad del suelo	Generación de residuos sólidos como lodos.	Brindar tratamientos a los lodos generados en la laguna de oxidación, mediante digestores anaerobios.	(Volumen o peso de lodos generados / Volumen o peso de lodos evacuados) x 100	Registro fotográfico de la medida implementada.	1	Diario
		Los lodos deberán ser almacenados en lugar con condiciones adecuadas.	(Actividad ejecutada / Actividad programada) x 100	Registro fotográfico de la medida implementada.	1	Diario
		Los lodos deshidratados se colocarán en una zanja de almacenamiento.	(Actividad ejecutada / Actividad programada) x 100	Registro fotográfico de la medida implementada.	1	Diario
		Los lodos deberán ser entregados a un gestor calificado para su respectivo traslado.	(Volumen o peso de lodos generados / Volumen o peso de lodos evacuados) x 100	Manifiesto único de entrega, transporte y recepción de desechos peligrosos y/o especiales.	1	Semanal
	Generación de residuos comunes.	Los residuos comunes generados dentro de las instalaciones de la laguna de oxidación serán separados, clasificados y colocados de acuerdo a los tipos de desechos y el color, teniendo en cuenta las especificaciones NTE INEN 2841: -Reciclables: azul -No reciclables: negro -Orgánicos: verde -Peligrosos: rojo -Especiales: anaranjado	(Números de recipientes instalados / Números de recipientes requeridos) x 100	-Registro fotográfico de los recipientes instalados. -Facturas de los recipientes adquiridos.	1	Diario

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS						
OBJETIVO	Establecer medidas para la prevención y mitigación del recurso agua para la fase operativa de la laguna de oxidación de Bahía de Caráquez					PPMI-03
FASE DEL PROYECTO	Operación y mantenimiento	RESPONSABLE	Proponente			
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA	PERÍODO
Calidad del agua	Contaminación de aguas por deficiencias en el proceso de depuración.	Mejorar el tratamiento de aguas residuales aplicando sistemas biológicos y químicos.	(Actividad ejecutada / Actividad programada) x 100	Registro fotográfico de los tratamientos realizados.	1	Diario
	Ausencia de laboratorios y reactivos para análisis de la calidad de agua.	-Emplear coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas residuales.	(Números de sustancias químicas adquiridos / Números de sustancias químicas requeridos) x 100	Facturas de las sustancias químicas adquiridas.	1	Diario
		-Adquirir equipos para el tratamiento de aguas residuales.	(Números de equipos adquiridos / Números de equipos requeridos) x 100	-Facturas y registros fotográficos de los equipos adquiridos.	1	Diario
	Ausencia de equipos de aireadores.	Adquirir aireadores para mejorar el proceso el tratamiento del agua en la laguna de oxidación.	(Número de aireadores adquiridos / Números de aireadores requeridos) x 100	-Facturas y registros fotográficos de los aireadores adquiridos.	1	Diario

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS						
OBJETIVO	Establecer medidas para la prevención y mitigación para la salud y seguridad de la fase operativa de la laguna de oxidación de Bahía de Caráquez					PPMI-04
FASE DEL PROYECTO	Operación y mantenimiento	RESPONSABLE	Proponente			
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA	PERÍODO
Salud y Seguridad		-Implementar señaléticas en las instalaciones de la laguna de oxidación, acorde a los lineamientos técnicos de la norma NTE INEN ISO 3864. -Se debe incluir señales de información, obligación, advertencia o precaución y prohibición.	(Números de señaléticas instaladas / Números de señaléticas requeridas) x 100	-Facturas de las señaléticas adquiridas. -Registro fotográfico de las señaléticas instaladas.	1	Durante la fase operativa
	Afectación a la salud por procedimientos de operación inseguros, falta de señalización y ausencia de equipos de protección personal en las actividades de operación de la planta.	Realizar inspecciones a las señales de seguridad instaladas con el fin de determinar sus condiciones físicas y efectuar los respectivos mantenimientos y/o ejecutar reemplazo de las mismas.	(Números de inspecciones realizadas / Números de inspecciones requeridas) x 100	Registro fotográfico de las inspecciones realizadas	1	Mensual
		Definir áreas seguras (puntos de encuentro) para su actuación inmediata en caso de una emergencia.	(Números de áreas seguras instaladas / Número de áreas seguras requeridas) x 100	Registro fotográfico de los puntos de encuentros	1	En caso de emergencia

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS						
OBJETIVO	Establecer medidas para la prevención y mitigación del recurso agua para la fase operativa de la laguna de oxidación de Bahía de Caráquez					PPMI-05
FASE DEL PROYECTO	Operación y mantenimiento	RESPONSABLE	Proponente			
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA	PERÍODO
Salud y Seguridad		De acuerdo con lo establecido en el Art. 46 del Decreto Ejecutivo 2393, se debe mantener el equipado el botiquín de primeros auxilios con sus respectivos insumos para la atención inmediata de los empleados.	(Número de botiquín instalados / Número de botiquín requerido) x 100	-Registro fotográfico del botiquín con los insumos. -Facturas de los insumos adquiridos.	1	Mensual
	Afectación a la salud por procedimientos de operación inseguros, falta de señalización y ausencia de equipos de protección personal en las actividades de operación de la planta.	Dotar al personal que labora en la laguna de oxidación con los equipos de protección personal necesarios.	(Números de EPP entregados / Números de EPP requeridos) x 100	-Registro fotográfico de la entrega y uso de los EPP por parte del personal.	1	Diario
		Capacitar al personal de la laguna de oxidación en temas relacionados con: -Uso de los EEP. -Manejo adecuado de desechos no peligrosos (comunes). -Gestión adecuada de desechos peligrosos y/o especiales (lodos). -Seguridad y Salud Ocupacional. -Riesgos laborales	(Números de capacitaciones realizadas / Números de capacitaciones requeridas) x 100	-Registro fotográfico de las capacitaciones brindadas al personal. -Informe de capacitaciones	1	Semestral

PLAN DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE IMPACTOS						
OBJETIVO	Establecer medidas para la prevención y mitigación del recurso agua para la fase operativa de la laguna de oxidación de Bahía de Caráquez					PPMI-06
FASE DEL PROYECTO	Operación y mantenimiento	RESPONSABLE	Proponente			
ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO IDENTIFICADO	MEDIDAS PROPUESTAS	INDICADORES	MEDIOS DE VERIFICACIÓN	FRECUENCIA	PERÍODO
Salud y Seguridad	Accidentes laborales por la utilización de botes de transportes inseguros.	Dar mantenimiento a los botes que se encuentran en la laguna de oxidación.	(Números de mantenimientos realizados / Número de mantenimientos requeridos) x 100	Facturas de los mantenimientos realizados	1	Semestral
Calidad de vida	Carencia de servicios básicos en la laguna de oxidación.	Proveer a la laguna de oxidación de servicios básicos como agua potable.	(Número de actividad ejecutada/ Número de actividad requerida) x 100	Facturas de los pagos de servicios básicos	1	Diario

4.2. DISCUSIONES

Las lagunas de maduración tienen como objetivo primordial la degradación de materia orgánica carbonácea y nitrogenada, así como eliminación de bacterias patógenas (Arévalo et al., 2017). Estas lagunas operan siempre al menos como lagunas secundarias; es decir, como mínimo el agua residual ha pasado otro tratamiento antes de ser introducida en ellas (Bracho y Aldana, 2007). Así mismo, Cárdenas (2022) exterioriza que, para el diseño del sistema de tratamiento, se debe conocer el caudal a tratar, la temperatura del mes más frío, las concentraciones de contaminantes en el afluente, así como el objetivo de tratamiento (norma a cumplir). Esto permite determinar el volumen y área superficial de la laguna, así como el tiempo de retención hidráulica necesario (Cortés et al., 2015).

Treviño y Cortés (2016) señalan que idealmente, se pueden construir varias lagunas de maduración en serie para proveer un alto nivel de eliminación de patógenos. Si se usa en combinación con algas o acuicultura, este tipo de laguna es eficaz para remover la mayoría de nitrógeno y fósforo del efluente (Tilley et al. 2018).

De acuerdo con Vargas et al. (2020) una laguna de maduración se construye a una profundidad de 2 a 5 m y suelen tener un tiempo de retención relativamente corto, de 1 a 7 días. En contraste, las lagunas aquí estudiadas alcanzan tiempos de retención de hasta 28 días.

En el estudio realizado por Treviño y Cortés (2016) para el diseño reducido de una laguna de maduración indican que para una población de 1300 habitantes la profundidad de la misma constó de una profundidad de 1 m, con un volumen de 3258,49 m³, un área promedio de 3258 m² y un área superficial de 3526 m². En otro estudio realizado en Guatemala se identificó una laguna de maduración de 48 m de largo, 15 m de ancho y una profundidad promedio de 1,70 m con una población de 393 habitantes (Baca, 2020). Por otra parte, en la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba, Orellana (2016) señala que una laguna de maduración puede tener una profundidad de 1,64 m y un volumen de 121360 m³. Otro ejemplo de las dimensiones de una laguna de maduración de una planta de agua residuales en Colquerancho, Echeverría et al. (2021) exponen que

el volumen es de 3399 m³, generando un volumen total de 10197 m³ con una población aproximada de 20.000 habitantes. En el cantón Rocafuerte se encuentra la laguna de tratamiento de aguas residuales la misma que tiene una dimensión de 240 m de largo, 102 m de ancho y un área de 24480 m² para una población de 44 432 habitantes (Muñoz, 2021). En comparación con la laguna de maduración de Bahía de Caráquez, se identifica que las dimensiones como área y profundidad son aceptables en referencia a la literatura citada.

En la actualidad, se han realizado un sinnúmero de investigaciones para el tratamiento biológicos y químicos de aguas residuales, tal es el caso del trabajo elaborado por Arteaga (2015) titulado “Estudio de tipos de tratamientos biológicos en el agua residual de la Laguna de Oxidación, estación Miraflores-Manta”, donde se determinó que la calidad del agua de ingreso a las lagunas alcanza valores de temperatura de 27.5 °C, pH de 7,91, turbiedad de 114 NTU, sólidos disueltos totales de 3120 mg/l, entre otros. Con respecto al agua tratada se obtuvieron valores de pH de 5, conductividad de 5180 µS/cm, temperatura de 25 °C, sólidos disueltos totales de 3130 mg SDT/l, valores inferiores a los presentados en el ingreso del agua residual.

En los diferentes tratamientos manejados en la prueba de jarras se obtuvieron las turbiedades más bajas, teniendo en cuenta que la turbidez del efluente de la Noplanta de maduración de Bahía de Caráquez, valores que en el tratamiento químico alcanzó 14,76 NTU en el sistema sin cal, mientras que el sistema con cal arrojó unos valores promedio de 14,95 NTU. Por otra parte, al comparar con los resultados obtenidos de los demás parámetros del agua tratada en la laguna de maduración, se consiguieron valores promedio para los tratamientos sin cal del sistema químico alcanzando un pH promedio en los cuatro tratamientos de 7,82; conductividad de 2,72 mS/cm; sólidos disueltos totales de 1381,7 mg/l; sólidos totales 2100 mg/l; y un color de 284,08 unidades, siendo de tal manera sus valores superiores al agua residual inicial; sin embargo, la turbiedad sí disminuyó considerablemente. En relación a los tratamientos con cal del sistema químico se consiguió un promedio de sus valores tales como: conductividad 2,63 mS/cm; sólidos disueltos totales de 1440 mg/l; sólidos totales 2400 mg/l; pH 7,87; color 253,58 unidades.

En un estudio realizado por Poveda (2022) encontraron que la conductividad eléctrica aumenta a medida que se incrementa la concentración del floculante; en relación, este puede aumentar la reacción mejorando su proceso de coagulación.

En la investigación efectuada por Ojeda (2012) se emplearon coagulantes y floculantes de sulfato de aluminio y praestol para tratamientos de aguas residuales de la planta de Puengasi, determinando para las pruebas de jarras de 70 a 90 mg/l de sulfato de aluminio con una concentración de 1%, presentando la turbiedad más baja de 1,6 NTU en el tratamiento 4 con 85 mg/l y el color de 10 UTC. En cuanto al pH, se obtuvo un valor 6.89 siendo el pH más bajo, manteniéndose en los límites permisibles del TULSMA Anexo 1 con valores de 6,5 a 8,5. Según Duque et al. (2018) el pH es considerado un factor esencial en los procesos de transformación biológica y química en aguas residuales, por lo que es necesario estudiar su comportamiento con respecto al tiempo. Con respecto a los obtenidos en el sistema de tratamientos sin cal se observó que el color no desaparece y el olor persiste, mientras que en el sistema de tratamientos con cal se observó una reacción más rápida. Esto se evidencia por el aumento de pH para que los reactivos tengan mejor desempeño. Por otra parte, en el sistema biológico sí se notan unidades de color que comparados con los sistemas químicos su concentración es menor y sí es de consideración para ser descargada a un cuerpo de agua.

Dearmas y Ramírez (2019) en su estudio evaluaron el desempeño y eficiencia de dos coagulantes químicos: el sulfato de aluminio con una dosis de 55 mg/l, y policloruro de aluminio (PAC) una dosificaciónes de 45 mg/l a 65 mg/l y dos naturales como la moringa (*Moringa oleífera*) y cardón guajiro (*Lemaire oreus griseus*) para la remoción de nutrientes y sedimentos de afluentes de la planta de tratamientos de aguas residuales en la laguna de estabilización, teniendo como resultados concentraciones de sólidos suspendidos totales de 76,33 mg/l, removiendo 38,44% durante todo el tratamiento desde el ingreso del afluente hasta la llegada del cuerpo receptor encontrándose dentro de los límites permitidos por la normativa colombiana.

Por su parte, los resultados de las pruebas de jarras de los coagulantes alcanzan valores de turbiedad más bajas, considerando que la turbidez del efluente de la planta de tratamiento “El Salguero” presenta datos que varían considerablemente

en épocas de los cuales van desde 25 a 67 NTU. Una vez aplicado el sulfato de aluminio con una dosis de 55 mg/l se alcanzó una turbidez de 0,33 NTU, un valor relativamente bajo, demostrando la efectividad del coagulante aplicado. Con respecto al color, también se observó un cambio en el color del agua tratada (Dermas y Ramírez, 2019).

En relación a los resultados obtenidos del sistema biológico de los tratamientos sin aireación y con aireación de las muestras de agua residual de la laguna de maduración de Bahía de Caráquez se obtuvo que el T4 perteneciente al sistema sin aeración obtuvo un valor de turbiedad (0,64 NTU), color (3 unidades) y sólidos totales (446,67 mg/l) menores a los tres tratamientos estudiados siendo el tratamiento más eficiente a comparación de los otros. En el caso del pH su valor se mantuvo igual en el T2, T3 y T4; mientras que los sólidos disueltos totales en el sistema con aeración en los dos tratamiento su concentración fue de 100 mg/l.

Los resultados de esta investigación fueron comparados con la tabla 10 del anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, verificando que parámetros como el pH se encuentra dentro de los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua marina, ya que presenta valores que oscilan entre 6 a 8. Por su parte, el color de las aguas residuales sobrepasa los límites establecidos, puesto que alcanza valores que oscilan entre 50 y 514 unidades.

De acuerdo con Araujo et al. (2018), en las últimas décadas el mundo ha venido mostrando preocupación y está tratando de resolver los problemas relacionados con la disposición de los efluentes líquidos provenientes del uso doméstico, comercial e industrial de las aguas de abastecimiento (Sánchez et al., 2020). La primera prioridad que demanda una comunidad es el suministro del agua, con calidad adecuada dentro de los límites máximos permisibles de normativas aplicables y cantidad suficiente (Ronces, 2018). Ya logrado este objetivo, surge otro no menos importante que consiste en la adecuada eliminación de las aguas, ya utilizadas que se convierten en potenciales vehículos de muchas enfermedades y trastorno del medioambiente (Peña et al., 2018).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser diseñadas, construidas y operadas con el objetivo de convertir el líquido cloacal proveniente del uso de las aguas de abastecimiento, en un efluente final aceptable, y para disponer adecuadamente de los sólidos ofensivos que necesariamente son separados durante el proceso (Jiménez, 2021). Esto obliga a satisfacer ciertas normas o reglas capaces de garantizar la preservación de las aguas tratadas al límite de que su uso posterior no sea descartado (Fúquene y Yate, 2018).

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se evidenciaron resultados favorables por parte de los tratamientos con cal y sin cal en los cinco parámetros físico-químicos analizados (turbidez, pH, sólidos totales disueltos, conductividad eléctrica, color) del agua residual de la laguna de oxidación.
- En los tratamientos sin el uso de cal, se destaca la dosis de 250 mg/l de sulfato de aluminio y 10 mg/l de floculante para obtener una remoción del 96,5% de turbidez. Así mismo, se obtuvo una remoción del 96,3% mediante tratamientos con cal en dosis de 250 mg/l de sulfato de aluminio y 5 mg/l de floculante.
- En los tratamientos biológicos, se destaca la mayor remoción de turbidez mayor que 99% para procesos sin aireación, y con 100 mg/l de nutrientes.
- Se presentó un plan para la mitigación para los impactos socioambientales identificados en la laguna de oxidación con la finalidad de mitigar los impactos sobre la calidad del suelo, aire y agua presentes en el lugar de estudio.

5.2. RECOMENDACIONES

- Promover la utilización de tecnologías amigables con el ambiente, direccionando como objeto principal la minimización de los contaminantes.
- Monitorear y constatar que los parámetros de calidad del agua residual no excedan los límites máximos permisibles de la actual normativa ambiental legal vigente.
- Ejecutar, controlar y actualizar periódicamente todas las medidas propuestas en el plan para brindar un fortalecimiento en el manejo, cuidado y mayor eficiencia del cuerpo de agua.

BIBLIOGRAFÍA

- Abantangelo, N. (2019). SCRIBD. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/441228179/pH-Potencial-de-Hidrogeno-pdf>
- Academy of Nutrition and Dietetics. (2016). Eat right Pro. Retrieved from <https://www.eatrightpro.org/practice/practice-resources/international-nutrition-pilot-project/water-safety-and-sanitation-in-central-america>
- Antov, M., Sibani, M., y Petrovis, N. (2010). Protein from common bean (*Phaseolus vulgaris*) seed as a natural coagulant for potential application in water turbidity removal. *Biores. Techn*, 101, 2167-2172
- Ángel, R., Luis, A. y De La Puente, G. (2019). Consumo de agua en pediatría. *Acta pediátrica de México*, 34(2), 96-101.
- Arango Ruiz, Á. (2012). Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Producción+ limpia*, 7(1), 59-67.
- Araujo, R. (2022). Efecto de la ventilación natural en filtros percoladores en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos totales en aguas residuales–Marian–Huaraz–2021
- Araujo, L., Molina, S., y Noguera, L. (2018). Aprovechamiento de los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales como materia prima en la industria de la construcción: revisión bibliográfica. *Revista Agunkuyâa*, 8(1), 21-28.
- Arévalo, M., Van, W., Alvarado, A., Goethals, P., y Larriva, J. (2017). Análisis espacial-temporal de procesos relacionados con concentraciones de oxígeno disuelto en lagunas de maduración. *Maskana*, 8(2), 115-123.
- Arnáiz, C., Isac, L., y Lebrato, J. (2020). Tratamiento biológico de aguas residuales. *Tecnología del Agua*, 1.
- Arteaga, B. (2015). Estudio de tipos de tratamientos biológicos en el agua residual de la Laguna de Oxidación, estación Miraflores-Manta. Obtenido de Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí:

<https://repositorio.uileam.edu.ec/bitstream/123456789/3773/1/ULEAM-IAL-0074.pdf>

- Asche, F., Anderson, J. L., Botta, R., Kumar, G., Abrahamsen, E. B., Nguyen, L. T., y Valderrama, D. (2021). The economics of shrimp disease. *Journal of invertebrate pathology*, 186, 107397.
- Atencia, L. E. (2021). Validación del método gravimétrico sm 2540 b para el análisis de sólidos totales en agua natural y residual en el laboratorio de aguas de la Universidad de Córdoba.
- Aumassanne, C. (2015). Variaciones en la conductividad eléctrica del agua para riego en la cuenca del río Colorado, Argentina. In Congreso Nacional del Agua. 25. CONAGUA 2015. 2015 06 15-19, 15 al 19 de junio de 2015. Paraná, Entre Ríos.
- Baca, J. (2020). Producción de lodos per cápita, en lagunas de estabilización, de aguas residuales domésticas. *Agua, Saneamiento & Ambiente*. 15 (1).
- Banchón, C., Baquerizo, R., Muñoz, D., y Zambrano, L. (2016). Coagulación natural para la descontaminación de efluentes industriales. *Enfoque UTE*, 7(4), 111-126.
- Bracho, N., y Aldana, G. (2007). Determinación de la velocidad del fluido en las lagunas de maduración de Lidsey. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 1(2).
- Bedoya, K., Acevedo, J., Peláez, C., y Agudelo, S. (2019). Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia). *Revista de Salud Pública*, 15, 778-790.
- Benítez, E. M. L., Verdecia, G. M., y Castell, M. A. P. *AMBIMED* 2021.
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2021, February 19). Industry. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/technology/industry>
- Cabrera, N. C., Simancas, E. D. P., y Hernández, A. R. (2018). Ensayo de coagulantes naturales extraídos de *Ipomoea incarnata* y *Moringa oleífera* en la depuración de aguas residuales industriales en Cartagena de Indias. *Prospectiva*, 16(2), 94-99.

- Camareno, M., y Romero Esquivel, L. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. Tecnología en marcha.
- Cadena, P., Rendón, R., Aguilar, J., Salinas, E., Cruz, F., y Sangerman, D. (2018). Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(7), 1603-1617.
- Cárdenas, J. V. (2022). Análisis de escenarios de optimización de las lagunas de maduración de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba, mediante modelación CFD.
- Cedeño, H. (2020). Analysis of the water quality parameters of the dead river effluent for possible reuse of Manta Canton, Ecuador. Polo del Conocimiento, 5(2), 579-604.
- Cedeño G., y Chávez J. (2018). Plan de manejo integral de residuos sólidos en la Comunidad Puerto Ébano del Cantón Sucre (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Cervantes, A., Cruz, M., Aguilar, R., Castilla, P., y Meraz, M. (2018). Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua tratada en un reactor UASB escala piloto. Revista mexicana de ingeniería química, 10(1), 67-77.
- CONSORCIO HTA. (2008). Planta de tratamiento de aguas residuales Bello. Obtenido de https://www.grupo-epm.com/site/Portals/22/Docs/documentos_de_interes/ptar_bello/hta-a-rp-01-10-c07-r2.pdf?ver=2015-06-16-124546-027
- Chacón, I., y Ramos, C. (2019). Optimización de parámetros para remoción de turbidez, DBO5 Y DQO mediante procesos de coagulación/floculación de aguas residuales domésticas empleando organoarcilla. Obtenido de Universidad Peruana Unión.

- Chila, G., y Zevallos, R. C. (2018). Calidad del agua en piscinas de geomembrana y suelo para la cría de chame (dormitator latifrons) ubicadas en el área agropecuaria, ESPAM MFL. ESPAM MFL, 15.
- Cortés, F., Treviño, A., Alcorta, M., Sáenz, A., y González, J. (2015). Optimización en el diseño de lagunas de estabilización con programación no lineal. Tecnología y ciencias del agua, 6(2), 85-100.
- Crombet, S., Abalos, A., Rodríguez, S., y Pérez, N. (2020). Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria. Revista colombiana de Biotecnología, 18(1), 49-56.
- Cruz, A. (2018). Familias de agua subterránea y distribución de sólidos totales disueltos en el acuífero de La Paz Baja California Sur, México. Terra Latinoam.
- Día, V. (2017). La contaminación ambiental (Bachelor's thesis, LATACUNGA/UTC/2017).
- De La Cruz, Y. (2018). Efecto de la dosificación de lechada de cal en la remoción del manganeso del agua de mina de la UM Huarón 2018.
- Del Real, J., Aguilar, O., y García, J. (2021). Tratamiento de aguas residuales provenientes del proceso de elaboración de fertilizante orgánico líquido con alta carga de nitrógeno. Obtenido de Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/767/1/Brunet%20Merary%20Arrazate%20Zazueta.pdf>
- Dearmas, D., y Ramírez, L. (2015). Nutrient Removal using natural and chemical coagulants in waste water treatment plant, Valledupar Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 6(2).
- Díaz, Y. (2019). Eficiencia de la aplicación de policloruro de aluminio en postratamiento de aguas industriales en palma de aceite. Temas agrarios, 24(2), 158-169.
- Duque, P., Heras, C., Lojano, D., y Vilorio, T. (2018). Modelamiento del tratamiento biológico de aguas residuales; estudio en planta piloto de contactores biológicos

rotatorios. Revista Ciencia UNEMI, 11(28), 88-96. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5826/582661251008/582661251008.pdf>

Echeverría, I., Escalante, C., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., y Montoya, R. (2021). Evaluation of a municipal wastewater treatment plant based on stabilization ponds coupled to a compartment anaerobic reactor. *Inv y Des.* 21(1).

Esparza, G., Ariza, B., Bedoya, A. M., Bustos, I., Castañeda, C. R., De la Cadena, E., y ACIN, I. (2018). Estrategias para la implementación y reporte de los puntos de corte CLSI vigentes y pruebas fenotípicas confirmatorias para BLEE y carbapenemasas en bacilos Gram negativos en laboratorios clínicos de Colombia. *Infectio*, 17(2), 80-89

Esparza, E., y Gamboa, N. (2001). Contaminación debida a la industria curtiembre. *Revista de química*, 15(1), 41-63.

EPA. (2022). United State Environmental Protection Agency. Obtenido de <https://www.epa.gov/standards-water-body-health/what-are-water-quality-standards>

FAO. (20 de septiembre de 2002). FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/3/t0566s/t0566s14.htm>

Farina, M. E. (2018). Reseña sobre el Patrimonio Arqueológico de la Reserva Natural Integral y Mixta Laguna de Rocha (Esteban Echeverría, Buenos Aires). I Jornadas Argentinas de Paleontología y Arqueología Urbana. Ciudad de Buenos Aires.

Febles, J., y Hoogesteijn, A. (2019). Evaluación preliminar de la eficiencia en las lagunas de oxidación de la ciudad de Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 14(2), 127-137.

Febles, J., y Hoogesteijn, A. (2018). Análisis del marco legal para la protección del agua subterránea en Mérida, Yucatán. *Ingeniería*, 12(3), 71-79.

Fischedick, M., Roy, J., Abdel-Aziz, A., Acquaye, A., Allwood, J., Ceron, J. P., y Tanaka, K. (2014). *Industry*.

- Fondos de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF]. (2020, noviembre 19). Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. Retrieved from <https://www.unicef.org/ecuador/comunicados-prensa/d%C3%ADa-mundial-del-retrete-un-llamado-la-acci%C3%B3n-para-lograr-el-acceso-universal-al>
- Flaten, T. (2001). Aluminium as a risk factor in Alzheimer's disease, with emphasis on drinking water. *Brain Res*, 187-196.
- Fúquene, D. M., y Yate, A. V. (2018). Ensayo de jarras para el control del proceso de coagulación en el tratamiento de aguas residuales industriales. *Documentos de trabajo ECAPMA*, 2(1).
- García, L., López, F., Moreno, G., y Ortigosa, C. (2018). El método experimental profesional en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la Química General para los estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica. *Revista Cubana de Química*, http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212018000200013
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Sucre. (2015). Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial. In G. A. SUCRE. Bahía de Caráquez: SENPLADES.
- Gómez, E., Navas, D., Aponte, G., y Betancourt, L. (2014). Metodología para la revisión bibliográfica y la gestión de información de temas científicos, a través de su estructuración y sistematización. *DYNA*, 199.
- Gutiérrez, W. (2019) Optimización de recursos de Lavadora y Lubricadora Guti. Universidad Espíritu Santo. Obtenido de <http://repositorio.uees.edu.ec/bitstream/123456789/1000/1/Plan%20de%20negocios%20GUTI.pdf>
- Gutiérrez, H., y Vara, R. (2008). Análisis y diseños de experimentos. México: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., y García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: Una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.

- Haghiri, S., Daghighi, A., y Moharramzadeh, S. (2018). Optimum coagulant forecasting by modeling jar test experiments using ANNs. *Drinking Water Engineering and Science*, 11(1), 1-8.
- Harris, D., y Fuller, D. (2021). Agriculture: definition and overview. *Encyclopedia of global archaeology*, 104-113.
- Hernández, H., Buitrón, G., López, C., y J Cervantes, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. IWA publishing.
- Herrán, R. A. (2020). Análisis de contenidos estomacales en peces. Revisión bibliográfica de los objetivos y la metodología. *Informes técnicos (Instituto Español de Oceanografía)*, (63), 3-74.
- Iannacone, J., y Argota, G. (2020). Passive mineral treatment system before the sustainable environmental cost in the oxidation Angostura Limón, ICA, Perú. *Biotempo*, 17(1), 79-90. Obtenido de <http://revistas.urp.edu.pe/index.php/Biotempo/article/view/2998/3164>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2016, OCTUBRE). Instituto Nacional De Estadística y Censos. Retrieved from https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf
- Jiménez, A. M. (2020). La contaminación ambiental. *Tecnología en Marcha*, 5(1), 9-15.
- Jiménez, D. F. R. (2021). Sistema de medición y control de temperatura para un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 9(1), 100-113.
- Lecca, E., y Lizama, E. (2018). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial data*, 17(1), 71-80.
- Leung, P., y Engle, C. (Eds.). (2018). *Shrimp culture: economics, market, and trade*. John Wiley & Sons.

- Ley Orgánica del Ecuador. (10 de marzo, 1964). Ley de Mataderos, Art 2. Obtenido de <https://www.epmrq.gov.ec/images/lotaip/leyes/lm.pdf>
- Larios, F., Taranco, C., y Morales, Y. (2015). Aguas Residuales y sus consecuencias en el Perú. Universidad San Ignacio de Loyola.
- López, A. B. (2019). Impacto ambiental del manejo actual de residuos de papel en la carrera de Medio Ambiente de la ESPAM MFL (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM).
- Lorenzo, Y. (2020). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 40(2), 10-17.
- Lou, L. (2020, Marzo 19). Retrieved from <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank>
- Llamba, E. G., y López, W. I. (2020). Estado del arte de la caracterización de efluentes residuales del proceso de Desamargado del lupinus mutabilis sweet y su Propuesta Metodológica (Bachelor's thesis, Ecuador, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi UTC.).
- Lugones, M., y Ramírez, M. (2018). Cólera. Revista Cubana de Medicina General Integral, 27(2), 284-288.
- Macías, K. (2019). Evaluación ex post de los impactos socio-ambientales de la laguna de oxidación de la ciudad de Portoviejo. Obtenido de Universidad Estatal del Sur de Manabí: <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1536/1/UNESUM-ECU-ING.MEDIO-2019-03.pdf>
- Martínez, I., J.Soto, y A.Lahora. (2020).
- Miao, J., Guo, X., Liu, W., Yang, D., Shen, Z., Qiu, Z., y Jin, M. (2018). Total coliforms as an indicator of human enterovirus presence in surface water across Tianjin city, China. BMC infectious diseases, 18(1), 1-9.

- Miranda, A., Ramkumar, N., Andriotis, C., Höltkemeier, T., Yasmin, A., Rochfort, S., y Mouradov, A. (2017). Applications of microalgal biofilms for wastewater treatment and bioenergy production. *Biotechnology for Biofuels*, 10(1), 1-23.
- Moncada, P. (2021). Operación e impacto ambiental de la laguna de oxidación en el distrito de Chilca. Obtenido de Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/5422/TESIS%20MONCADA%20CUEVA%20PAUL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mora, A. (2015, Julio 12). Retrieved from <https://www.corteidh.or.cr/tablas/r37732.pdf>
- Morán, D. (2014). Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz. Obtenido de Universidad Rafael Landívar: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2014/06/15/Macloni-Diego.pdf>
- Montecé, K. T., y Solís, J. A. (2018). Estudio cinético de un Biorreactor en serie para la remoción de carga orgánica en Agua Residual Sintética, utilizando bacterias selectivas (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química)
- Montoya, M. L., Zapata, P. M., y Correa, M. A. (2019). Contaminación ambiental por PM10 dentro y fuera del domicilio y capacidad respiratoria en Puerto Nare, Colombia. *Revista de Salud Pública*, 15, 103-115.
- Morillo, L. D., Naranjo, D. A., Pérez, J., Villacis, W. E., Vargas, P., y Muñoz, F. (2019). Remoción de tensoactivos y coliformes en aguas residuales domésticas mediante procesos Fenton. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(4), 931-943.
- Muñoz, A. (2018). Caracterización y tratamiento de aguas residuales.
- Muñoz, P. (2021). Rediseño de las lagunas de tratamiento de aguas residuales del cantón Rocafuerte
- National Geographic. (2 de junio de 2022). National Geographic Society. Obtenido de <https://education.nationalgeographic.org/resource/agriculture>

- Negrete Pinilla, N. (2019). Plan de manejo ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Anapoima. Universidad Piloto De Colombia.
- Newman, G. (2019). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus*, 12(Ext), 180-205.
- Ocha. (2016, Agosto 30). Relief web. Retrieved from <https://reliefweb.int/report/world/snapshot-world-s-water-quality-towards-global-assessment-enaresfruu>
- Oliveros Yepes, D. M., y Wild Doria, J. C. (2019). Evaluación de la eficiencia de remoción de nutrientes presentes en aguas residuales municipales en un sistema de tratamiento terciario.
- Orellana, I. (2016). Resultados generales Perdida de volumen. Cuenca
- Ordoñez, M., y Torres. J. (2022). Obtención del coagulante sulfato férrico a partir de la precipitación selectiva de hierro presente en una solución “Barren”.
- Ojeda, L. (2012). Determinación de la eficiencia de las características coagulantes y floculantes del *tropaeolum tuberosum*; en el tratamiento del agua cruda de la planta de Puengasí de la EPMAPS. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/3866/1/UPS-QT03424.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). Naciones Unidas. Obtenido de <https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/page/objetivos-de-desarrollo-sostenible>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2017). WATER POLLUTION FROM AGRICULTURE: A GLOBAL REVIEW. In J. Sagasta, S. Marjani Zadeh, & H. Turrall.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2016). Organización de las Naciones Unidas para la Educacion, la Ciencia y la Cultura. Retrieved from <https://en.unesco.org/waterquality-iiwq/wq-challenge>

- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2022, marzo 21). Organización Mundial de la Salud. Retrieved from <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- Ortiz, D. (2011). Manual de Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales para poblaciones medianas de la Región Sur del Ecuador. Obtenido de Universidad Técnica Particular de Loja.
- Paucar, T. V. (2021). Sistema de medición y adquisición de datos del potencial de hidrogeno (PH) para un fotobiorreactor de microalgas (Bachelor's thesis).
- Peroni, M. (2020). Desarrollo de un sistema integrado para la potabilización de aguas contaminadas con oxoaniones: Remoción empleando nano-materiales y eliminación mediante catalizadores estructurados. In Encuentro de Becaries de Posgrado de la UNLP (EBEC) (Modalidad virtual, 12 de noviembre de 2020).
- Peña, S., Mayorga, J., y Montoya, R. (2018). Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de yaguachi (Ecuador). Universidad de los Andes. Retrieved from <https://www.redalyc.org/journal/5075/507557606007/html/>
- Ponce, Z., y Javier, N. (2019). Relación entre el consumo de agua cruda y la incidencia de enfermedades en ganado aviar en la granja avícola “Zambrano Ponce” (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL).
- Poveda, R. (2022). Obtención de coagulantes/floculantes orgánicos a partir de extractos naturales y evaluación de su potencial como coadyuvante en el proceso de tratamiento de agua.
- Rodríguez, H. (2018). Iagua. Retrieved from <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- REA. (25 de octubre de 2019). REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Obtenida de <https://dle.rae.es/camal>
- Rivera, M., Barahona, W., Costales, J., Lalvay, X., y Guachichullca, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional, 6(3), 228-245.

- Romero, J. (2019). Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería
- Rolim, S. (2000). Sistemas de lagunas de estabilización. Bogotá: Editorial McGraw-Hill.
- Ronces, M. M. (2018). Evaluación de funcionamiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de un municipio del sureste de México.
- Sánchez, I., y Matsumoto, T. (2012). Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHASolteira (SP) por lagunas facultativas primarias. *Ingeniería y Desarrollo*, 30(2).
- Sánchez, M., y Uribe, C. (2018). Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil. *Revista Campus*, 23(26).
- Sánchez, J., Saltos, L., Obando, M., y Rizo, H. (2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 5(1), 23-27.
- Saravia, C. D. (2009). Comercialización y mercados agropecuarios. UNL Pam., Santa Rosa, 14.
- Sierra, J. (2019). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando médula de banano como coagulante. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 131-138.
- Sigler, A. (2017). Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales. Obtenido de Well Educated Educación en el Agua de Pozo: http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS, 20, 2012-11.
- Schumann, M., y Brinker, A. (2020). Understanding and managing suspended solids in intensive salmonid aquaculture: a review. *Reviews in Aquaculture*, 12(4), 2109-2139.
- Shahzad, M., Meraj, M., Nazeer, M., Zia, I., Inam, A., Mehmood, K., y Zafar, H. (2018). Empirical estimation of suspended solids concentration in the Indus Delta

- USGS. (2018). Science for changing world. Obtenido de <https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/water-quality-information-topic#overview>
- TECNICAS CBB S.A. (2020). Proyecto:"Intervención en la infraestructura existente y propuesta para la repontenciación de la unidad educativa Quevedo, ubicada en el Catón Quevedo, Provincia de los Ríos". Ministerio de Educación.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., y Zurbrügg, C. (2018): Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Dübendorf (Suiza): Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática (Eawag), 2da. edición revisada.
- Treviño, A, y Cortés, F. (2016). Método de diseño reducido para lagunas de estabilización. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(4), 729-742
- Trujillo, A. F. O., y Cajigas, M. E. M. (2018). Validación de un método para el análisis de color real en agua. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1), 143-155.
- Umek, M. (2016). Development and validation of analytical method B according to standard sist en ISO 7887:2012 for water color determination. Maribor
- Vargas, F. (2018). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. *Revista española de salud pública*, 79, 117-127.
- Vargas, M., y Romero, L. (2016). Desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en países en desarrollo. Centro de investigación en protección ambiental.
- Vargas, K.N., Calderón, J, Velásquez, D, Castro, M, y Núñez, A. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 28(2), 315-322
- Vejarano, R., y Príncipe, E. (2021). Influencia de dosificación de quitosano y tiempo en la remoción de sólidos suspendidos totales y turbidez en aguas residuales municipales.

- Velasco Taipe, G. (2018). Evaluación de la eficiencia en la remoción de materia orgánica en una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Manta. Universidad Central del Ecuador.
- Véliz, E., Llanes, J., Fernández, L., y Bataller, M. (2010). Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales. CENIC. Ciencias Químicas.
- Villabona Á., Paz I., y Martínez J. (2020). Caracterización de la *Opuntia ficus-indica* para su uso como coagulante natural. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(1), 137-144.
- Villacis, A. (2011). Estudio de un Sistema de Depuración de Aguas Residuales para reducir la contaminación de Río Ambato y los sectores aledaños, en el sector de Pisocucho, de la parroquia Izamba, del Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato.
- Walker, Baumgartner, Gerba, y Fitzsimmons. (2019). Surface Water Pollution. Retrieved from <https://pdf.sciencedirectassets.com/321064/3-s2.0-C20170004809/3-s2.0-B9780128147191000161/main.pdf?X-Amz-Security-Token=IQoJb3JpZ2luX2VjEDMaCXVzLWVhc3QtMSJGMEQCIG05%2Bkn0e36OZJr6ACKnU9VOhW2Zu%2BXxYxN1olwpV71UAiAU%2BMtBglom%2FpveJeyDqHstajvqG2%2Bj2EW6tGfX>
- Yin, C. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochem*, 1437-1444.
- Zhang, K., Jinadasa, K., Gersberg, R., Liu, Y., Tan, S., y Ng, W. (2015). Application of constructed wetlands for wastewater treatment in tropical and subtropical regions (2000-2013). *Journal of Environmental Sciences*, 30.
- Zumdahl S., y Zumdahl S. (2003). Atomic Structure and Periodicity (Estructura atómica y periodicidad). En *Chemistry (Química)* (6th ed., pp. 290-94), Boston, MA: Houghton Mifflin Company

ANEXOS

Anexo 1. Tabla 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua marina -TULSMA

TABLA 10. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA MARINA				
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible	
			(A) Descargas en zona de rompientes	(B) Descarga mediante emisarios submarinos
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30,0	30,0
Arsénico total	As	mg/l	0,5	0,5
Aluminio	Al	mg/l	5,0	5,0
Cianuro total	CN	mg/l	0,2	0,2
Cinc	Zn	mg/l	10,0	10,0
Cobre	Cu	mg/l	1,0	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5	0,5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100 ml	2000	2000
Color	Color verdadero	unidades de color	*Inapreciable en dilución: 1/20	*Inapreciable en dilución: 1/20
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	200,0	400
Demanda Química de Oxígeno	DBO	mg/l	400,0	600
Hidrocarburos totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0	20,0
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01	0,01
Nitrógeno total kjedahl	N	mg/l	40,0	40,0
Potencial de hidrógeno	pH		6-9	6-9
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	250,0	250,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5	0,5
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	µg/l	50,0	50,0
Compuestos organofosforados	Organofosforados totales	µg/l	100,0	100,0
Carbamatos	Especies totales	mg/l	0,25	0,25
Temperatura	°C		<35	<35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5

*La apreciación del color se estima sobre 10 cm de diluida.

Anexo 2. Registro fotográfico



Anexo 2A. Visita de reconocimiento de la laguna de oxidación



Anexo 2B. Limpieza del área donde se realizó el experimento.



Anexo 2C. Tomas de muestras de la Laguna de Oxidación.



Anexo 2D. Muestra de aguas residual con cal



Anexo 2E. Muestras de agua residual sin cal



Anexo 2F. Muestras de agua residual mediante oxidación



Anexo 2G. Fase de laboratorio

