



UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE LOS AFLUENTES Y EFLUENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES REGULADO POR LA EMPRESA PÚBLICA MANCOMUNADA AGUAPEN-EP, UBICADO EN LA CABECERA CANTONAL DEL CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

ÁNGEL GABRIEL FLORES SUÁREZ
EDUARDO JAVIER POZO MEREJILDO

TUTOR:

ING. LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCÍVAR, PhD.

La Libertad, Ecuador

2022-2

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE LOS AFLUENTES Y EFLUENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES REGULADO POR LA EMPRESA PÚBLICA MANCOMUNADA AGUAPEN-EP, UBICADO EN LA CABECERA CANTONAL DEL CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

ÁNGEL GABRIEL FLORES SUÁREZ

EDUARDO JAVIER POZO MEREJILDO

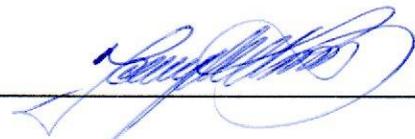
TUTOR:

ING. LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCÍVAR, PhD.

La Libertad, Ecuador

2022-2

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

Ing. Jonny Raúl Villao Borbor, MSc.

DIRECTOR DE CARRERA

f. 

Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcivar, PhD.

DOCENTE TUTOR

f. 

Ing. Gastón Proaño Cadena, MSc.

DOCENTE ESPECIALISTA

f. 

Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcivar, PhD.

DOCENTE UIC

DEDICATORIA

Este proyecto final va dedicado con mucho orgullo a mis padres: el Sr. Ángel Flores y la Sra. Esmérita Suárez que, con su infinito amor, su sabiduría y comprensión, han hecho de esta persona que es hoy en día, responsable llena de metas y objetivos que cumplir. Gracias por enseñarme que el mejor acto de amor que se les puede inculcar a los hijos es la educación.

A mi querida esposa, Lcda. Genesis Mera desde el primer momento en que entre en la universidad me brindo su total apoyo para poder cumplir este anhelo de superación y lograr ser un profesional, con su amor siempre supo orar por mí, cuidarme en cada uno de los momentos difíciles que tuve que pasar durante mi periodo estudiantil.

A mi hijo Oziel Flores, es el mejor regalo que Dios me ha dado. Mi mayor tesoro, bendición y también la fuente de mi inspiración; estoy muy agradecido con la vida por todos los momentos de felicidad con los que he compartido junto a él, por darle sentido a mi vida y permitirme ser cada día mejor padre junto a ti.

Es un honor dedicarles este objetivo, que con su gran ayuda, comprensión, amor, dedicación y esfuerzo lo he logrado.

ÁNGEL GABRIEL FLORES SUÁREZ

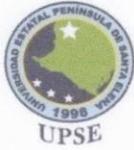
Este trabajo quiero dedicarlo de manera muy especial a mis padres Eduardo Pozo Tigreiro y Juana Merejildo Murillo, quienes con su amor incondicional y apoyo han estado conmigo a pesar de todas las dificultades que se me han presentado a lo largo de este proceso estudiantil y personal.

A mis tíos Wilson Pozo Tigreiro, Gilberto Pozo Tigreiro y Juan Pozo Tigreiro quienes han sido fundamental en mi formación profesional brindándome trabajo, experiencia y conocimientos en el área de la construcción y poder cumplir mis metas.

A mis abuelos, hermanos y compañeros de la carrera por el apoyo, cariño, ánimos y consejos para no desmayar en la lucha y seguir adelante a pesar de todo y culminar con éxito cada semestre de la universidad.

EDUARDO JAVIER POZO MEREJILDO

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO



Facultad de
Ciencias de la Ingeniería
Ingeniería Civil

ID: bc633a420592ee91c2cd2faa677afb29d29b8d3e

La Libertad, 14 de febrero del 2023

CERTIFICADO ANTIPLAGIO

DOCENTE UIC LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR-2022

En calidad de tutor del trabajo de titulación denominado “EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE LOS AFLUENTES Y EFLUENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES REGULADO POR LA EMPRESA PÚBLICA MANCOMUNADA AGUAPEN-EP, UBICADO EN LA CABECERA CANTONAL DEL CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”, elaborado por los estudiantes FLORES SUÁREZ ANGEL GABRIEL y POZO MEREJILDO EDUARDO JAVIER con C.I. 2450179136 y 0928563527 respectivamente, egresados de la Carrera de Ingeniería civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, previo a la obtención del título de **INGENIERO CIVIL**, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio **COMPILATIO**, luego de haber cumplido los requerimientos exigidos de valoración, el presente proyecto ejecutado, se encuentra con **9%** de la valoración permitida, por consiguiente se procede a emitir el presente informe.

Adjunto reporte de similitud.

Atentamente,

Ing. Lucrecia Moreno Alcívar, PhD.

C.I.: 0911164127

DOCENTE TUTOR

Archivo. CC.

Dirección: Campus matriz, La Libertad - prov. Santa Elena - Ecuador
Código Postal: 240204 - Teléfono: (04) 2-781732
www.upse.edu.ec



REPORTE DE SIMILITUD



Tesis (Flores y Pozo)

9% Similitudes
2% Texto entre comillas
< 1% similitudes entre comillas
1% Idioma no reconocido

Nombre del documento: Tesis (Flores y Pozo).docx
ID del documento: bc633a420592ee91c2cd2faa677afb29d29b8d3e
Tamaño del documento original: 92,5 ko
Depositante: LUCRECIA CRISTINA MORENO ALCIVAR
Fecha de depósito: 14/2/2023
Tipo de carga: interface
Fecha de fin de análisis: 14/2/2023
Número de palabras: 7621
Número de caracteres: 50.081

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Documento de otro usuario #168427 El documento proviene de otro grupo 9 fuentes similares	5%		Palabras idénticas: 5% (301 palabras)
2	rraam.cedta.edu.ec https://rraam.cedta.edu.ec/Record/UPSE_1a1707683Gd7a762bae5ad48815751 7 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (260 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec Evaluación estadística de los parámetros de análisis físico... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/405005967/1/UPSE-TIC-2021-0009.pdf 6 fuentes similares	3%		Palabras idénticas: 3% (234 palabras)
4	repositorio.cepal.org Agencia 2030 para el Desarrollo Sostenible y sistemas de mon... https://repositorio.cepal.org/bitstream/11362/42358/2/S1700889.es.pdf.es 20 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (118 palabras)
5	es.wikipedia.org Objetivos de Desarrollo Sostenible - Wikipedia, la enciclopedia libre https://es.wikipedia.org/wiki/Objetivos_de_Development_Sostenible 18 fuentes similares	2%		Palabras idénticas: 2% (115 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.uta.edu.ec Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales ... https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/13458765/13499/1/Tesis_L.C._1508_-_Mapa_PorR... El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (17 palabras)
2	Documento de otro usuario #12460 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (15 palabras)
3	accedcris.ulpgc.es Propuesta para la mejora de la operación de sistemas de depu... https://accedcris.ulpgc.es/handle/document/10533/1348/1/1/werecota_TFT_Melanie_Lucia_Rodríguez_P... El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
4	www.studocu.com Artículo Investigación sobre el aborto - CIENCIA Y ENFERMERIA ... https://www.studocu.com/publicacion/tesis/tesis-tecnologica-del-centro-investigacion-academica/...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Nosotros, ANGEL GABRIEL FLORES SUÁREZ y EDUARDO JAVIER POZO MEREJILDO, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE LOS AFLUENTES Y EFLUENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES REGULADO POR LA EMPRESA PUBLICA MANCOMUNADA AGUAPEN-EP, UBICADO EN LA CABECERA CANTONAL DEL CANTON SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, Carrera de INGENIERÍA CIVIL, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

AUTORES

f. 

Flores Suárez Angel Gabriel

C.I. 2450179136

f. 

Pozo Merejildo Eduardo Javier

C.I. 0928563527

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ingeniera

Lucrecia Cristina Moreno Alcívar, PhD.

TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo “EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE LOS AFLUENTES Y EFLUENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES REGULADO POR LA EMPRESA PUBLICA MANCOMUNADA AGUAPEN-EP, UBICADO EN LA CABECERA CANTONAL DEL CANTON SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”, previo a la obtención del Título de INGENIERO CIVIL elaborado por el Sr. ANGEL GABRIEL FLORES SUÁREZ y el Sr. EDUARDO JAVIER POZO MEREJILDO, egresados de la CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL, Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

Atentamente,

f. 

Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar, PhD.

C.I. 0911164127

DOCENTE TUTOR

Lic. ALEXI JAVIER HERRERA REYES

Magíster En Diseño Y Evaluación

De Modelos Educativos

La Libertad, febrero 3 del 2023.

Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación en opción al título de **INGENIERO CIVIL** de: **FLORES SUAREZ ANGEL GABRIEL & POZO MEREJILDO EDUARDO JAVIER**, cuyo tema es: **“EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE LOS AFLUENTES Y EFLUENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES REGULADO POR LA EMPRESA PÚBLICA MANCOMUNADA AGUAPEN-EP, UBICADO EN LA CABECERA CANTONAL DEL CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”**, me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.



Lic. Alexi Herrera R, MSc.

Docente de Español A: Literatura

Cel: 0962989420

e-mail: alexiherrerareyes@hotmail.com

AGRADECIMIENTOS

Hoy después de terminar este proyecto final quiero extender un agradecimiento infinito al ser supremo mi querido Dios, por ser mi guía, acompañarme en todo el transcurso de mi vida brindándome sabiduría y todas las fuerzas necesarias para culminar con éxito mis metas propuestas durante todo el periodo universitario de esta hermosa carrera, la cual supo darnos grandes momentos de felicidad y también situaciones difíciles, pero a su vez aportando los conocimientos necesarios, para así con el mayor ímpetu decir que logre obtener el título de Ingeniero Civil.

A mi familia, el mejor motivo y razón de estudiar desde el primer momento hasta concretar con éxito mis metas planteadas y sueños que hoy se convierten en una realidad, fueron un fuerte apoyo a lo largo de este trayecto encaminado en un solo objetivo.

A los docentes de nuestra Carrera de Ingeniería Civil por todo el conocimiento facilitado mediante las cátedras impartidas y cada uno de los conocimientos adquiridos hoy en día, posibles para la elaboración del proyecto de titulación y formar nuestro carácter técnico y profesional.

A nuestra tutora de tesis, Ing. Lucrecia Moreno PhD quien con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación. A el Ing. Joan Suarez, por sus consejos, enseñanzas, apoyo y sobre cómo desarrollar de una manera excelente este trabajo orientándonos desde el comienzo hasta poder terminar este proyecto de Titulación.

ÁNGEL GABRIEL FLORES SUÁREZ

Es grato saber que eh culminado una etapa más de mi vida, por ese motivo quiero agradecer primeramente a Dios por brindarme salud, fuerzas y sabiduría para cumplir una de muchas de mis metas que me eh propuesto las cuales no han sido fáciles, pero se han logrado.

A mis padres Eduardo Pozo Tigrero y Juana Merejildo Murillo quienes han sido un pilar fundamental en mis estudios, brindándome su confianza y todo el apoyo necesario para el alcanzar este logro de mi vida.

A mis hermanos, tíos y abuelos, quienes me han inculcado los deseos de superación y animándome a estudiar para ser un profesional.

A mis docentes, compañero de tesis y demás compañeros de la carrera, por estar dispuestos siempre a ayudar en temas complejos de algunas materias, gracias por su conocimiento y paciencia brindada.

A la constructora PEÑAFIEL CONSTRUCTORES INMOBILIARIOS S.A. de Guayaquil por brindarme su confianza a ejercer, aprender y aportar en esta prestigiosa empresa, por la consideración de mi etapa estudiantil y apoyo económico por el trabajo realizado, el cual me es de mucha ayuda para realizar este trabajo de titulación, gracias infinitas.

Agradecer de forma especial a nuestra tutora Ing. Lucrecia Moreno Alcívar Mg., y al Ing. Joan Suarez, quienes con su conocimiento, experiencia y colaboración permitieron la importante ejecución del nuestro proyecto de titulación.

EDUARDO JAVIER POZO MEREJILDO

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO	v
DECLARACIÓN DE AUTORIA	vii
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	viii
CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGIA	ix
AGRADECIMIENTOS	x
TABLA DE CONTENIDO	xii
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABLAS	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. HIPÓTESIS	6
1.3.1. Hipótesis General	6
1.3.2. Hipótesis Específicas	6
1.4. OBJETIVOS	7
1.4.1. Objetivo General	7
1.4.2. Objetivos Específicos	7
1.5. ALCANCE	7
1.6. VARIABLES	8
1.6.1. Variables Independientes	8
1.6.2. Variables Dependientes	8
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	9
2.1. AGUAS RESIDUALES (DEFINICIÓN)	9
2.2. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	11
2.3. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	12
2.4. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)	12
2.5. COLIFORMES FECALES (CF)	13
2.6. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	14
2.7. LAGUNAS FACULTATIVAS	15
2.8. LAGUNAS ANAEROBIAS	16
2.9. LAGUNAS DE MADURACIÓN	17
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	19
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	19
3.1.1. Tipo	19

3.1.2. Nivel	19
3.2. ENFOQUE, MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
3.2.1. Enfoque	20
3.2.2. Método	20
3.2.3. Diseño	21
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	21
3.3.1. Población	21
3.3.2. Muestra	22
3.3.3. Muestreo	22
3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO.....	22
3.5. METODOLOGIA DEL OE.1: RECOPIACIÓN DE MUESTRAS SIMPLES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN SANTA ELENA	23
3.6. METODOLOGIA DEL OE.2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE AGUA RESIDUAL MEDIANTE LA PRUEBA NO PARAMÉTRICA DE WILCOXON PARA MUESTRAS RELACIONADAS (AFLUENTE Y EFLUENTE). 24	
3.7. METODOLOGIA DEL OE.3: DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA A PARTIR DEL CÁLCULO DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA	27
3.7.1. <i>Cálculo de Tiempos de Retención Hidráulica (TRH) en cada parte del sistema lagunar Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)</i>	27
3.7.2. <i>Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Carga Contaminante en cada Sistema Lagunar, Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)</i>	30
3.7.3. <i>Cálculo de la Constante de Degradación en cada Sistema Lagunar, Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)</i>	30
3.7.4. <i>Normativa Ecuatoriana de Descarga de Efluentes a un Cuerpo de Agua Dulce (Parámetros Estudiados)</i>	32
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE.1: RECOPIACIÓN DE MUESTRAS SIMPLES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN SANTA ELENA	33
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE.2: EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LA CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL CANTÓN SANTA ELENA	36
4.2.1. <i>Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)</i>	37

4.2.2. Prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon para Muestras Relacionadas	40
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE.3: DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA A PARTIR DEL CÁLCULO DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA.	47
4.3.1. Cálculo de Tiempos de Retención Hidráulica (TRH) en cada parte del sistema lagunar Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)	47
4.3.2. Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Carga Contaminante en cada Sistema Lagunar, Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)	48
4.3.3. Cálculo de la Constante de Degradación en cada Sistema Lagunar, Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)	49
4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	49
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. CONCLUSIONES	54
5.2. RECOMENDACIONES	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
ANEXOS	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Tipos de aguas residuales	9
Figura 2 Zona de Estudio: Sistema Lagunar del Cantón Santa Elena	22
Figura 3 Principios fundamentales en la toma de muestras de agua residual	23
Figura 4 Pasos para la toma de muestras de agua residual	24
Figura 5 Curva de distribución normal variables (DBO-AFLUENTE, DBO-EFLUENTE, DQO-EFLUENTE, SST-AFLUENTE y SST-EFLUENTE).....	38
Figura 6 Curva de distribución asimétrica variables (DQO-AFLUENTE, CF-AFLUENTE y CF-EFLUENTE)	39
Figura 7 Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas (DBO).....	41
Figura 8 Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas (DQO)	43
Figura 9 Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas (SST)	45
Figura 10 Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas (CF)	46
Figura 11 Eficiencia de remoción de carga contaminante (DBO)	51
Figura 12 Eficiencia de remoción de carga contaminante (DBO)	51
Figura 13 Eficiencia de remoción de carga contaminante (SST).....	52
Figura 14 Eficiencia de remoción de carga contaminante (CF).....	52

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Principales características físicas del agua residual doméstica.....	10
Tabla 2 Distribución en porcentajes del Q por laguna de estabilización	28
Tabla 3 Caudales máximos mensuales en l/s (Junio-Agosto 2022).....	28
Tabla 4 Capacidad de almacenamiento de lagunas (m ³).....	29
Tabla 5 Porcentaje de azolve en lagunas de estabilización (%).....	29
Tabla 6 Límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo receptor de agua dulce	32
Tabla 7 Resultados de Ensayos de Laboratorio (Muestra 1).....	34
Tabla 8 Resultados de Ensayos de Laboratorio (Muestra 2).....	35
Tabla 9 Resultados de Ensayos de Laboratorio (Muestra 3).....	36
Tabla 10 Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)	37
Tabla 11 Resumen de prueba de hipótesis de DBO	41
Tabla 12 Resumen de prueba de hipótesis de DQO.....	43
Tabla 13 Resumen de prueba de hipótesis de SST	44
Tabla 14 Resumen de prueba de hipótesis de CF	46
Tabla 15 Tiempo de retención hidráulica (días).....	47
Tabla 16 Eficiencia de remoción de carga contaminante de la caracterización de agua residual del Sistema Lagunar Santa Elena 1	48
Tabla 17 Eficiencia de remoción de carga contaminante de la caracterización de agua residual del Sistema Lagunar Santa Elena 2.....	49
Tabla 18 Constantes de degradación de agua residual de los Sistemas Lagunares 1 y 2.....	49

“EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS PARÁMETROS DE ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE LOS AFLUENTES Y EFLUENTES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES REGULADO POR LA EMPRESA PÚBLICA MANCOMUNADA AGUAPEN-EP, UBICADO EN LA CABECERA CANTONAL DEL CANTÓN SANTA ELENA, PROVINCIA DE SANTA ELENA”

Autores: Ángel Gabriel Flores Suárez y Eduardo Javier Pozo Merejildo

Tutor: Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar, PhD.

RESUMEN

Se realizó la evaluación estadística a la caracterización de agua residual: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF), mediante la toma de muestras puntuales en la entrada y salida del tratamiento de aguas residuales del Cantón Santa Elena. Se realizaron ensayos de calidad de agua en laboratorio acreditado, datos que fueron analizados estadísticamente mediante la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas, demostrando que para DBO y DQO, la carga contaminante de salida difiere de la carga contaminante de entrada, no obstante para los indicadores, SST y CF, estas cargas no difieren, por otro lado, los tiempos de retención hidráulica de lagunas de maduración demuestran que no cumplen con las regulaciones, teniendo valoraciones por debajo del mínimo permisible, asimismo, se determinó que la materia orgánica dentro del sistema respecto a DBO, DQO y SST se degrada lentamente, mientras que para CF, esta no se degrada, demostrando eficiencias de remoción de 0 y de valoraciones negativas. Se concluye que el sistema no es óptimo para tratar aguas residuales en su totalidad debido a la demanda de población que existe en el Cantón.

Palabras Clave: carga contaminante, prueba de rangos con signo de Wilcoxon, materia orgánica.

"STATISTICAL EVALUATION OF THE PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL ANALYSIS PARAMETERS OF THE INFLUENTS AND EFFLUENTS OF THE WASTEWATER TREATMENT SYSTEM REGULATED BY THE PUBLIC JOINT COMPANY AGUAPEN-EP, LOCATED IN THE CANTONAL HEAD OF THE CANTON OF SANTA ELENA, PROVINCE OF SANTA ELENA"

Authors: Ángel Gabriel Flores Suárez and Eduardo Javier Pozo Merejildo

Tutor: Ing. Lucrecia Cristina Moreno Alcívar

ABSTRACT

The statistical evaluation of the characterization of residual water was carried out: Biochemical Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Suspended Solids (SST) and Fecal Coliforms (CF), by taking specific samples at the entrance. and exit from the wastewater treatment of the Santa Elena Canton. Water quality tests were carried out in an accredited laboratory, data that were statistically analyzed using the Wilcoxon signed rank non-parametric test for related samples, demonstrating that for BOD and BOD, the output pollutant load differs from the input pollutant load. However, for the indicators, SST and CF, these loads do not differ, on the other hand, the hydraulic retention times of maturation lagoons show that they do not comply with the regulations, having valuations below the minimum allowable, likewise, it was determined that The organic matter within the system with respect to BOD, COD and SST degrades slowly, while for CF, it does not degrade, demonstrating removal efficiencies of 0 and negative evaluations. It is concluded that the system is not optimal to treat wastewater in its entirety due to the population demand that exists in the Canton.

Key words: pollutant load, Wilcoxon signed rank test, organic matter.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Koul et al. (2022), el agua es un recurso valioso para fines agrícolas, industriales y domésticos, sin embargo, la creciente escasez de agua en todo el mundo ha estimulado la reutilización de las aguas residuales tratadas. Irannezhad et al. (2022) mencionan que el uso global del agua se ha multiplicado por seis en los últimos cien años y aumentará lentamente a una tasa anual del 1%, asimismo, Salehi (2022) manifiesta que la variabilidad en los patrones de lluvia, el rápido crecimiento de la población, la urbanización y la industrialización han agravado el problema de la seguridad hídrica.

Los recursos de agua dulce están bajo presión debido al cambio climático y al aumento de la población (MacKay et al., 2022), por ende, entidades reguladoras gubernamentales, industrias del agua e investigadores han formulado estrategias para utilizar agua reciclada de aguas residuales como alternativa al agua potable en la agricultura (Trang do et al., 2006).

Según la base de datos global, existen más de cincuenta y ocho mil plantas de tratamiento de aguas residuales en el mundo (Koul et al., 2022). Es así que, los países desarrollados trabajan continuamente para establecer procesos de tratamiento más eficientes en las PTAR o establecer nuevas tecnologías para satisfacer la creciente demanda de agua, mientras que, los países en desarrollo todavía están rezagados para establecer la infraestructura necesaria para el tratamiento (Avijit et al., 2018).

La principal fuente de contaminación por patógenos en las aguas superficiales es la descarga de efluentes de aguas residuales (García et al., 2019). En la mayoría de los países, los sistemas de tratamientos de aguas residuales tradicionales han controlado con éxito la contaminación del agua (Li et al., 2014), sin embargo,

existen tecnologías de tratamiento relativamente caras, como el proceso de lodos activados que no es viable para una aplicación generalizada en zonas rurales (Chen et al., 2014), por lo que, generalmente el tratamiento de aguas residuales por sistemas de lagunas de estabilización son las tecnologías más utilizadas en todo el mundo, debido a su bajo costo y fácil aplicación (Bhuyar et al., 2021; Noyola et al., 2012).

United Nations (2015) mencionan que, en el mundo, hay más de 2.400 millones de personas que no tienen acceso a un saneamiento adecuado del agua, y más de 400.000 personas mueren como resultado de la diarrea provocada por un saneamiento deficiente, asimismo, más de 800.000 personas mueren cada año por falta de acceso al agua potable y saneamiento básico. Aproximadamente 1.500 millones de personas en el mundo vierten aguas residuales al medio sin tratamiento, siendo la contaminación por patógenos la principal fuente de contaminación por la descargas de efluentes de aguas residuales a las aguas superficiales (Baum et al., 2013).

Por lo mencionado en el párrafo anterior, el saneamiento y la seguridad alimentaria mundial se encuentran entre los objetivos de desarrollo sostenible más imperativos del siglo adoptados por las Naciones Unidas, por lo que, la presente investigación se enmarca en los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas:

ODS 2 “Hambre Cero”: *Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.* Este objetivo tiene como meta asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad de la tierra y el suelo.

ODS 6 “Agua limpia y saneamiento”: *Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.* Este objetivo tiene como meta mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

El presente estudio está enfocado en evaluar estadísticamente los parámetros de análisis físico, químico y biológico de los afluentes y efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Santa Elena, mismo que por lo expuesto por Suárez y Panchana (2020), forma parte de los 8 sistemas de tratamiento de aguas residuales regulado por la empresa mancomunada de agua AGUAPEN-EP, que presta sus servicios a toda la provincia de Santa Elena desde el año 1998.

La investigación persigue la siguiente interrogante general: ¿Qué se determina al evaluar estadísticamente los parámetros de análisis físico, químico y biológico del sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Santa Elena?, de esta interrogante se desprenden tres problemas específicos: ¿Qué se obtiene de la recopilación de muestras de agua residual del sistema de tratamiento del Cantón Santa Elena mediante la toma de especímenes simples en afluente y efluente para realizar ensayos de caracterización de agua en laboratorio acreditado?, y ¿Qué determina el análisis estadístico acerca de la caracterización de agua residual en el sistema de tratamiento del Cantón Santa Elena mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas (Afluente y Efluente)? Y finalmente, ¿Las constantes de degradación de la materia orgánica se degradan rápidamente, lentamente o no se degradan?

1.2. ANTECEDENTES

Redactar antecedentes que sustenten la investigación es fundamental para el capítulo de resultados y discusión, debido a que se compara resultados obtenidos

con los reportados en antecedentes, para de esta manera describir que tanto se parecen o difieren los resultados con la literatura previa y así poder mostrar el aporte de los nuevos resultados, por ende, se ha tomado en cuenta investigaciones a nivel internacional, nacional y local.

A nivel internacional, se cita la investigación de Bachi et al. (2022), “Rendimiento del tratamiento de aguas residuales de lagunas aireadas, lodos activados y humedales artificiales en un clima árido de Argelia”. Este artículo compara el desempeño de tres procesos de tratamiento de aguas residuales mediante un análisis estadístico que se centró en la comparación entre las tasas de remoción de contaminación física (SS) y biológica (DBO y DQO) parámetros en las tres estaciones durante 8 años de operación. Los resultados obtenidos muestran que las máximas tasas de remoción se observaron en el proceso AS y las mínimas en el proceso AL. La comparación entre las tasas de eliminación para un parámetro dado ha demostrado que existe una diferencia significativa entre el proceso AL por un lado y los procesos AS y PB por el otro. Para los dos últimos procesos, AS y PB, hay diferencia, pero no es estadísticamente significativa. Para los valores de los parámetros de las aguas residuales que salen de los tres sistemas, los valores registrados son, en su mayoría, por debajo de los valores de los estándares de descarga de Argelia, los estándares de la OMS y los estándares de la FAO.

Internacionalmente, la investigación también se sustenta por el artículo de los autores Matsumoto y Sánche (2016), “Desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sao Joao de Iracema (Brasil)”, el objetivo del artículo fue realizar el diagnóstico del desempeño de la PTAR de Sao de Iracema en la remoción de parámetros medidos, para llevar a cabo el estudio se realizó un estudio batimétrico de las lagunas anaerobia y facultativa; se monitorearon el afluente y efluente de la PTAR durante tres meses, por medio de la medición de oxígeno disuelto, pH, temperatura, DBO, DQO, sólidos y coliformes. Los resultados del artículo demostraron que se registraron acumulaciones de lodos del 1.3 y 6.5% del volumen de las lagunas anaerobia y facultativa; la remoción media de DBO fue del 73.6%, inferior al 80% recomendado por la legislación brasilera; la cantidad media de coliformes fecales en el efluente final fue $9.55 \times 10^6/100\text{mL}$,

que superó el máximo permitido de 1000/100mL. Los autores concluyeron que la PTAR necesita implementar un sistema de postratamiento que garantice remoción adicional de materia orgánica y coliformes para ajustar el efluente a la normativa ambiental.

A nivel nacional, se menciona el estudio de Pillapa (2021), “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Parroquia El Corazón, Cantón Pangua, Provincia Cotopaxi”, esta investigación se realizó con el objetivo de determinar si el agua tratada que se descarga en el río cumple con la norma TULSMA 2015, este se llevó a cabo, mediante la recolección de datos de caudales del afluente y efluente, asimismo, del muestreo del agua residual en los puntos de ingreso y de salida a la PTAR para su análisis característico en laboratorio para su posterior comparación con los parámetros de descarga de aguas que establece TULSMA 2015. Los resultados demostraron que la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) no cumplen con lo establecido en la normativa vigente, de esta manera el autor concluyó que se deben realizar mejoras en su estructura física del tratamiento de las aguas residuales del sector estudiado.

Se puede también citar en el ámbito nacional, el artículo desarrollado por Velasco et al. (2019), “Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de Manta”, artículo que tuvo como objetivo realizar un diagnóstico de la eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR de Manta, mediante la caracterización de parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después de su tratamiento, para verificar el cumplimiento de la norma ambiental del TULSMA 2015. Se determinaron eficiencias de remoción de DBO del 51% y de DQO del 56%, valores que indican una pobre remoción de materia orgánica, de los resultados obtenidos, los autores concluyeron que el sistema requiere mantenimiento especialmente en las lagunas facultativas, asimismo, recomendaron realizar una limpieza o dragado de las lagunas facultativas.

A nivel local, la tesis de Suárez y Panchana (2020), “Evaluación estadística de los parámetros de análisis físico, químico y bacteriológico de los afluentes y efluentes

del sistema de tratamiento de aguas residuales ubicado a un costado de la vía Punta Carnero del Cantón Salinas”. Consistió en desarrollar una evaluación estadística a cada parámetro de caracterización de aguas residuales establecidos en TULSMA (2015): Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes al Recurso Agua. Realizada la investigación se pudo constatar que algunos de los parámetros de análisis físico, químico y bacteriológico cumplen con la normativa establecida y tienen buena eficiencia de remoción, no obstante, en los otros parámetros su efluente no cumple con lo que establece la normativa, y su eficiencia de remoción demuestra que no tienen un correcto tratamiento.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General

La evaluación estadística establecería la relación entre parámetros estudiados y su cumplimiento con regulaciones ecuatorianas.

1.3.2. Hipótesis Específicas

H.E1: La recopilación de muestras de agua residual del sistema de tratamiento del Cantón Santa determinan la caracterización de estas mediante ensayos de laboratorio de agua acreditado.

H.E2: El análisis estadístico determina si la carga contaminante de entrada difiere o no de la carga contaminante de salida del sistema de tratamiento de aguas residuales

H.E3: La constante de degradación de materia orgánica de los parámetros analizados se mide mediante el tiempo de retención hidráulica y la eficiencia de remoción de la carga contaminante

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Evaluar estadísticamente los parámetros de análisis físico, químico y biológico del sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Santa Elena.

1.4.2. Objetivos Específicos

O.E1: Recopilar muestras de agua residual del sistema de tratamiento del Cantón Santa Elena mediante la toma de especímenes simples en afluente y efluente para realizar ensayos de caracterización de agua en laboratorio acreditado.

O.E2: Analizar estadísticamente la caracterización de agua residual en el sistema de tratamiento del Cantón Santa Elena mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas (Afluente y Efluente).

O.E3: Determinar la constante de degradación de materia orgánica mediante el cálculo de eficiencia de remoción de carga contaminante y tiempo de retención hidráulica para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas de descarga a un cuerpo de agua dulce.

1.5. ALCANCE

El presente trabajo de titulación tiene gran importancia ya que por medio de él se busca garantizar la calidad del agua, mejorando así, la calidad de vida de los habitantes del Cantón Santa Elena. Además, esta investigación evaluará la eficiencia del tratamiento de PTAR, con el fin de diagnosticar si cumple o no los parámetros exigidos por el libro VI TULSMA ACUERDO 097-A.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables Independientes

Parámetros de caracterización de agua residual: DBO, DQO, SST y CF.

1.6.2. Variables Dependientes

Evaluación estadística mediante el estadístico no paramétrico Wilcoxon para muestras relacionadas.

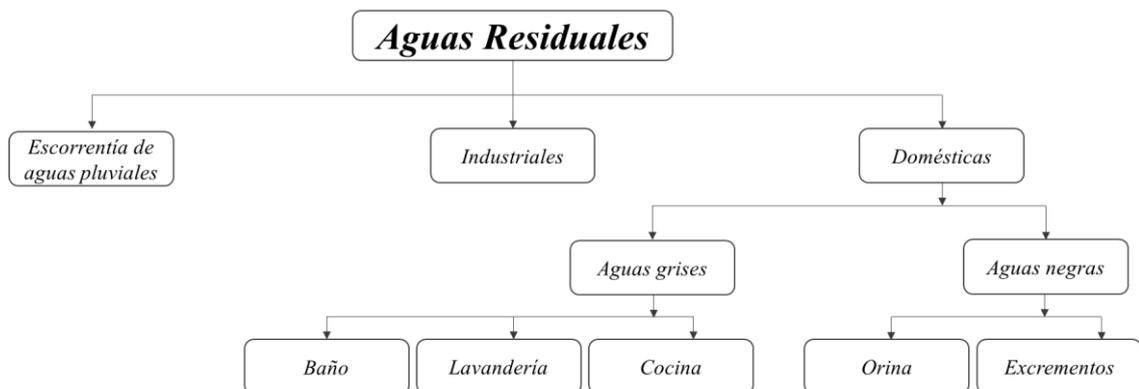
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. AGUAS RESIDUALES (DEFINICIÓN)

De acuerdo con la definición de Amoatey y Bani (2011), las aguas residuales son aguas cuyas propiedades físicas, químicas o biológicas han cambiado como resultado de la introducción de ciertas sustancias que las hacen inseguras para algunos fines, como beber; por otro lado, algunas de las sustancias incluyen desechos corporales (heces y orina), champú para el cabello, restos de comida, grasa, acondicionadores de telas, papel higiénico, productos químicos, detergentes, productos de limpieza para el hogar, suciedad, microorganismos (gérmenes) que pueden producir las personas enfermas y dañan el medio ambiente. En la figura 1, se pueden describir los tipos de aguas residuales.

Figura 1

Tipos de aguas residuales



Nota. Tomado de Amoatey y Bani (2011).

Las aguas residuales domésticas constituyen en un 90% las aguas residuales generadas por las actividades humanas (Ghaitidak y Yadav, 2013). La base de datos AQUASTAT informó que la extracción de agua municipal de 180 países en 2017 osciló entre 1 y 359 m³/año (3 a 978 l. hab/día) con una mediana de 54,3 m³/año (149 l. hab/día), esto comprende principalmente agua para consumo

directo (doméstico), pero también puede incluir agua para usos industriales o agrícolas urbanos (FAO, 2021).

Las aguas residuales domésticas generalmente se dividen en dos categorías, es decir, aguas negras y aguas grises. El agua negra es la descarga de los inodoros que contiene un alto contenido orgánico, nitrógeno y fósforo. Las aguas grises son todas las demás aguas residuales excepto el inodoro, incluidas las del lavabo, la ducha y la lavandería. El volumen de agua gris es de unas siete veces mayor que el agua negra (Ghaitidak & Yadav, 2013), y contiene compuestos orgánicos relativamente bajos, pero algunos de ellos se consideran persistentes.

Aproximadamente el 75% de las aguas residuales domésticas se genera en edificios residenciales o viviendas; el resto son de edificios de oficinas, áreas comerciales, instalaciones públicas, etc. (Wirawan, 2020). Dado que el tipo de actividades generadoras de aguas residuales en los hogares y fuera de hogar es similar, las aguas residuales domésticas de ambas fuentes comparten componentes similares, pero son diferentes en composición y cantidad (Va et al., 2018). Por otro lado, las aguas residuales municipales, que contienen aguas residuales tanto domésticas como industriales, pueden diferir de un lugar a otro según el tipo de industria y establecimiento industrial (Von Sperling, 2007).

Tabla 1

Principales características físicas del agua residual doméstica

Parámetro	Descripción
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ligeramente más alto que en el agua potable. ✓ Variaciones según las estaciones de los años (más estable que la temperatura del aire). ✓ Influye en la actividad microbiana. ✓ Influye en la solubilidad de los gases. ✓ Influye en la viscosidad del líquido.
Color	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aguas residuales frescas: gris claro. ✓ Aguas sépticas: gris oscuro o negro.
Olor	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Aguas residuales frescas: olor aceitoso, relativamente desagradable ✓ Aguas residuales sépticas: mal olor (desagradable), debido al gas de sulfuro de hidrógeno y otros subproductos de descomposición.

Turbiedad	<ul style="list-style-type: none">✓ Aguas residuales industriales: olores característicos.✓ Causada por una gran variedad de sólidos en suspensión.✓ Aguas más frescas o concentradas.
------------------	--

Nota. Tomado de *Von Sperling (2007)*.

2.2. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)

Los sólidos suspendidos totales (SST) brindan información esencial para la evaluación de la calidad ambiental del agua. Los contenidos de SST están estrechamente relacionados con la presencia de materia detrítica y microorganismos y afectan aún más los procesos biogeoquímicos y la biodiversidad de las llanuras aluviales en los sistemas estuarinos.

El monitoreo de los recursos hídricos y su calidad es fundamental para el sustento de las comunidades, ciudades y países. Controlar, medir y eliminar las impurezas del agua es muy necesario para obtener agua limpia. El monitoreo de la concentración de SST en un cuerpo de agua se puede utilizar como método para evaluar la calidad de agua. SST se define como moléculas que superan los dos micrones de tamaño, que se encuentran dentro de una columna de agua.

Según Shaw y Richardson , la observación de las concentraciones de SST es necesaria ya que las partículas de SST en altas concentraciones impiden que la luz penetre en las capas del agua en el fondo de los cuerpos de agua poco profundos. Esto puede afectar la vida acuática, ya que el sedimento daña las branquias de los peces y reduce su capacidad para resistir enfermedades.

Hay muchos enfoques que se han investigado y se sabe que son efectivos para eliminar el SST. Entre los mejores enfoques se encuentra el proceso de coagulación y floculación para el tratamiento de aguas residuales de despulpado, utilizando coagulantes y floculantes como cal, alumbre, cloruro férrico cloruro de poli aluminio (PAC) y sulfato ferroso.

2.3. DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

La DQO es una medida de la capacidad del agua para consumir oxígeno durante la descomposición de la materia orgánica y la oxidación de sustancias químicas inorgánicas como amoníaco y nitrato. La prueba de DQO normalmente produce valores de equivalente de oxígeno más altos que el uso de la prueba de DBO estándar, porque la sustancia química siempre puede oxidar más equivalentes de oxígeno de los que pueden oxidar los microorganismos.

La mayoría de los métodos convencionales de detección de DQO, como el cromato pesado y el permanganato de potasio, estos métodos se realizan en el laboratorio, además de requerir reactivos químicos, estos métodos involucran reacciones químicas complejas y requisitos operativos inconvenientes y que requieren mucho tiempo; además, existe la posibilidad de contaminación secundaria si los reactivos químicos no se manipulan adecuadamente.

La demanda química de oxígeno (DQO) se considera uno de los índices de calidad del agua más significativos en los proyectos medioambientales. En términos generales, el parámetro DQO se refiere a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar por completo los materiales orgánicos en los cuerpos de agua.

2.4. DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)

La DBO estima el grado de contaminación midiendo el oxígeno necesario para la oxidación de la materia orgánica por el metabolismo aeróbico de la flora microbiana. En las aguas residuales del procesamiento de pescado, esta demanda de oxígeno se origina principalmente de dos fuentes. Uno son los compuestos carbonosos que son utilizados como sustratos por los microorganismos aerobios; otra fuente son los compuestos que contienen nitrógeno que normalmente están presentes en las aguas residuales del procesamiento de pescado, como proteínas, péptidos y aminas volátiles.

Las aguas residuales sin tratar generadas son muy complicadas en términos de su composición química debido a la naturaleza biológica y los componentes ilimitados que se pueden encontrar. Sin embargo, solo preocupan los componentes críticos que deben evaluarse bien para diseñar procesos de tratamiento adecuados y monitorearse de cerca para evaluar la confiabilidad y eficiencia de la operación de tratamiento. Uno de estos componentes críticos es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Es una medida de oxígeno equivalente para determinar la materia orgánica biodegradable que puede ser oxidada biológicamente a través de microorganismos. En otras palabras, representa la cantidad de materiales orgánicos que se requiere eliminar. Los resultados de las pruebas de laboratorio de DBO tardan cinco días.

2.5. COLIFORMES FECALES (CF)

Las bacterias coliformes se han identificado recientemente como uno de los contaminantes más graves en los efluentes de agua. Además, las bacterias coliformes fecales se emplean generalmente como indicadores para referirse a la existencia de este tipo de bacterias. Por lo tanto, la contaminación de diferentes tipos de agua con bacterias patógenas debe minimizarse y limitarse para evitar posibles riesgos para la salud.

Las bacterias coliformes fecales son microorganismos indicadores importantes que comúnmente se monitorean mensualmente para determinar la calidad de las aguas de recolección de ostras y el producto final, lo que hace que la protección de la salud pública sea un desafío ya que la recolección de ostras puede ocurrir diariamente y los niveles de coliformes fecales en las aguas de recolección de ostras también puede cambiar diariamente.

CF se usa comúnmente como un indicador de contaminación fecal y la concentración de *E. coli* en el ambiente, y su presencia generalmente se asocia con la presencia de otros patógenos. Los riesgos para la salud resultantes también han atraído la atención de académicos de todo el mundo.

Los coliformes fecales (CF), se ha utilizado ampliamente para la evaluación de la contaminación microbiana. En áreas urbanizadas, dichas bacterias podrían introducirse en las vías fluviales a través de los desbordamiento de aguas residuales y la escorrentía de aguas pluviales, mientras que la mayoría de los estudios han cubierto que las fuentes rurales incluyen la lixiviación de estiércol de ganado, el uso irrazonable de la tierra de estiércol o aguas residuales, cerca de la vida silvestre y pastos.

2.6. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Las lagunas de estabilización de desechos utilizan cuencas poco profundas para el tratamiento de aguas residuales a través de mecanismos naturales de desinfección al integrar la actividad de microorganismos fototróficos, autótrofos y heterótrofos. El tratamiento eficaz de los efluentes de aguas residuales puede contribuir eficazmente a la conservación del agua, la expansión de la agricultura de regadío, la protección del medio ambiente y la salud pública.

Las lagunas de estabilización pueden ser una combinación de uno o tres lagunas diferentes; anaeróbico, de cultivo y/o más dependiendo de los criterios de diseño y condiciones de operación de cada tipo. Elegir la configuración más efectiva de lagunas en términos de eficiencias de purificación varía significativamente de acuerdo con varios parámetros como la carga orgánica, terreno disponible, área, datos climáticos, característica del afluente y los valores requeridos del efluente.

Las lagunas de estabilización se pueden considerar como una tecnología importante que tiene las ventajas de la economía y la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades y se puede aplicar en climas cálidos, las lagunas de estabilización representan el proceso más sencillo, de bajo costo y mantenimiento, utilizadas como alternativas para el tratamiento de aguas residuales en laguna de la actividad mutua entre algas y bacterias. La fotosíntesis de las algas proporciona oxígeno (O₂) al medio acuático, proporcionando condiciones aeróbicas y es aprovechado por las bacterias en el proceso de descomposición de la materia orgánica.

2.7. LAGUNAS FACULTATIVAS

El propósito principal del laguna facultativo en un sistema de tratamiento de aguas residuales es estabilizar la materia orgánica, reducir la carga de nutrientes y eliminar la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en el efluente. Un objetivo menor es reducir los patógenos. Esto suele ocurrir más adelante en la serie, como el laguna de maduración, que a menudo está sujeto a más procesos de desinfección, como la cloración

Las lagunas facultativas, que normalmente se utilizan como tratamiento primario o secundario en series de lagunas, presentan una alta complejidad debido a la sinergia entre micro algas y bacterias. Estas relación mutualista es una de las principales razones de la variación del perfil de oxígeno vertical, creando la ocurrencia simultánea de aerobios, anóxicos, y zonas de anaeróbicas dentro de las FP. Para simular esta red interconectada de procesos y reacciones bioquímicas, se requiere un enfoque de modelado integrado; sin embargo, ha sido un desafío para los ingenieros de lagunas.

Las lagunas facultativas se pueden clasificar en términos generales como primarios y secundarios, según las características del afluente. Si la FP recibe un afluente sin pretratamiento, se denomina laguna facultativa primaria (PFP), mientras que, si la FP recibe un afluente pretratado de una anaeróbica, fosa séptica, PFP o sistemas de alcantarillado superficial, se denomina laguna facultativa secundaria (SFP). Los sistemas de lagunas difieren particularmente entre sí en geometría, flujos hidráulicos, procesos bioquímicos importantes, y por lo tanto en la eficiencia de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nutrientes y eliminación de patógenos.

La eficiencia de las lagunas facultativas puede estar afectadas por el tipo de entradas y salidas: si están alineadas o no: el porcentaje de volúmenes muertos, volumen efectivo y flujos anómalos que generan interrupción de las líneas de flujo. Es por ello, la importancia que tiene conocer los hidráulicos en el interior de

las lagunas, tales como: velocidad de flujo, viscosidad cinemática, número de Reynolds y régimen hidráulico, así como también: se deben estudiar las propiedades físicas del fluido: temperatura, densidad y la turbidez, A fin de obtener criterios propios de la región para el diseño de lagunas facultativas.

Hay varias formas de diseñar Las lagunas facultativas, los dos métodos más utilizados son los basados en la cinética de primer orden y carga superficial máxima admisible. El primero no se recomienda actualmente con fines de diseño en la Europa mediterránea, ya que hay muy pocos datos fiables sobre los cuales basar los valores de diseño para las diversas constantes cinéticas, Los procedimiento de diseño basados en la carga superficial de DBO son empíricos y locales. La experiencia del rendimiento del laguna se puede utilizar para establecer un diseño recomendado valor p, en Francia, una carga de 100 kg por ha por día es comúnmente usado.

2.8. LAGUNAS ANAEROBIAS

Las lagunas anaeróbicas se han implementado tradicionalmente en climas cálidos como una etapa de desbaste pasivo para reducir la carga orgánica en las etapas de tratamiento posteriores. En las lagunas anaerobias se desarrolla un proceso eficaz para eliminar parte de la materia orgánica del efluente con un espacio mínimo. La integración de una laguna anaerobia es la cabecera del sistema permite reducir considerablemente la necesidad de superficie, sin necesidad de energía adicional. Las lagunas de estabilización de desechos anaerobias se utilizan ampliamente para el tratamiento de aguas residuales agrícolas, industriales y municipales.

Las lagunas anaerobias (AP) se emplean popularmente para el tratamiento de aguas residuales orgánicas que emanan de una variedad de industrias, como alimentos, pulpa y papel, azúcar y destilería. Las lagunas anaerobias son particularmente efectivos en el tratamiento de aguas residuales de alta concentración que contiene sólidos suspendidos totales (SST). Biodegradables. En tales casos, la capa líquida en Las lagunas anaerobias actúa como un depósito de

sedimentación para los sólidos en suspensión, mientras que a biodegradación anaeróbica tiene lugar principalmente en los sedimentos de laguna.

El uso de lagunas anaerobias con superficies abiertas a menudo se ve limitado debido a la liberación de gases malolientes que generan molestias a habitantes cercanos. Esos olores se deben principalmente a la emisión de sulfuro de hidrógeno H₂S, que tiene un umbral de detección de olor muy bajo, entre 0,001 y 0,1 ppm. En los tratamientos anaerobios, la presencia de sulfuro se debe principalmente a la reducción disimularía del sulfato por bacterias sulfatorreductoras como desulfuvidrio.

2.9. LAGUNAS DE MADURACIÓN

El sistema de lagunas convencional se compone tradicionalmente de lagunas anaerobios, lagunas facultativos y lagunas de maduración en serie. Las lagunas de maduración generalmente se incluyen cuando se requiere la eliminación de patógenos, pero imponen un gran aumento en los requisitos de la tierra ya sustanciales de los sistemas de lagunas. Un reactor anaeróbico (como el UASB, manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente) seguido directamente por lagunas de maduración poco profundos en serie representa otra configuración posible y menos conocida, que ocupa un área más pequeña y aún es capaz de proporcionar una calidad de efluente similar.

Las lagunas de maduración permiten la interacción de varios factores físicos y químicos, es decir, temperatura, luz solar, Ph, oxígeno disuelto (OD), biomasa de algas, bacteriófaga, nutriente y depredación, que contribuyen a la eliminación de organismos patógenos. Las bacterias oxidan la materia orgánica, mientras que las algas asimilan los nutrientes minerales y proporcionan oxígeno a las bacterias. Por lo tanto, el tratamiento es alimentado por luz a través de la fotosíntesis de las algas.

Las micro algas controlan la eficiencia del tratamiento y la calidad del efluente y Las lagunas deben diseñarse para optimizar tanto la concentración como la

diversidad de especies de algas presentes. Los ingenieros sanitarios acostumbrados a diseñar otros tipos de instalaciones de tratamiento suelen pasar por alto este factor y es la causa principal del diseño deficiente de Las lagunas. Por lo tanto, la comprensión de la dinámica de las interacciones algas-bacterias en Las lagunas es fundamental tanto para el diseño como para la operación eficiente de dichos sistemas. Aun así, los sistemas de lagunas correctamente diseñados son muy robustos y fáciles de mantener.

La desinfección de patógenos de las agua residuales en Las lagunas de maduración generalmente constituye la etapa final del tratamiento en una serie de lagunas de estabilización de desechos (WSP, por sus siglas en inglés). Los WSP utilizan procesos naturales y se encuentran entre las tecnologías de tratamiento de aguas residuales más utilizadas en todo el mundo. Debido a que existe un bajo requerimiento de mecanismos de tratamiento artificial, los WSP son atractivos desde el punto de vista de la sostenibilidad y el costo si la tierra está fácilmente disponible.

Las lagunas de maduración también son capaces de lograr una buena eficiencia de eliminación en términos de amoníaco y nitrógeno total. Se informa que los principales mecanismos para la eliminación de nitrógeno en los sistemas de lagunas son: (i) la volatilización del amoníaco, (ii) la asimilación de amoníaco y nitrato por parte de las algas y la consiguiente sedimentación de nitrógeno orgánico, seguida de su retención en el lodo del fondo del laguna y (iii) la nitrificación.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo

Generalmente, se escoge un tipo de investigación para lograr una mejor comprensión del trabajo investigativo, por ende, el presente estudio selecciona un tipo de investigación por el nivel de conocimientos que se obtendrán con los resultados hallados, haciendo énfasis en la **investigación exploratoria**, que de acuerdo a Morales (2015), esta se realiza con el propósito de destacar los aspectos fundamentales de una problemática determinada y encontrar los procedimientos adecuados para elaborar una investigación posterior.

Los resultados de la evaluación estadística de los parámetros de caracterización de agua del Cantón Santa Elena, permitirán destacar los principales problemas que enfrenta este sistema operativo de aguas residuales y de esta manera se simplifica abrir líneas de investigación próximas para abarcar y solucionar los problemas ambientales que enfrenta dicho sistema. De acuerdo con Neill y Cortez (2018), esta investigación es cuantitativa

3.1.2. Nivel

El nivel de una investigación está referido al conocimiento que posee el investigador respecto al problema, fenómeno o hecho a estudiar. La investigación posee un **nivel explicativo** que según Condori-Ojeda (2020), se centra en buscar las causas o los porqué de la ocurrencia del fenómeno, de cuáles son las variables o características que presenta y de cómo se dan sus interrelaciones, es así que, su objetivo es encontrar las relaciones causa-efecto entre variables estudiadas.

El estudio presenta las relaciones causa-efecto entre las variables en estudio, la variable independiente sobre la dependiente, relacionando de esta manera la toma de muestras de aguas residuales y los efectos de estas respecto a los límites máximos permisibles de aguas residuales, por ende, los resultados y conclusiones de este estudio permiten constituir el nivel más profundo de conocimientos empleados.

3.2. ENFOQUE, MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Enfoque

Por su desarrollo y lo que se busca demostrar, la investigación posee un **enfoque cuantitativo**, que según Dawadi et al. (2021), este enfoque utiliza las fortalezas de la investigación cuantitativa para lograr una comprensión integral del objeto de la investigación y mejorar las posibilidades de generalización y predicción de sus hallazgos.

El estudio utiliza un enfoque cuantitativo en el análisis estadístico no paramétrico de Wilcoxon para muestras de aguas residuales tomadas en el sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Santa Elena.

3.2.2. Método

Se desarrolla la investigación mediante el **método hipotético-deductivo**, que de acuerdo con el artículo investigativo de Sánchez (2019), este método tiene varios pasos esenciales: observación del fenómeno a estudiar, creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno, deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis, y verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia.

Se emplea el método deductivo en la elaboración de hipótesis, siendo estas una general y dos específicas, que posteriormente se constataran mediante la inducción en los hallazgos presentes que arrojen los resultados respecto al estudio de los parámetros de análisis físico, químico y biológicos del sistema de tratamiento de aguas residuales.

3.2.3. Diseño

En relación a las acciones a utilizar en la investigación para obtener la información que, de respuesta a los objetivos de la investigación, se abordó desde un **diseño no experimental**, donde se observó el comportamiento de las variables en estudio, sin manipular los resultados de los análisis físico, químico y biológico realizados en laboratorio de agua residual acreditado; de la misma manera, se expresa como un **diseño longitudinal**, en donde se recolectan datos a través del tiempo en puntos o periodos especificados, para hacer inferencias respecto al cambio, sus determinantes y consecuencias (Badii et al., 2007).

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

Tal como expresa López (2004), la población de una investigación está compuesta por todos los elementos que participan del fenómeno que fue definido y delimitado en el análisis del problema de investigación, teniendo la característica de ser estudiada medida y cuantificada. La investigación en curso toma en cuenta uno de los ocho sistemas de tratamiento de aguas residuales a cargo de la empresa reguladora AGUAPEN S.A. que brinda sus servicios a toda la Península de Santa Elena, en este caso toma en cuenta como población a el sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Santa Elena.

3.3.2. Muestra

González y Salazar (2008) mencionan que la muestra es cualquier subconjunto de la población, escogido al seguir ciertos criterios de selección, por ello, para el desarrollo del estudio, la muestra fue tomada con criterios técnicos, tomando muestras de agua residual en el afluente y efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales, y llevando estas a un laboratorio de agua acreditado, debidamente congeladas.

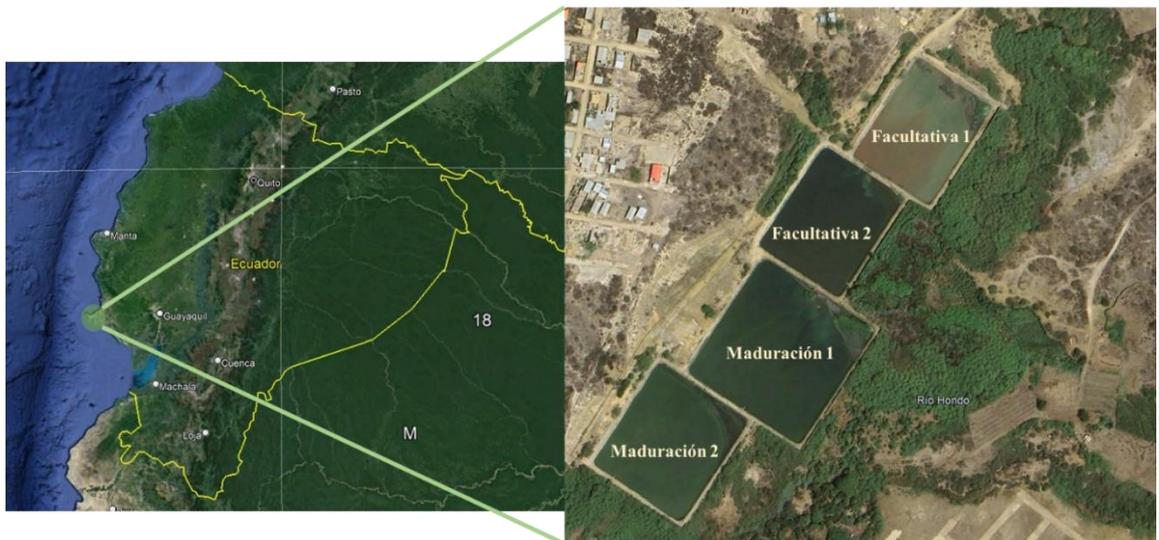
3.3.3. Muestreo

Se utilizó un muestreo por conveniencia debido a que las muestras fueron tomadas en tres distintas fechas, considerando una muestra de afluente y efluente por mes en el lapso de tres meses, considerando la conceptualización de Díaz (2006), donde menciona que en este tipo de muestreo el investigador decide como manipular la muestra en función de la conveniencia de la disponibilidad y tiempo que tiene el investigador.

3.4. UBICACIÓN DEL SECTOR DE ESTUDIO

Figura 2

Zona de Estudio: Sistema Lagunar del Cantón Santa Elena



Nota. Tomado de Google Earth Pro.

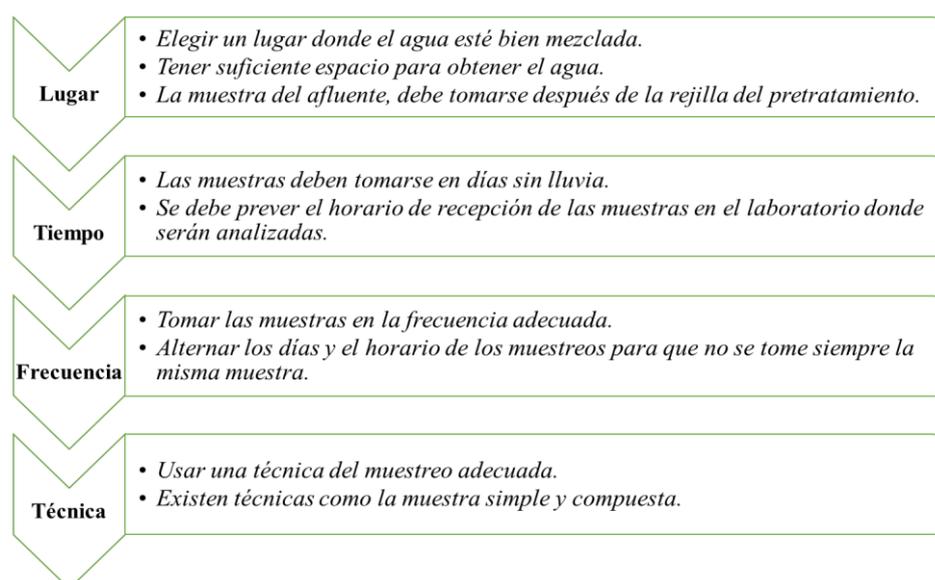
La zona de estudio comprende al Sistema de Lagunas de Estabilización para el tratamiento de aguas residuales del Cantón Santa Elena, ubicado en la Provincia de Santa Elena, con coordenadas UTM (Norte: y Este:), este sistema está compuesto por dos lagunas facultativas y dos lagunas de maduración que actúan en paralelo y desembocan sus efluentes 1 y 2 en el Río Hondo (cuerpo receptor de agua dulce), tal como se observa en la figura 2.

3.5. METODOLOGIA DEL OE.1: RECOPIACIÓN DE MUESTRAS SIMPLES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN SANTA ELENA

Para llevar a cabo el primer objetivo específico de la investigación, se realizó la toma de muestras simples de agua residual en tres puntos específicos de la planta de tratamiento, para ello, se tomó en cuenta las recomendaciones que exponen los autores Reutelshöfer y Guzmán (2015) en su libro: “Guía para la toma de muestras de agua residual”, en este se recomiendan cuatro principios fundamentales a seguir (Figura 3).

Figura 3

Principios fundamentales en la toma de muestras de agua residual

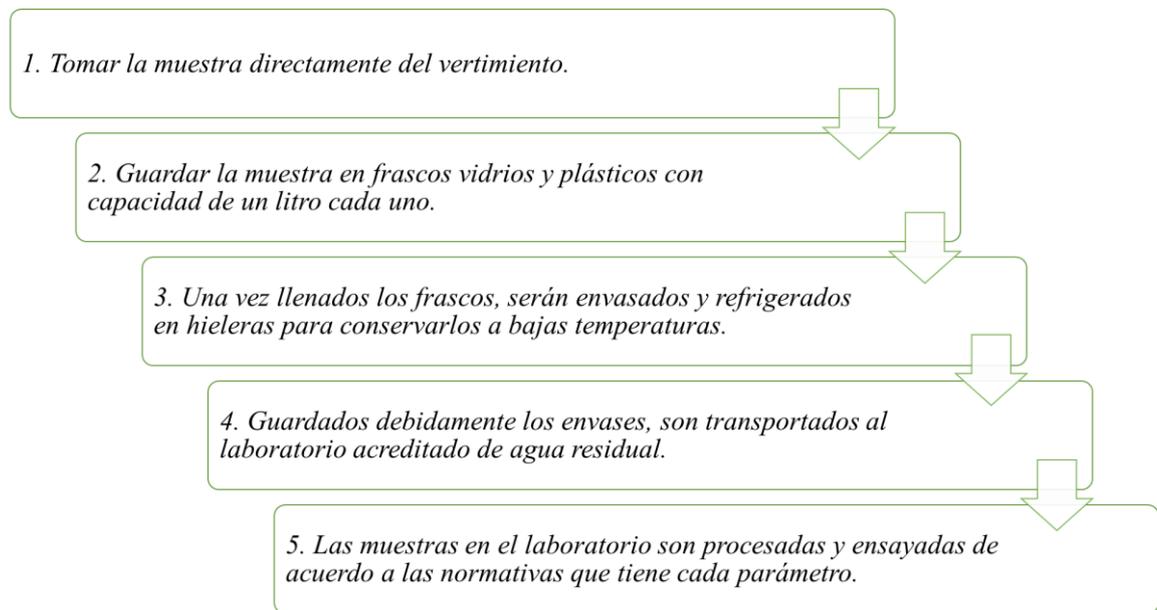


Nota. Tomado de Reutelshöfer y Guzmán (2015).

Por otro lado, las muestras simples de agua residual se tomaron en base a lo expuesto por Humanante (2022), donde el investigador manifiesta los siguientes pasos (Figura 4):

Figura 4

Pasos para la toma de muestras de agua residual



Nota. Tomado de *Humanante (2022)*.

Las muestras de agua residual fueron analizadas en el laboratorio **Ingeestudios de calidad de aguas** ubicado en la ciudad de Guayaquil, se analizaron los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendedos Totales (SST) y Coliformes Fecales (CF), en el anexo 2 se observan los informes emitidos por el laboratorio de agua acreditado.

3.6. METODOLOGIA DEL OE.2: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE AGUA RESIDUAL MEDIANTE LA PRUEBA NO PARAMÉTRICA DE WILCOXON PARA MUESTRAS RELACIONADAS (AFLUENTE Y EFLUENTE).

La metodología empleada para dar respuesta al segundo objetivo específico de la investigación consta del análisis estadístico de los parámetros ensayados en

laboratorio mediante la prueba no paramétrica de Wilcoxon relacionando las dos muestras (Afluente y Efluente). Para realizar el análisis estadístico, en primer lugar, se sometió a los resultados encontrados en laboratorio a una prueba de normalidad, para contrastar las hipótesis:

H_0 : Los resultados encontrados en laboratorio provienen de una distribución normal.

H_1 : Los resultados encontrados en laboratorio no provienen de una distribución normal.

Se empleó la prueba de Shapiro – Wilk, que según Romero (2016), esta se usa cuando el tamaño muestral es igual o inferior a 50; sea X_1, X_2, \dots, X_n una muestra aleatoria, el estadístico de prueba para este test viene dado por:

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{Ec. (1)}$$

Con,

$$b = \sum_{i=1}^n a_i [X_{(n-i-1)} - X_i] \quad \text{Ec. (2)}$$

Y,

$$a_i = m'V^{-1}(m'V^{-1}m)^{-1/2} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde, $[X_{(n-i-1)} - X_i]$ son las diferencias que se obtienen al restar el primer valor al último, el segundo al antepenúltimo y así sucesivamente. a_i , son los coeficientes tabulados en la tabla Shapiro, $m = (m_1, \dots, m_n)$ son los valores medios del estadístico ordenado, de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, muestreadas de distribuciones normales. V es la matriz de

covarianzas de ese estadístico de orden. Se rechazara H_0 si $W \leq W_{\alpha,n}$, donde $W_{\alpha,n}$ son los puntos críticos tabulados en el test de Shapiro – Wilk (Flores et al., 2019).

De la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, se determinó que los datos no presentan una distribución normal, por tanto, se procedió a usar una prueba no paramétrica para realizar el análisis estadístico. Debido a la relación que tienen las muestras tomadas en el sistema (Muestra de Afluyente y Muestra de Efluyente), es necesario emplear la prueba de rangos con signo de Wilcoxon para dos muestras relacionadas.

La prueba de rangos con signo de Wilcoxon se usa para comparar dos muestras relacionadas, muestras emparejadas o para realizar una prueba de diferencias pareadas de mediciones repetidas en una sola muestra para evaluar si su población los rangos medios difieren, se utiliza con un nivel de significancia del 5% y establece también diferencias positivas, negativas y números de empates (Xia, 2020). Para llevar a cabo la prueba se establece la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1):

H_0 : La carga contaminante de salida es igual a la carga contaminante de entrada.

H_1 : La carga contaminante de salida es diferente a la carga contaminante de entrada.

Finalmente, el análisis estadístico se llevó a cabo mediante el software estadístico SPSS 25.0, que de acuerdo con Moreno (2008), es un conjunto de herramientas de tratamiento de datos para el análisis estadístico. Esta herramienta informática viene integrada por programas y subprogramas interconectados entre sí, por lo que se puede deducir que su integración es mayor que la suma de las partes, por otro lado, dentro de las bondades del SPSS, se puede mencionar el entorno de trabajo, teniendo gráfica de menús, ventanas y cuadros, apareciendo al momento de abrir sesión (Rivadeneira et al., 2020).

3.7. METODOLOGIA DEL OE.3: DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA A PARTIR DEL CÁLCULO DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

Para determinar la constante de degradación de cada parámetro analizado, en primer lugar, se debe conocer los tiempos de retención hidráulica y después la eficiencia de remoción de carga contaminante respecto a la caracterización de agua residual que posee el sistema de tratamiento del Cantón Santa Elena.

3.7.1. Cálculo de Tiempos de Retención Hidráulica (TRH) en cada parte del sistema lagunar Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)

El tiempo de retención hidráulica se refiere a una medida del tiempo promedio que un compuesto soluble permanece en una laguna de estabilización, influye directamente en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales, asimismo, permite que los sedimentos y otros materiales se separen del agua y se hundan hasta el fondo, lo que reduce la resuspensión y el desbordamiento de sedimentos, viene dado por la siguiente fórmula (Alvarado et al., 2011).

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. (4)}$$

Donde:

TRH: Tiempo de Retención Hidráulica (día)

V: Volumen total del agua residual en tratamiento (m³)

Q: Caudal (m³ /día)

El caudal de entrada debe ser distribuido paralelamente en el tratamiento, es decir, al encontrarse dos efluentes, se distribuye en un 50% para cada efluente, a continuación, en la tabla 4, se presenta la distribución de caudales por laguna de estabilización.

Tabla 2

Distribución en porcentajes del Q por laguna de estabilización

Laguna	Q(%)
Facultativa 1	50
Facultativa 2	50
Maduración 1	50
Maduración 2	50

Conociendo la distribución de los caudales en porcentajes, se determinará el caudal en m³/día por laguna de estabilización (Ecuación 5), de acuerdo a las valoraciones de los caudales máximos mensuales en los tres meses que duró el estudio, estas valoraciones de caudales en l/s fueron proporcionadas por la empresa reguladora de agua AGUAPEN-EP se muestran en la tabla 3.

$$Q \left(\frac{m^3}{día} \right) = Q(\%) * Q_{máx.mes} \quad \text{Ec. (5)}$$

Tabla 3

Caudales máximos mensuales en l/s (Junio-Agosto 2022)

Sistema	Junio 2022	Julio 2022	Agosto 2022
Santa Elena 1 (SE1)	86,02 l/s	51,95 l/s	78,20 l/s
Santa Elena 2 (SE2)	81,83 l/s	55,58 l/s	74,46 l/s

Teniendo en cuenta los caudales máximos mensuales en los meses estudiados, se determinará su valoración media de cada sistema para continuar con el cálculo del tiempo de retención hidráulica, por otro lado, es necesario conocer las valoraciones de la capacidad de almacenamiento de lagunas facultativas y de maduración, valores mostrados en la tabla 4 y proporcionados por AGUAPEN-EP.

Tabla 4*Capacidad de almacenamiento de lagunas (m³)*

Laguna	Volumen (m³)
Facultativa 1	24.320
Facultativa 2	20.849
Maduración 1	33.126
Maduración 2	22.815

Finalmente, también fueron proporcionadas las valoraciones de los porcentajes de azolvamiento de las lagunas de estabilización, dato recabado del *último estudio batimétrico* realizado por AGUAPEN E.P., valor que se refleja en la Tabla 5.

Tabla 5*Porcentaje de azolve en lagunas de estabilización (%)*

Laguna	%
Facultativa 1	47
Facultativa 2	26
Maduración 1	30
Maduración 2	32

Con la obtención de los porcentajes de azolve, se determina el volumen de azolve en m³ (Ecuación 6).

$$V_{\text{azolvamiento}} = V_{\text{Total de laguna}} * \%_{\text{azolve de cada laguna}} \quad \text{Ec. (6)}$$

Finalmente, el volumen de agua residual para determinar el tiempo de retención hidráulica en cada laguna se determina por:

$$V_{AR} = V_{\text{Total de laguna}} - V_{\text{Azolve}} \quad \text{Ec. (7)}$$

3.7.2. Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Carga Contaminante en cada Sistema Lagunar, Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)

La eficiencia en un tratamiento de aguas residuales es la relación entre la carga contaminante de salida y la carga contaminante de entrada para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro en específico, por lo general, es expresada en porcentaje y la determinación de esta es la base esencial para corroborar el correcto funcionamiento de un sistema de depuración para aguas residuales (Humanante et al., 2022) y viene dada por la siguiente fórmula:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} * 100 \quad \text{Ec. (8)}$$

En el cual:

E: Eficiencia de remoción de carga contaminante (%)

S: Carga contaminante de salida (mg/L)

*S*₀: Carga contaminante de entrada (mg/L)

3.7.3. Cálculo de la Constante de Degradación en cada Sistema Lagunar, Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)

La constante de degradación es un parámetro que se utiliza para medir la velocidad de degradación de un compuesto orgánico en un ambiente determinado. Específicamente, se refiere a la tasa de destrucción de un compuesto dividido por la concentración del compuesto en cuestión (Girard, 2013).

Las constantes de degradación fueron calculadas mediante el modelo de Marais-Shaw, mismo que se ha empleado en la mayoría de los diseños de sistemas lagunares, esta constante se calcula por la siguiente ecuación (Velasco et al., 2019):

$$K = \frac{S_0}{S_1 * TRH} - \frac{1}{TRH} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

K: Constante de biodegradación en día⁻¹

TRH: Tiempo de retención de laguna en días

Tomando en cuenta a Vázquez-Rodríguez and Beltrán-Hernández (2004), la interpretación de los resultados de la constante de degradación depende del valor de *k* obtenido:

- Si *k* es positivo y grande, significa que el compuesto se degrada rápidamente ($k > 20 \text{ día}^{-1}$).
- Si *k* es negativo, significa que el compuesto no se está degradando o que se está acumulando.
- Si *k* es cero, significa que el compuesto se está degradando a una tasa constante.
- Si *k* es pequeño, significa que el compuesto se está degradando lentamente ($k < 20 \text{ día}^{-1}$).

Además, se puede comparar la constante de biodegradabilidad de diferentes compuestos para evaluar cuál de ellos es más fácilmente degradable. Esto es útil para determinar cuáles son los compuestos más adecuados para utilizar en un sistema de tratamiento de aguas residuales.

3.7.4. Normativa Ecuatoriana de Descarga de Efluentes a un Cuerpo de Agua Dulce (Parámetros Estudiados)

La norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua del año 2015 del Ecuador establece lo siguiente, que las aguas residuales que no cumplan con los parámetros de descarga establecidos (límites máximos permisibles), deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuese su origen: público o privado, de la misma manera, estas aguas no deberán ser vertidas si no cumplen su límite máximo permisible en cada parámetro estudiado, estos límites se aprecian en la tabla 6.

Tabla 6

Límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo receptor de agua dulce

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Teniendo en cuenta a Henríquez y Zepeda (2004), los resultados de la investigación deben presentarse en el orden en que fueron planteados los objetivos, de lo más importante a lo menos significativo, asimismo, se deben incluir gráficos y tablas para darle más importancia a lo investigado. De esta manera, los resultados del estudio se presentan, en primer instancia con la recopilación de muestras de agua residual del sistema de tratamiento, en segunda instancia con el análisis estadístico a los parámetros de caracterización de agua residual y finalmente con la determinación de la constante de degradación de materia orgánica.

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE.1: RECOPIACIÓN DE MUESTRAS SIMPLES DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL CANTÓN SANTA ELENA

Las muestras simples fueron tomadas en el Afluyente, Efluente 1 y Efluente 2 del sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Santa Elena durante tres meses continuos: Junio, Julio y Agosto del año 2022. De las muestras tomadas en campo, se analizaron parámetros físicos, químicos y biológicos como: Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Coliformes Fecales.

La Tabla 1 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio de la Muestra 1 (M1) tomada en el afluyente y efluente 1 – 2, con fecha de 01 Junio de 2022, con una temperatura de 28,04 °C y un porcentaje de humedad de 72,04%.

Tabla 7*Resultados de Ensayos de Laboratorio (Muestra 1)*

Fecha: 01/06/2022		T: 28,04 °C	
Hora: 10:10 a.m.		H: 72,04%	
Identificación de la muestra: Afluyente			
Parámetros	Unidades	Resultados	Límites de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	202,80	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	935,00	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	230,00	130
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	350 x 10 ³	2000
Identificación de la muestra: Efluente 1			
Parámetros	Unidades	Resultados	Límites de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	88,44	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	373,00	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	153,00	130
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	9,2 x 10 ³	2000
Identificación de la muestra: Efluente 2			
Parámetros	Unidades	Resultados	Límites de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	73,44	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	347,00	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	86,00	130
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	280 x 10 ²	2000

La Tabla 2 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio de la Muestra 2 (M2) tomada en el afluyente y efluente 1 – 2, con fecha de 06 Julio de 2022, con una temperatura de 24,74 °C y un porcentaje de humedad de 55,22%.

Tabla 8*Resultados de Ensayos de Laboratorio (Muestra 2)*

Fecha: 06/07/2022		T: 24,74 °C	
Hora: 9:05 a.m.		H: 55,22%	
Identificación de la muestra: Afluyente			
Parámetros	Unidades	Resultados	Límites de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	272,91	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	631,00	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	108,00	130
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	350 x 10 ⁴	2000
Identificación de la muestra: Efluente 1			
Parámetros	Unidades	Resultados	Límites de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	92,47	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	280,00	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	120,00	130
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	1600 x 10 ⁴	2000
Identificación de la muestra: Efluente 2			
Parámetros	Unidades	Resultados	Límites de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	130,46	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	311,00	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	196,00	130
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	1600 x 10 ⁴	2000

La Tabla 3 muestra los resultados de los ensayos de laboratorio de la Muestra 2 (M3) tomada en el afluyente y efluente 1 – 2, con fecha de 02 Agosto de 2022, con una temperatura de 22,80 °C y un porcentaje de humedad de 58,70%.

Tabla 9*Resultados de Ensayos de Laboratorio (Muestra 3)*

Fecha: 02/08/2022		T: 22,80 °C	
Hora: 8:42 a.m.		H: 58,70%	
Identificación de la muestra: Afluente			
Parámetros	Unidades	Resultados	Límites de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	377,28	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	639,00	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	150,00	130
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	1600 x 10 ⁵	2000
Identificación de la muestra: Efluente 1			
Parámetros	Unidades	Resultados	Límites de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	93,57	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	248,00	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	92,00	130
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	1600 x 10 ⁵	2000
Identificación de la muestra: Efluente 2			
Parámetros	Unidades	Resultados	Límites de Referencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	91,77	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	358,00	200
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	109,00	130
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	1600 x 10 ⁵	2000

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE.2: EVALUACIÓN ESTADÍSTICA DE LA CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL CANTÓN SANTA ELENA

Los datos tomados en campo y ensayados en laboratorio de agua acreditado de las muestras simples del afluente y efluente de los sistemas Santa Elena 1 y 2, fueron analizados estadísticamente mediante una prueba de normalidad (Shapiro-Wilk),

donde se obtuvo que estos no presentan una distribución normal y, por ende, debe emplearse una prueba estadística para datos no paramétricos (Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para dos muestras relacionadas).

4.2.1. Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Al encontrarse datos de afluente y efluente para DBO, DQO, SST y CF de los Sistemas Lagunares Santa Elena 1 y 2 por menos de 50 elementos para cada análisis, se procede a usar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, donde se obtuvo los siguientes valores de probabilidad (p) con una significancia de $\alpha = 0,05$ (Tabla 10).

Tabla 10

Prueba de Normalidad (Shapiro-Wilk)

Variable	Estadístico	gl	Sig.
DBO-AFLUENTE	0,842	6	0,136
DBO-EFLUENTE	0,816	6	0,082
DQO-AFLUENTE	0,657	6	0,002
DQO-EFLUENTE	0,939	6	0,648
SST-AFLUENTE	0,826	6	0,100
SST-EFLUENTE	0,906	6	0,409
CF-AFLUENTE	0,653	6	0,002
CF-EFLUENTE	0,703	6	0,007

El test Shapiro-Wilk indica que las variables DBO-AFLUENTE ($W_{(6)} = 0,842$; $p = 0,136$), DBO-EFLUENTE ($W_{(6)} = 0,816$; $p = 0,082$), DQO-EFLUENTE ($W(6) = 0,939$; $p = 0,648$), SST-AFLUENTE ($W_{(6)} = 0,826$; $p = 0,100$) y SST-EFLUENTE ($W_{(6)} = 0,906$; $p = 0,409$) siguen una distribución normal (p -valor $> 0,05$); por otro lado, las variables DQO-AFLUENTE ($W(6) = 0,657$; $p = 0,002$), CF-AFLUENTE ($W(6) = 0,653$; $p = 0,002$) y CF-EFLUENTE ($W(6) = 0,703$; $p = 0,007$) no siguen una distribución normal (p -valor $< 0,05$).

Figura 5

Curva de distribución normal variables (DBO-AFLUENTE, DBO-EFLUENTE, DQO-EFLUENTE, SST-AFLUENTE y SST-EFLUENTE)

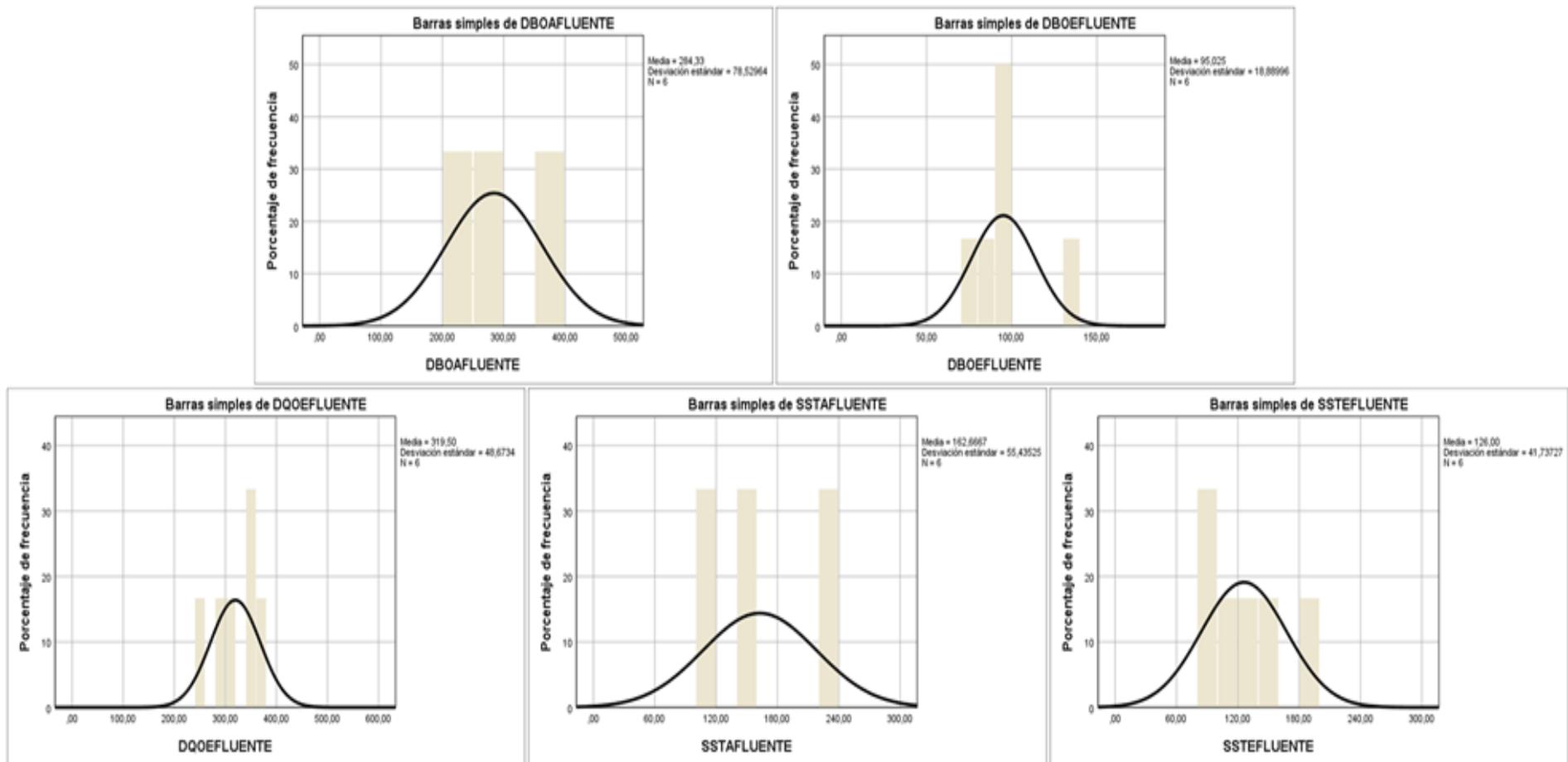
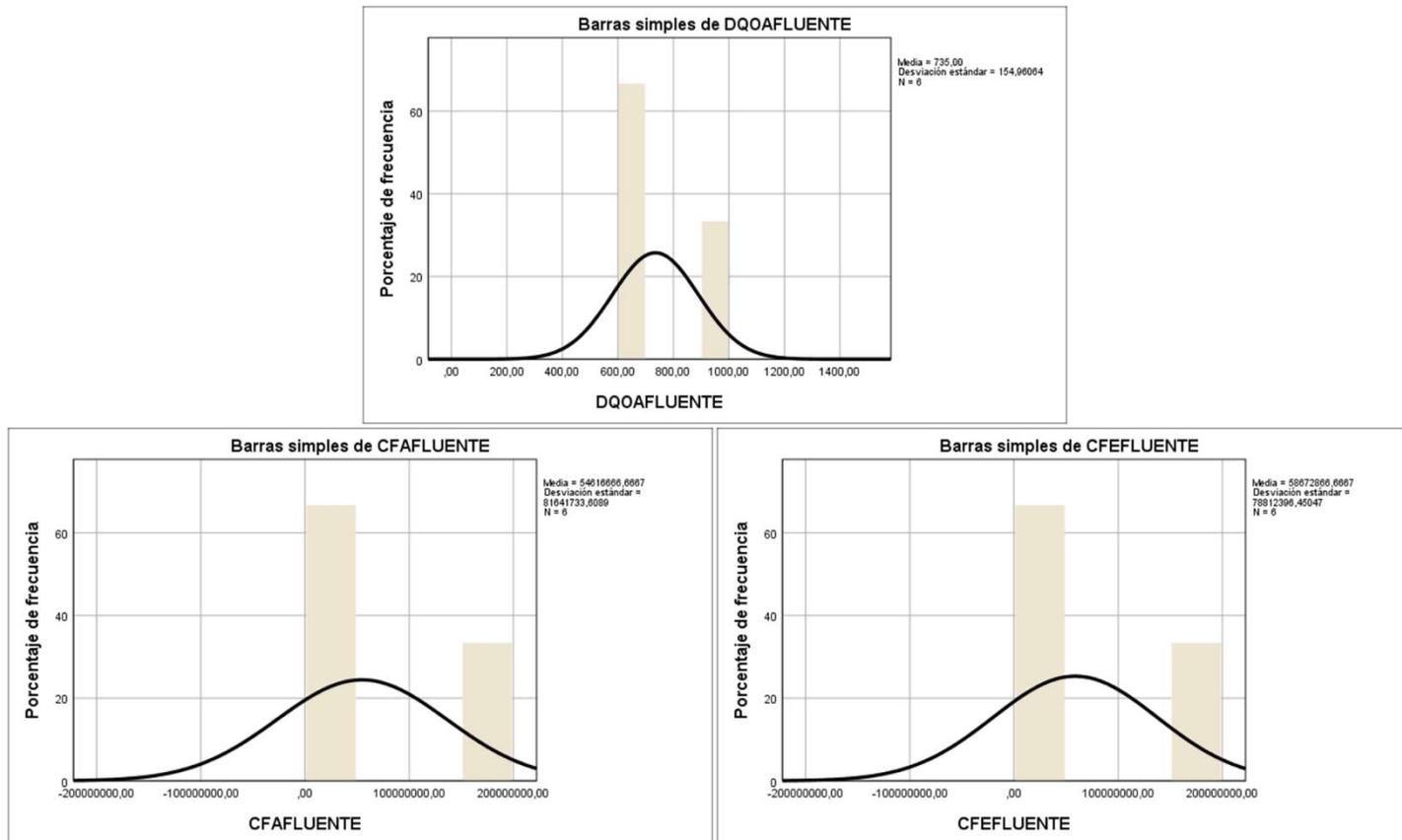


Figura 6

Curva de distribución asimétrica variables (DQO-AFLUENTE, CF-AFLUENTE y CF-EFLUENTE)



En la Figura 5 y 6, se demuestra gráficamente que las variables DBO-AFLUENTE, DBO-EFLUENTE, DQO-EFLUENTE, SST-AFLUENTE, SST-EFLUENTE presentan una distribución normal, debido a que su curva tiene la forma de una campana, con una zona central en la cual los valores de cada variable son más frecuentes, y a medida que se aleja de la zona central el porcentaje de frecuencias disminuye simétricamente; por otro lado en la figura 4, en las variables DQO-AFLUENTE, CF-AFLUENTE, CF-EFLUENTE, se presenta asimetría hacia la derecha (cuando la mitad derecha es más finita y más larga), e izquierda (cuando la mitad izquierda es más finita y más larga), denotando que estas variables no presentan una distribución normal.

4.2.2. Prueba de Rangos con Signo de Wilcoxon para Muestras Relacionadas

a) Prueba de hipótesis para la dimensión “Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)”

✓ Planteamiento de hipótesis:

H₀: La carga contaminante de salida es igual a la carga contaminante de entrada.

H₁: La carga contaminante de salida es diferente a la carga contaminante de entrada.

✓ Hipótesis Específica de la Investigación:

El tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización de los sistemas Santa Elena 1 y 2 favorece la eliminación o reducción de la carga contaminante de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

✓ Nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

✓ Regla de decisión:

Si $p\text{-valor} < \alpha$ entonces se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Si $p\text{-valor} > \alpha$ entonces se acepta H_0 y se rechaza H_1 .

✓ **Resultados:**

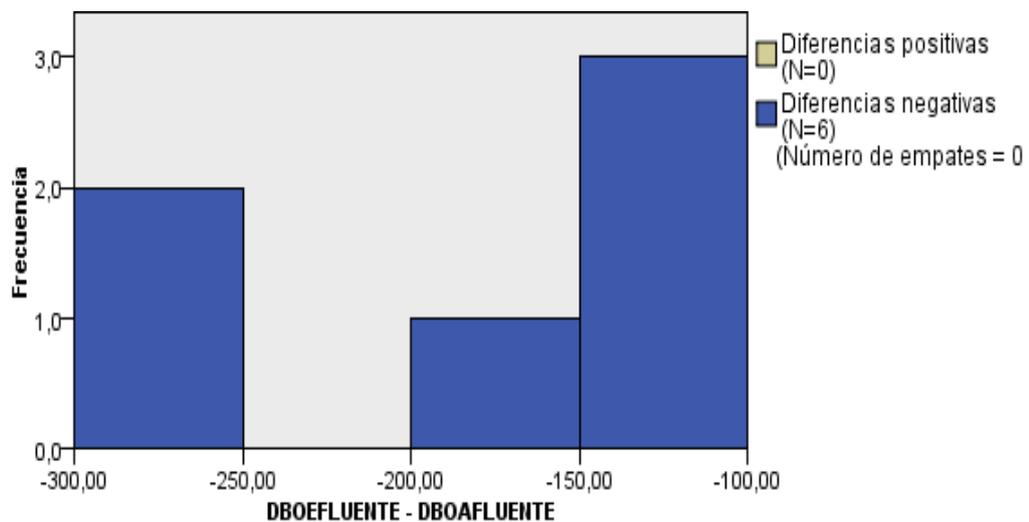
Tabla 11

Resumen de prueba de hipótesis de DBO

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La carga contaminante de salida es igual a la carga contaminante de entrada.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,028	Rechazar la hipótesis nula.

Figura 7

Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas (DBO)



De acuerdo a la figura 7, de la prueba de rangos con signos de Wilcoxon, la diferencia del Efluente y Afluente de DBO, se obtuvieron 0 diferencias positivas, 6 diferencias negativas y 0 número de empates.

✓ **Decisión:**

Según la Tabla 1, como el valor de significancia asintótica o p-valor de acuerdo a la Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (DBO-AFLUENTE y DBO-EFLUENTE) es: *p-valor* = 0,028 < 0,05 se rechaza la Hipótesis nula (H_0) y se acepta la Hipótesis alterna (H_1).

b) Prueba de hipótesis para la dimensión “Demanda Química de Oxígeno (DQO)”

✓ *Planteamiento de hipótesis:*

H_0 : La carga contaminante de salida es igual a la carga contaminante de entrada.

H_1 : La carga contaminante de salida es diferente a la carga contaminante de entrada.

✓ *Hipótesis Específica de la Investigación:*

El tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización de los sistemas Santa Elena 1 y 2 favorece la eliminación o reducción de la carga contaminante de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

✓ *Nivel de significancia:* $\alpha = 0,05$

✓ *Regla de decisión:*

Si $p\text{-valor} < \alpha$ entonces se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Si $p\text{-valor} > \alpha$ entonces se acepta H_0 y se rechaza H_1 .

✓ *Resultados:*

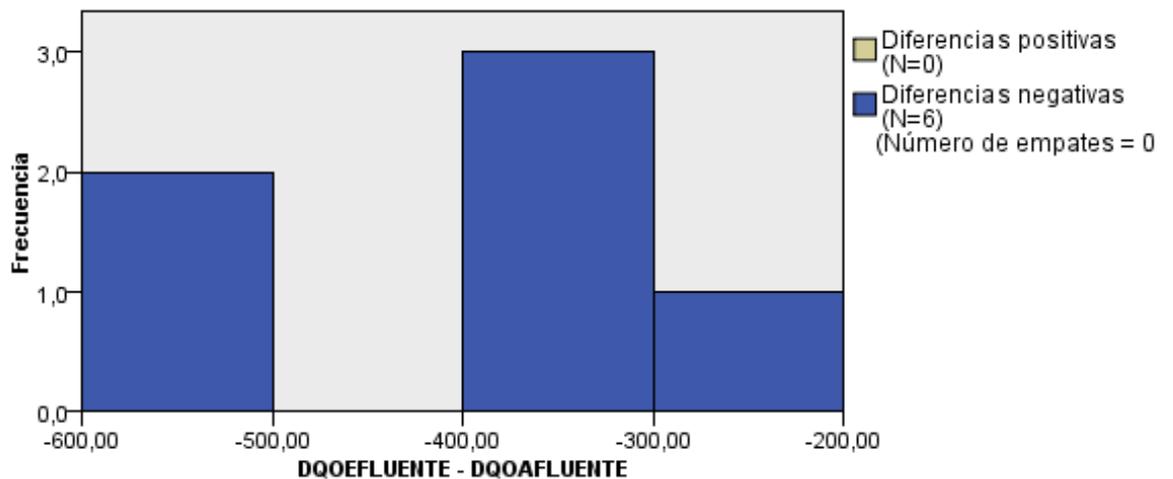
Tabla 12

Resumen de prueba de hipótesis de DQO

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La carga contaminante de salida es igual a la carga contaminante de entrada.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,028	Rechazar la hipótesis nula.

Figura 8

Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas (DQO)



De acuerdo a la figura 8, de la prueba de rangos con signos de Wilcoxon, la diferencia del Efluente y Afluente de DQO, se obtuvieron 0 diferencias positivas, 6 diferencias negativas y 0 número de empates.

✓ **Decisión:**

Como el valor de significancia asintótica o p-valor de acuerdo a la Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (DQO-AFLUENTE y DQO-EFLUENTE) es: $p\text{-valor} = 0,028 < 0,05$ se rechaza la Hipótesis nula (H_0) y se acepta la Hipótesis alterna (H_1).

c) Prueba de hipótesis para la dimensión “Sólidos Suspendidos Totales (SST)”

✓ **Planteamiento de hipótesis:**

H₀: La carga contaminante de salida es igual a la carga contaminante de entrada.

H₁: La carga contaminante de salida es diferente a la carga contaminante de entrada.

✓ **Hipótesis Especifica de la Investigación:**

El tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización de los sistemas Santa Elena 1 y 2 favorece la eliminación o reducción de la carga contaminante de los Sólidos Suspendidos Totales (SST).

✓ **Nivel de significancia:** $\alpha = 0,05$

✓ **Regla de decisión:**

Si p-valor $< \alpha$ entonces se rechaza H₀ y se acepta H₁.

Si p-valor $> \alpha$ entonces se acepta H₀ y se rechaza H₁.

✓ **Resultados:**

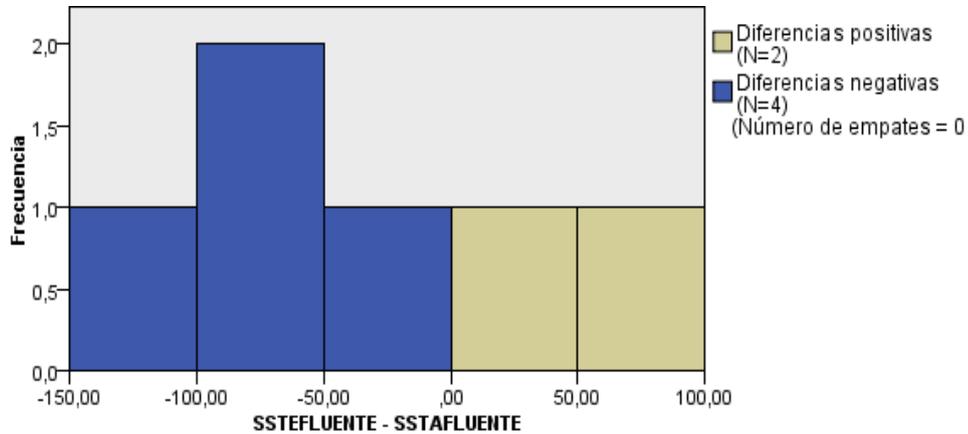
Tabla 13

Resumen de prueba de hipótesis de SST

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La carga contaminante de salida es igual a la carga contaminante de entrada.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,345	Aceptar la hipótesis nula.

Figura 9

Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas (SST)



De acuerdo a la figura 9, de la prueba de rangos con signos de Wilcoxon, la diferencia del Efluente y Afluente de SST, se obtuvieron 2 diferencias positivas, 4 diferencias negativas y 0 número de empates.

✓ **Decisión:**

Como el valor de significancia asintótica o p-valor de acuerdo a la Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (SST-AFLUENTE y SST-EFLUENTE) es: $p\text{-valor} = 0,345 > 0,05$ se acepta la Hipótesis nula (H_0) y se rechaza la Hipótesis alterna (H_1).

d) Prueba de hipótesis para la dimensión “Coliformes Fecales (CF)”

✓ **Planteamiento de hipótesis:**

H₀: La carga contaminante de salida es igual a la carga contaminante de entrada.

H₁: La carga contaminante de salida es diferente a la carga contaminante de entrada.

✓ **Hipótesis Específica de la Investigación:**

El tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización de los sistemas Santa Elena 1 y 2 favorece la eliminación o reducción de la carga contaminante de los Coliformes Fecales (CF).

✓ **Nivel de significancia:** $\alpha = 0,05$

✓ **Regla de decisión:**

Si p-valor < α entonces se rechaza H_0 y se acepta H_1 .

Si p-valor > α entonces se acepta H_0 y se rechaza H_1 .

✓ **Resultados:**

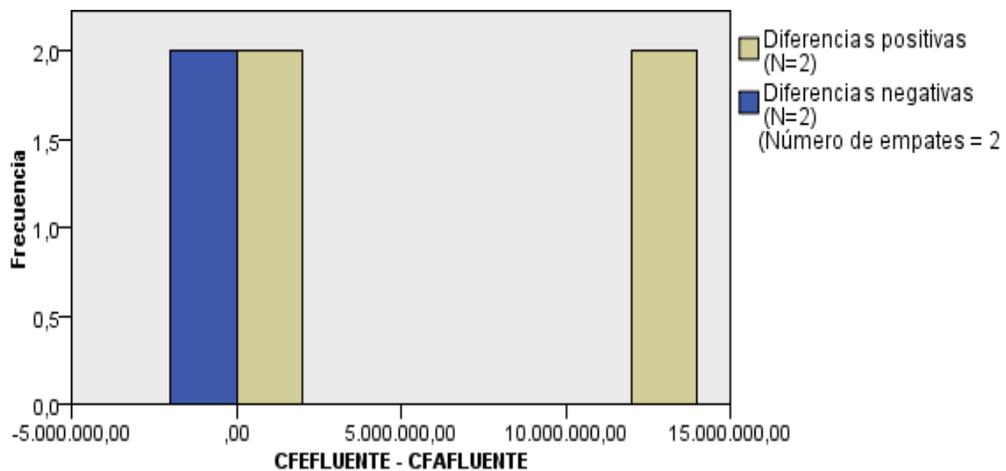
Tabla 14

Resumen de prueba de hipótesis de CF

Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
La carga contaminante de salida es igual a la carga contaminante de entrada.	Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas	,461	Aceptar la hipótesis nula.

Figura 10

Prueba de rangos con signos de Wilcoxon para muestras relacionadas (CF)



De acuerdo a la figura 10, de la prueba de rangos con signos de Wilcoxon, la diferencia del Efluente y Afluente de CF, se obtuvieron 2 diferencias positivas, 2 diferencias negativas y 2 número de empates.

✓ *Decisión:*

Como el valor de significancia asintótica o p-valor de acuerdo a la Prueba de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas (CF-AFLUENTE y CF-EFLUENTE) es: *p-valor* = 0,461 > 0,05 se acepta la Hipótesis nula (H_0) y se rechaza la Hipótesis alterna (H_1).

4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL OE.3: DETERMINACIÓN DE LA CONSTANTE DE DEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA A PARTIR DEL CÁLCULO DE EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CARGA CONTAMINANTE Y TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA.

4.3.1. en cada parte del sistema lagunar Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)

En la Tabla 15, se observan las valoraciones obtenidas de las fórmulas mostradas en la sección 3.7.1., en donde se obtuvo un tiempo de retención hidráulica en el Sistema Lagunar Santa Elena 1 de 4,14 días para la laguna facultativa 1 y 5,06 días para la laguna de maduración 1, por otro lado, en el Sistema Lagunar Santa Elena 2, se obtuvo un TRH de 7,45 días para laguna facultativa 2 y 5,09 para laguna de maduración 2.

Tabla 15

Tiempo de retención hidráulica (días)

Sistema	Laguna	Q* (%)	Q (m ³ /día)	V.T. (m ³)	Azolve (%)	Azolve (m ³)	A.R.** (m ³)	TRH (días)
SE 1	Facultativa 1	50	3.113	24.320	47	11.430	12.889	4,14
	Maduración 1	50	3.113	20.849	26	5.421	15.428	5,06
SE 2	Facultativa 2	50	3.051	33.126	30	9.938	23.188	7,45
	Maduración 2	50	3.051	22.815	32	7.301	15.514	5,09

4.3.2. Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Carga Contaminante en cada Sistema Lagunar, Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)

En la Tabla 16, se muestran los resultados de la eficiencia de remoción para cada muestreo realizado separados (M1, M2, M3), de acuerdo a los parámetros analizados en laboratorio de agua acreditado para el Sistema Lagunar de Santa Elena 1.

Tabla 16

Eficiencia de remoción de carga contaminante de la caracterización de agua residual del Sistema Lagunar Santa Elena 1

Parámetros	M1			M2			M3		
	S0	S	E (%)	S0	S	E (%)	S0	S	E (%)
DBO (mgL ⁻¹)	202,8	88,44	56	272,91	92,47	66	377,28	93,57	75
DQO (mgL ⁻¹)	935	373	60	631	280	56	639	248	61
SST (mgL ⁻¹)	230	153	33	108	120	-11	150	92	39
CF (NMP/100ml)	350x10 ³	9,2x10 ³	97	350x10 ⁴	1600x10 ⁴	-357	1600x10 ⁵	1600x10 ⁵	0

En la Tabla 17, se muestran los resultados de la eficiencia de remoción para cada muestreo realizado separados (M1, M2, M3), de acuerdo a los parámetros analizados en laboratorio de agua acreditado para el Sistema Lagunar de Santa Elena 2.

Tabla 17

Eficiencia de remoción de carga contaminante de la caracterización de agua residual del Sistema Lagunar Santa Elena 2

Parámetros	T1			T2			T3		
	S0	S	E (%)	S0	S	E (%)	S0	S	E (%)
DBO (mgL ⁻¹)	202,8	73,44	64	272,91	130,46	52	377,28	91,77	76
DQO (mgL ⁻¹)	935	347	63	631	311	51	639	358	44
SST (mgL ⁻¹)	230	86	63	108	196	-81	150	109	27
CF (NMP/100ml)	350x10 ³	280x10 ²	92	350x10 ⁴	1600x10 ⁴	-357	1600x10 ⁵	1600x10 ⁵	0

4.3.3. Cálculo de la Constante de Degradación en cada Sistema Lagunar, Santa Elena 1 (SE1) y Santa Elena 2 (SE2)

En la tabla 18, se observan las constantes de degradación para cada sistema lagunar respecto a su propia caracterización de agua residual.

Tabla 18

Constantes de degradación de agua residual de los Sistemas Lagunares 1 y 2.

Sistema	K DBO ₅ (d ⁻¹)	K DQO (d ⁻¹)	K CF (d ⁻¹)	K SST (d ⁻¹)
SE1	0,18	0,13	-0,07	0,08
SE2	0,20	0,12	-0,08	0,06

4.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La relación de las variables estudiadas dio respuesta al objetivo general planteado, objetivo que se basó en la evaluación estadística de los parámetros de análisis físico, químico y biológico del sistema de tratamiento de aguas residuales del Cantón Santa Elena. Para cumplir este objetivo, en primer lugar, se tomaron especímenes de aguas residuales en tres puntos del sistema lagunar durante tres meses, los resultados de estas muestras fueron analizados estadísticamente mediante la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para muestras relacionadas, y finalmente, se concluyó con el cálculo de la constante de degradación de la caracterización de agua residual (DBO, DQO, SST y CF).

La recopilación de muestras simples (M1) se efectuó en primer lugar, el 01 de Junio de 2022, a las 10:10 a.m. con una temperatura de 28,04 °C, de esta muestra se recolectaron resultados de tres muestras: Afluente, Efluente 1 y Efluente 2 (Ver Tabla 7), de la misma manera, la segunda muestra (M2) se tomó en los mismos puntos el día 06 de Julio de 2022, a las 9:05 a.m., con una temperatura de 24,74 °C, los resultados de estos ensayos se observan en la Tabla 8 del apartado de resultados del primer objetivo. Finalmente, la última muestra (M3) fue tomada el 02 de Agosto de 2022, con hora: 8:42 a.m., y temperatura de 22,80 °C (Tabla 9).

Se ejecutó la prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk a los resultados encontrados en laboratorio, prueba que determinó que no existe normalidad y por tanto, se procede a realizar un análisis estadístico mediante la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para dos muestras relacionadas (Afluente y Efluente), de esta prueba se determinó que el tratamiento de aguas residuales por lagunas de estabilización de los sistemas Santa Elena 1 y 2 reduce pero no elimina la carga contaminante de la DBO y DQO, no obstante, la prueba determinó que, para las dimensiones SST y CF, el sistema no reduce ni elimina la carga contaminante que estas poseen.

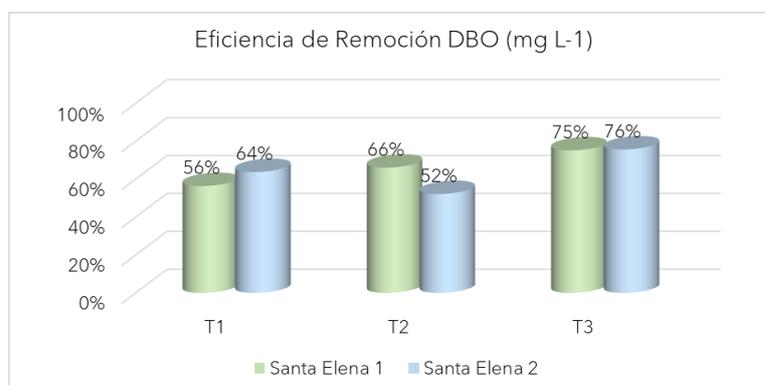
Los tiempos de retención hidráulica en el Sistema de Tratamiento de aguas residuales se presentaron con valoraciones de 4,14 días para L. Facultativa 1 y 7,45 días para L. Facultativa 2, que, comparadas con la literatura, estas deben mantenerse en un rango de 5 a 45 días, de esta manera L. Facultativa 1 no cumple con este rango. Por otro lado, las valoraciones para L. Maduración 1 y L. Maduración 2 oscilaron entre 5,06 días y 5,09 días, valoraciones que están muy por debajo por lo exigido en normativas ambientales que exigen TRH para lagunas de maduración de 20 a 30 días.

La eficiencia de remoción de la DBO durante los tres meses estudiados se presentó para Santa Elena 1 con un valor medio de 66% y para Santa Elena 2 con la valoración media de 64% (Figura 11), porcentajes que están por encima del

50% pero que no llegan a cumplir el 75% de remoción de la carga contaminante que exige la normativa ecuatoriana para calidad de agua (SENAGUA, 2012).

Figura 11

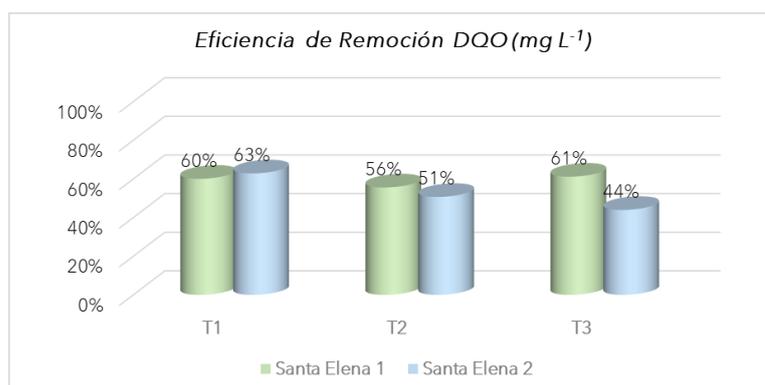
Eficiencia de remoción de carga contaminante (DBO)



La eficiencia de remoción de la DQO durante los tres meses estudiados se presentó para Santa Elena 1 con un valor medio de 59% y para Santa Elena 2 con la valoración media de 53% (Figura 12), porcentajes que están por encima del 50% pero que no llegan a cumplir el 75% de remoción de la carga contaminante que exige la normativa ecuatoriana para calidad de agua (SENAGUA, 2012).

Figura 12

Eficiencia de remoción de carga contaminante (DQO)

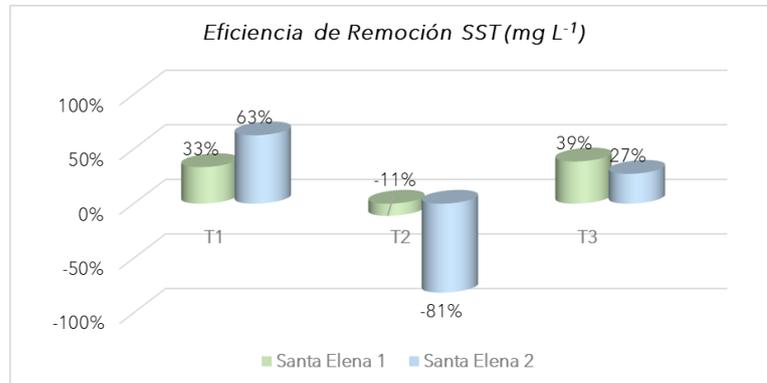


La eficiencia de remoción de SST durante los tres meses estudiados se presentó para Santa Elena 1 con un valor medio de 20% y para Santa Elena 2 con la valoración media de 3% (Figura 13), porcentajes que están por debajo del 25%,

demonstrando que no la remoción que existe es relativamente pobre en referencia a este parámetro.

Figura 13

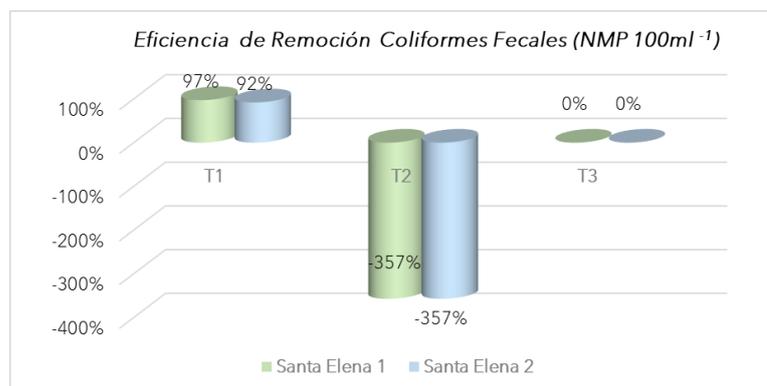
Eficiencia de remoción de carga contaminante (SST)



La eficiencia de remoción de CF durante los tres meses estudiados se presentó para Santa Elena 1 con un valor medio de -87%% y para Santa Elena 2 con la valoración media de -88% (Figura 14), porcentajes que al ser negativos demuestran que el sistema no cuenta con la infraestructura suficiente para tratar coliformes fecales, por ende, los niveles altos de este parámetro contaminan directamente al Río Hondo afectando la salud de las personas aledañas.

Figura 14

Eficiencia de remoción de carga contaminante (CF)



La constante de biodegradabilidad K demuestra que para la dimensión DBO en SE1 y SE2, la materia orgánica se degrada lentamente, asimismo, para la dimensión DQO y SST, y para la dimensión CF, al ser negativa la constante K, demuestra

que este parámetro no se esta degradando y se esta acumulando en las lagunas de estabilización del Cantón Santa Elena.

El valor medio de la DBO para SE1 se presentó con 91 mg/L y para SE2 con 99 mg/L, valoraciones que cumplen con lo exigido (100 mg/L) en TULSMA (2015).

El valor medio de la DQO para SE1 se presentó con 300 mg/L y para SE2 con 339 mg/L, valoraciones que no cumplen con lo exigido (200 mg/L) en TULSMA (2015).

El valor medio de SST para SE1 se presentó con 122 mg/L y para SE2 con 130 mg/L, valoraciones que cumplen con lo exigido (130 mg/L) en TULSMA (2015).

El valor medio de CF para SE1 se presentó con 58669733 NMP/100ml y para SE2 con 58676000, valoraciones que no cumplen con lo exigido (2000 NMP/100ml) en TULSMA (2015).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Las muestras fueron tomadas durante tres meses continuos: Junio, Julio y Agosto del año 2022, estas fueron llevadas a un laboratorio de agua acreditado, donde fueron respectivamente analizados los parámetros de DBO, DQO, SST y CF.
- ✓ La evaluación estadística mediante la prueba de rangos con signo de Wilcoxon demostró que la DBO y DQO difieren entre sus cargas contaminantes, mientras que SST y CF no difieren en sus cargas contaminantes.
- ✓ El cálculo de la constante de degradación demostró que la DBO y DQO y SST presentan una lenta remoción de la materia orgánica y CF no se degrada, más bien, se acumula.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda realizar lechos de secado con frecuencias continuas en las lagunas de estabilización.
- ✓ Realizar ensayos a nivel interlaboratorio para constatar el correcto cumplimiento de los parámetros de caracterización de agua residual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, A., Vedantam, S., Durazno, G., & Nopens, I. (2011). Hydraulic assessment of waste stabilization ponds: Comparison of computational fluid dynamics simulations against tracer data. *Maskana - Universidad de Cuenca*, 2, 81-89. doi:10.18537/mskn.02.01.04
- Amoatey, P., & Bani, R. (2011). Wastewater Management. In E. Fernando Sebastián García (Ed.), *Waste Water* (pp. Ch. 20). Rijeka: IntechOpen.
- Avijit, M., Md. Arman, A., & Mhia Md. Zaglul, S. (2018). Design and feasibility analysis of a low-cost water treatment plant for rural regions of Bangladesh. *AIMS Agriculture and Food*, 3(3), 181-204. doi:10.3934/agrfood.2018.3.181
- Bachi, O. E., Halilat, M. T., Bissati, S., Al-Ansari, N., Saggai, S., Kouadri, S., & Najm, H. M. (2022). Wastewater Treatment Performance of Aerated Lagoons, Activated Sludge and Constructed Wetlands under an Arid Algerian Climate. *Sustainability*, 14(24). doi:10.3390/su142416503
- Badii, M., Rodríguez, M. C., Wong, A., & Villalpando, P. (2007). Diseños experimentales e investigación científica. *Innovaciones de negocios*, 4(8).
- Baum, R., Luh, J., & Bartram, J. (2013). Sanitation: a global estimate of sewerage connections without treatment and the resulting impact on MDG progress. *Environ Sci Technol*, 47(4), 1994-2000. doi:<https://doi.org/10.1021/es304284f>
- Bhuyar, P., Trejo, M., Dussadee, N., Unpaprom, Y., Ramaraj, R., & Whangchai, K. (2021). Microalgae cultivation in wastewater effluent from tilapia culture pond for enhanced bioethanol production. *Water Science and Technology*, 84(10-11), 2686-2694. doi:<https://doi.org/10.2166/wst.2021.194>
- Chen, Y., Wen, Y., Zhou, Q., & Vymazal, J. (2014). Effects of plant biomass on denitrifying genes in subsurface-flow constructed wetlands. *Bioresour Technol*, 157, 341-345. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.137>
- Condori-Ojeda, P. (2020). Niveles de investigación. *Curso Taller*. doi:<https://www.academica.org/cporfirio/17>

- Dawadi, S., Shrestha, S., & Giri, R. A. (2021). Mixed-Methods Research: A Discussion on its Types, Challenges, and Criticisms. *Journal of Practical Studies in Education*, 2(2), 25-36. doi:10.46809/jpse.v2i2.20
- Díaz, N. (2006). Técnicas de muestreo. Sesgos más frecuentes. *Revistas Sedén*, 9, 21-132.
- FAO. (2021). AQUASTAT database. In: *AQUASTAT Website*. doi:<http://www.fao.org/aquastat/statistics/query/>
- Flores, P., Muñoz, L., & Sánchez, T. (2019). Estudio de potencia de pruebas de normalidad usando distribuciones desconocidas con distintos niveles de no normalidad. *Perfiles*, 1(21).
- García-Aljaro, C., Blanch, A. R., Campos, C., Jofre, J., & Lucena, F. (2019). Pathogens, faecal indicators and human-specific microbial source-tracking markers in sewage. *Journal of Applied Microbiology*, 126(3), 701-717. doi:<https://doi.org/10.1111/jam.14112>
- Ghaitidak, D. M., & Yadav, K. D. (2013). Characteristics and treatment of greywater—a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(5), 2795-2809. doi:10.1007/s11356-013-1533-0
- Girard, J. (2013). *Principles of environmental chemistry*: Jones & Bartlett Publishers.
- González, R., & Salazar, F. (2008). *Aspectos básicos del estudio de muestra y población para la elaboración de los proyectos de investigación*. (Licenciatura en Administración), Universidad de Oriente Núcleo de Sucre, Cumaná.
- Henríquez, E., & Zepeda, M. (2004). Elaboración de un artículo científico de investigación. *Ciencia y enfermería*, 10, 17-21.
- Humanante, J. (2022). *Efectos de la biorremediación mediante el uso del bioactivador orgánico Carbo-Vit en lagunas de estabilización del sector Punta Carnero - Ecuador* (Doctorado en Ciencias Ambientales), Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.
- Humanante, J., Moreno, L., Grijalva, A., Saldoya, R., & Suárez, J. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la Provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19(2), 177-187. doi:<http://doi.org/10.17268/manglar.2022.022>

- Irannezhad, M., Ahmadi, B., Liu, J., Chen, D., & Matthews, J. H. (2022). Global water security: A shining star in the dark sky of achieving the sustainable development goals. *Sustainable Horizons*, *1*, 100005. doi:<https://doi.org/10.1016/j.horiz.2021.100005>
- Koul, B., Poonia, A. K., Singh, R., & Kajla, S. (2022). Chapter 4 - Strategies to cope with the emerging waste water contaminants through adsorption regimes. In M. Shah, S. Rodriguez-Couto, & J. Biswas (Eds.), *Development in Wastewater Treatment Research and Processes* (pp. 61-106): Elsevier.
- Koul, B., Yadav, D., Singh, S., Kumar, M., & Song, M. (2022). Insights into the Domestic Wastewater Treatment (DWWT) Regimes: A Review. *Water*, *14*(21), 3542. doi:<https://doi.org/10.3390/w14213542>
- Li, Y., Zhu, G., Ng, W. J., & Tan, S. K. (2014). A review on removing pharmaceutical contaminants from wastewater by constructed wetlands: Design, performance and mechanism. *Science of The Total Environment*, *468-469*, 908-932. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.018>
- López, P. L. (2004). Población, muestra y muestreo. *Punto Cero*, *09*, 69-74.
- MacKay, M., Colangeli, T., Thaivalappil, A., Del Bianco, A., McWhirter, J., & Papadopoulos, A. (2022). A Review and Analysis of the Literature on Public Health Emergency Communication Practices. *J Community Health*, *47*(1), 150-162. doi:<https://doi.org/10.1007%2Fs10900-021-01032-w>
- Matsumoto, T., & Sánchez Ortiz, I. A. (2016). Desempeño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de São João de Iracema (Brasil). *Ingeniería*, *21*, 176-186.
- Morales, N. (2015). Investigación exploratoria: tipos, metodología y ejemplos. *Lifeder*. doi: Recuperado de <https://www.lifeder.com/investigacion-exploratoria>
- Moreno, E. (2008). Manual de Uso de SPSS.
- Neill, D., & Cortez, L. (2018). *Procesos y fundamentos de la investigación científica* (Vol. 1). Machala, Ecuador: Ediciones UTMACH.
- Noyola, A., Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Güereca, L. P., & Hernández-Padilla, F. (2012). Typology of Municipal Wastewater

- Treatment Technologies in Latin America. *Clean Soil Air Water*, 40(9), 926-932. doi:<https://doi.org/10.1002/clen.201100707>
- Pillapa, J. (2021). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Parroquia El Corazón, Cantón Pangua, Provincia Cotopaxi*. (Ingeniería Civil), Universidad Técnica Ambato, Ambato, Ecuador.
- Reutelshöfer, T., & Guzmán, L. F. (2015). *Guía para la toma de muestras de agua residual* (Primera edición ed.). La Paz, Bolivia.
- Rivadeneira, J., Barrera, M., & De La Hoz, A. (2020). Análisis general del SPSS y su utilidad en la estadística. *E-IDEA Journal of Business Sciences*, 2(4), 17-25.
- Romero, M. (2016). Pruebas de bondad de ajuste a una distribución normal. *Revista Enfermería del Trabajo*, 6(3), 114.
- Salehi, M. (2022). Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment International*, 158, 106936. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936>
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: consensos y disensos %J Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria. 13, 102-122.
- Suárez Tomalá, J., & Panchana Villón, R. (2020). *Evaluación estadística de los parámetros de análisis físico, químico y bacteriológico de los afluentes y efluentes del sistema de tratamiento de aguas residuales ubicado a un costado de la vía Punta Carnero del Cantón Salinas*. (Ingeniería Civil), Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador.
- Trang do, T., van der Hoek, W., Cam, P. D., Vinh, K. T., Hoa, N. V., & Dalsgaard, A. (2006). Low risk for helminth infection in wastewater-fed rice cultivation in Vietnam. *J Water Health*, 4(3), 321-331. doi:<https://doi.org/10.2166/wh.2006.013>
- United Nations. (2015). The millennium development goals report. In. United Nations: New York, NY, USA.
- Va, V., Setiyawan, A. S., Soewondo, P., & Putri, D. W. (2018). The characteristics of domestic wastewater from office buildings in Bandung, West Java, Indonesia. *Indonesian Journal of Urban Environmental Technology*, 1(2), 199-214.

- Vázquez-Rodríguez, G. A., & Beltrán-Hernández, R. I. (2004). Pruebas normalizadas para la evaluación de la biodegradabilidad de sustancias químicas. Una revisión. *Interciencia*, 29, 568-573.
- Velasco, G., Moncayo, J., & Chuquer, D. (2019). Diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales de Manta *Revista Infoanalítica*, 7, 27. doi:10.26807/ia.v7i1.90
- Von Sperling, M. (2007). *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*: IWA Publishing.
- Wirawan, S. (2020). Community preparation for domestic wastewater management development in Jakarta. *Int J Innov Sci Res Technol*, 5, 133-143.
- Xia, Y. (2020). Chapter Eleven - Correlation and association analyses in microbiome study integrating multiomics in health and disease. In J. Sun (Ed.), *Progress in Molecular Biology and Translational Science* (Vol. 171, pp. 309-491): Academic Press.

ANEXOS

Anexo 1.

Resultados de Ensayos de Laboratorio

AFLUENTE MUESTRA 1 SIMPLE



INFORME DE RESULTADOS							No.0158-22
FECHA DEL INFORME: 2022/06/03		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA					
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple					
Empresa :		Identificación de la muestra : Laguna Cabezera Cantonal Sta. Elena Afluente					
Dirección :		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013					
Solicitado por : Sr Angel Flores		Fecha de Toma : 2022/05/27					
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente					
F.Inicio del Análisis : 2022/05/27 T°C : 28.04		Hora :					
F.Fin del Análisis : 2022/06/01 %H : 72.04		Fecha de Ingreso : 2022/05/27					
RESULTADOS							
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia	
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	202,80	12%	SM 5210 B	PE 1.3	100	
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	935	15%	SM 5220 D	PE 1.4	200	
Sólidos Totales (SST)	mg/l	230	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130	
Coliformes Fecales	NMP/100ml	350 x 10 ⁻³	--	Standard Methods 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000	



Firmado digitalmente por:
MARIO ARTURO
MARQUEZ
GALLEGOS

Ing. Mario Márquez
Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente 2015) (**) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
- (U*) Incertidumbre de medida

EFLUENTE 1 MUESTRA 1 SIMPLE



INFORME DE RESULTADOS							No.0156-22
FECHA DEL INFORME: 2022/06/03 INFORMACIÓN DEL CLIENTE Empresa : Dirección : Solicitado por : Sr Angel Flores		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA Tipo de Muestra : Simple Identificación de la muestra : Laguna Cabezera Cantonal Sta. Elena Efluente 1 Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013 Fecha de Toma : 2022/05/27 Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente Hora : Fecha de Ingreso : 2022/05/27					
CONDICIONES DEL ANÁLISIS F.Inicio del Análisis : 2022/05/27 T°C : 28,04 F.Fin del Análisis : 2022/06/01 %H : 72,04							
RESULTADOS							
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Limites de referencia	
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	88,44	12%	SM 5210 B	PE 1.3	100	
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	373	15%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200	
Sólidos Totales (SST)	mg/l	153	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130	
Coliformes Fecales	NMP/100ml	9,2 x10 ³	--	Standard Methods 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000	



Ing. Mario Márquez
Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGEESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente 2015)
- (**) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
(U*) Incertidumbre de medida

EFLUENTE 2 MUESTRA 1 SIMPLE



INFORME DE RESULTADOS							No.0157-22
FECHA DEL INFORME: 2022/06/03		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA					
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple					
Empresa :		Identificación de la muestra : Laguna Cabezera Cantonal Sta. Elena Efluente 2					
Dirección :		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013					
Solicitado por : Sr Angel Flores		Fecha de Toma : 2022/05/27					
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente					
F.Inicio del Análisis : 2022/05/27 T°C : 28,04		Hora :					
F.Fin del Análisis : 2022/06/01 %H : 72,04		Fecha de Ingreso : 2022/05/27					
RESULTADOS							
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia	
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	73,44	12%	SM 5210 B	PE 1.3	100	
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	347	15%	SM 5220 D	PE 1.4	200	
Sólidos Totales (SST)	mg/l	86	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130	
Coliformes Fecales	NMP/100ml	280 x 10 ⁻²	--	Standard Methods 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000	



Firma digitalizada por:
MARIO ARTURO
MARQUEZ
GALLEGOS

Ing. Mario Márquez
Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGEESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I - Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente 2015)
- (**) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
(U*) Incertidumbre de medida

AFLUENTE MUESTRA 2 SIMPLE



INFORME DE RESULTADOS							No.0197-22
FECHA DEL INFORME		2022/07/13		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA			
INFORMACIÓN DEL CLIENTE				Tipo de Muestra : Simple GPS:2394800,8674010			
Empresa :				Identificación de la muestra : Laguna Cabezera Cantonal Sta. Elena Afluente			
Dirección :				Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176.2013			
Solicitado por : Sr Angel Flores				Fecha de Toma : 2022/07/06			
CONDICIONES DEL ANÁLISIS				Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente			
F.Inicio del Analisis : 2022/07/06		T°C : 24,74		Hora : 8:42AM			
F.Fin del Analisis : 2022/07/11		%H : 95,22		Fecha de Ingreso : 2022/07/06			
RESULTADOS							
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Limites de referencia	
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	272,91	12%	SM 5210 B	PE 1.3	100	
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	631	15%	SM 5220 D	PE 1.4	200	
Sólidos Totales (SST)	mg/l	108	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130	
Coliformes Fecales	NMP/100ml	350 x 10 ⁴	--	Standard Methonds 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000	



Firmado digitalmente por:
MARIO ARTURO
MARQUEZ
GALLEGOS

Ing. Mario Márquez
Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente (*) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
- (U*) Incertidumbre de medida

EFLUENTE 1 MUESTRA 2 SIMPLE



INFORME DE RESULTADOS							No.0195-22	
FECHA DEL INFORME		2022/07/13					DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA	
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple GPS:2398010,8676340 Empresa : Dirección : Solicitado por : Sr Angel Flores Identificación de la muestra : Laguna Cabezera Cantonal Sta. Elena Efluente 1 Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176.2013 Fecha de Toma : 2022/07/06 Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente Hora : 9:05AM Fecha de Ingreso : 2022/07/06						
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		F.Inicio del Análisis : 2022/07/06 T°C : 24,74 F.Fin del Análisis : 2022/07/11 %H : 95,22						
RESULTADOS								
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia		
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	92,47	12%	SM 5210 B	PE 1.3	100		
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	280	15%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200		
Sólidos Totales (SST)	mg/l	120	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130		
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1600x10 ⁴	--	Standard Methods 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000		



Firma digitalizada por:
 MARIO ARTURO
 MARQUEZ
 GALLEGOS

Ing. Mario Márquez
 Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGEESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente (**)) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
- (U*) Incertidumbre de medida

EFLUENTE 2 MUESTRA 2 SIMPLE



INFORME DE RESULTADOS		No.0196-22				
FECHA DEL INFORME: 2022/07/13 INFORMACIÓN DEL CLIENTE Empresa : Dirección : Solicitado por : Sr Angel Flores		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA Tipo de Muestra : Simple GPS:2415780,8707330 Identificación de la muestra : Laguna Cabezera Cantonal Sta. Elena Efluente 2 Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013 Fecha de Toma : 2022/07/06 Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente Hora : 8:54AM Fecha de Ingreso : 2022/07/06				
CONDICIONES DEL ANÁLISIS Inicio del Análisis : 2022/07/06 T°C : 24,74 Fin del Análisis : 2022/07/11 %H : 55,22						
RESULTADOS						
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	130,46	12%	SM 5210 B	PE 1.3	100
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	311	15%	SM 5220 D	PE 1.4	200
Sólidos Totales (SST)	mg/l	196	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1600 X10 ⁴	--	Standard Methods 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000



Ing. Mario Márquez
Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGEESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente 2015)
- (**) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
(U*) Incertidumbre de medida

AFLUENTE MUESTRA 3 SIMPLE



INFORME DE RESULTADOS							No.0233-22
FECHA DEL INFORME: 2022/08/15		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA					
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple GPS:2394800,8674010					
Empresa :		Identificación de la muestra : Laguna Cabezera Cantonal Sta. Elena Afluyente					
Dirección :		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013					
Solicitado por : Sr Angel Flores		Fecha de Toma : 2022/08/02					
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente					
F.Inicio del Análisis : 2022/08/02 T°C : 22,8		Hora : 8:42AM					
F.Fin del Análisis : 2022/08/09 %H : 58,7		Fecha de Ingreso : 2022/08/02					
RESULTADOS							
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Limites de referencia	
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	377,28	12%	SM 5210 B	PE 1.3	100	
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	639	15%	SM 5220 D	PE 1.4	200	
Sólidos Totales (SST)	mg/l	150	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130	
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1600X10 ⁵	--	Standard Methods 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000	



Ing. Mario Márquez
Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se registrará al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente
- (*) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
(U*) Incertidumbre de medida

EFLUENTE 1 MUESTRA 3 SIMPLE



INFORME DE RESULTADOS							No.0234-22
FECHA DEL INFORME: 2022/08/15		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA					
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple GPS:2398010,8676340					
Empresa :		Identificación de la muestra : Laguna Cabezera Cantonal Sta. Elena Efluente 1					
Dirección :		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013					
Solicitado por : Sr Angel Flores		Fecha de Toma : 2022/08/02					
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente					
F.Inicio del Análisis : 2022/08/02 T°C : 22,8		Hora : 9:05AM					
F.Fin del Análisis : 2022/08/09 %H : 58,7		Fecha de Ingreso : 2022/08/02					
RESULTADOS							
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Limites de referencia	
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	93,57	12%	SM 5210 B	PE 1.3	100	
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	248	15%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200	
Sólidos Totales (SST)	mg/l	92	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130	
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1600X10 ⁵	--	Standard Methonds 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000	



Ing. Mario Márquez
Jefe del Laboratorio

NOTAS:

1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
 2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
 3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
 4. INGEESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
 5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente (*) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
- (U*) Incertidumbre de medida

EFLUENTE 2 MUESTRA 3 SIMPLE



INFORME DE RESULTADOS							No.0235-22
FECHA DEL INFORME: 2022/08/15		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA					
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple GPS:2415780,8707330					
Empresa :		Identificación de la muestra : Laguna Cabezera Cantonal Sta. Elena Efluente 2					
Dirección :		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013					
Solicitado por : Sr Angel Flores		Fecha de Toma : 2022/08/02					
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente					
F.Inicio del Análisis : 2022/08/02 T°C : 22,8		Hora : 8:54AM					
F.Fin del Análisis : 2022/08/09 %H : 58,7		Fecha de Ingreso : 2022/08/02					
RESULTADOS							
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Limites de referencia	
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	91,77	12%	SM 5210 B	PE 1.3	100	
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	358	15%	SM 5220 D	PE 1.4	200	
Sólidos Totales (SST)	mg/l	109	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130	
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1600X10 ⁵	--	Standard Methods 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000	



Ing. Mario Márquez
Jefe del Laboratorio

NOTAS:

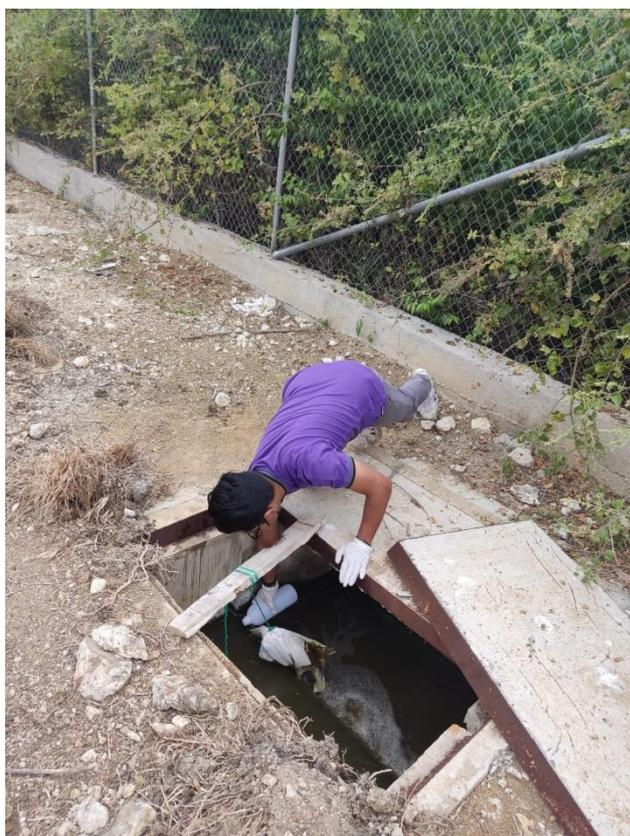
1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) sometidas al ensayo.
2. No se debe reproducir el informe de manera parcial sólo en su totalidad.
3. Las opiniones e interpretaciones no forman parte del alcance de acreditación solicitado al SAE.
4. INGESTUDIOS S.A. respetará la confidencialidad/imparcialidad y se regirá al cumplimiento de las leyes, compromisos contractuales y exigencias de la norma ISO 17025, en cuanto a este tema se refiere.
5. Los límites de referencia en el presente informe corresponden a la Tabla 9 de la Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua (Anexo I – Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del ambiente (*) Parámetro incluido en el alcance de acreditación solicitado al SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano).
(U*) Incertidumbre de medida

Anexo 2.

Toma de Muestras Simples en distintos puntos del Sistema Lagunar (Afluente, Efluente 1 y Efluente 2)



TOMA DE MUESTRAS



LAGUNA DE MADURACIÓN 1



LAGUNA MADURACIÓN 2



LAGUNA FACULTATIVA

