



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE

DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y

CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

TEMA

**ESTUDIO SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA
DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS USANDO
“PHRAGMITES AUSTRALIS” (CARRIZO) COMO PLANTA
ASEQUIBLE DEL SECTOR SAN JOSÉ-LA TRONCAL**

TUTOR

ING. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

AUTORES

MARIO ALEXANDER COLLAGUAZO MOROCHO

JENNY GUADALUPE ESPIN LEDESMA

GUAYAQUIL

2022



REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Estudio sobre Humedales Artificiales para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas usando “Phragmites Australis” (Carrizo) como planta asequible del Sector San José-La Troncal	
AUTOR/ES: Collaguazo Morocho Mario Alexander Espin Ledesma Jenny Guadalupe	REVISORES O TUTORES: Ing. Pablo Mario Paredes Ramos
INSTITUCIÓN: Universidad Laica Vicente Roca fuerte de Guayaquil	Grado obtenido: Ingeniero Civil
FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2022	N. DE PAGS: 104
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: agua residual, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, depuración, humedales artificiales.	
RESUMEN: En el Sector San José del Cantón La Troncal existe una problemática con respecto a las aguas residuales, ya que dicho sector carece de un sistema de alcantarillado por lo que la mayoría de habitantes recurren a pozos sépticos, pero en algunas viviendas se puede visualizar una tubería que traslada las aguas grises y desemboca directamente en un canal, el cual es habitualmente usado por habitantes del sector para riego. Los habitantes del sector son al mismo tiempo causa y víctimas de la contaminación del agua. Por lo cual se dio la iniciativa de encontrar una alternativa (uso de humedales artificiales) para solucionar esta problemática. Entonces, se necesitó realizar un estudio sobre este sistema depurador, mediante la implementación de una planta piloto aledaña a una vivienda para constatar su	

eficacia. Para el presente estudio se consideró un alcance de investigación de tipo experimental, debido a muestras recolectadas y llevadas a laboratorio donde se logró medir, calcular y comparar. Logrando así, probar la hipótesis planteada. Los resultados de las concentraciones (coliformes fecales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales) de los ensayos realizados estuvieron sujetos dentro del rango establecido del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) en cuanto a las tablas de los “Límites de Descarga al sistema el Alcantarillado Público” y “Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce”.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Collaguazo Morocho Mario Alexander Espin Ledesma Jenny Guadalupe	Teléfono: 0960035984 0960581747	E-mail: alexandercm905@gmail.com jennyespin1999@gmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	<p>Mgtr. Ing. Milton Gabriel Andrade Laborde (Decano de la Facultad) Teléfono: (04) 2596500 Ext. 210 E-mail: mandradel@ulvr.edu.ec</p> <p>Mgtr. Ing. Alexis Wladimir Valle Benitez (Director de la Carrera) Teléfono: (04) 2596500 Ext. 242 E-mail: avalleb@ulvr.edu.ec</p>	

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD ACADÉMICA

Tesis final

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

<1 %

2

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

3

rd.udb.edu.sv:8080

Fuente de Internet

<1 %

4

Submitted to Universidad Andina Simón
Bolívar, Sede Ecuador

Trabajo del estudiante

<1 %

5

Submitted to Universidad Francisco de Paula
Santander

Trabajo del estudiante

<1 %

6

broccolystudy.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

7

qdoc.tips

Fuente de Internet

<1 %

8

hostinguate.com

Fuente de Internet

<1 %

9	Submitted to University of Lancaster Trabajo del estudiante	<1 %
10	ecowest.co.il Fuente de Internet	<1 %
11	purl.org Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	Submitted to BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA BIBLIOTECA Trabajo del estudiante	<1 %
14	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	produccioncientificaluz.org Fuente de Internet	<1 %
16	www.pinterest.es Fuente de Internet	<1 %
17	Submitted to Universidad Autónoma de Ciudad Juárez Trabajo del estudiante	<1 %
18	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
19	labarraespaciadora.com Fuente de Internet	<1 %

20	repo.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
21	amcath.ccadet.unam.mx Fuente de Internet	<1 %
22	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
23	delightintruth.com Fuente de Internet	<1 %
24	Ródney David Peñafiel, Carla Moreno, Valeria De Lourdes Ochoa-Herrera. "Eliminación de nitrógeno y contaminación orgánica de agua residual industrial pretratada en lagunas anaeróbicas mediante un biofiltro de arena", <i>Avances en Ciencias e Ingeniería</i> , 2016 Publicación	<1 %
25	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
26	www.eli.org Fuente de Internet	<1 %
27	www.libreriaingeniero.com Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	www.themanufacturer.com Fuente de Internet	<1 %

		<1 %
30	repositorio.upch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	www.ceaed.org Fuente de Internet	<1 %
32	www.imprentanacional.go.cr Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.cuc.edu.co Fuente de Internet	<1 %
34	repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet	<1 %
35	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
36	perfiles.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
37	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
38	congresodurango.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
39	www.ianas.com Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Universidad del Valle de Atemajac	<1 %

Trabajo del estudiante

41	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.ulasamericas.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
43	vtic.itccanarias.org Fuente de Internet	<1 %
44	www.ioncomunicacion.es Fuente de Internet	<1 %
45	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia Trabajo del estudiante	<1 %
46	www.aqua.cl Fuente de Internet	<1 %
47	semspub.epa.gov Fuente de Internet	<1 %
48	www.revistatyca.org.mx Fuente de Internet	<1 %
49	eprints.ugd.edu.mk Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 10 words

Excluir bibliografía

Activo



ING. PABLO MARIO PAREDES RAMOS
TUTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

Los estudiantes egresados MARIO ALEXANDER COLLAGUAZO MOROCHO Y JENNY GUADALUPE ESPIN LEDESMA, declaramos bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, Estudio sobre Humedales Artificiales para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas usando “Phragmites Australis” (Carrizo) como planta asequible del Sector San José-La Troncal, corresponde totalmente a los suscritos y nos responsabilizamos con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedemos los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)

Firma:



MARIO ALEXANDER COLLAGUAZO MOROCHO

C.I. 0302666862

Firma:



JENNY GUADALUPE ESPIN LEDESMA

C.I. 1207284983

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación Estudio sobre Humedales Artificiales para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas usando “Phragmites Australis” (Carrizo) como planta asequible del Sector San José-La Troncal, designado por el Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: Estudio sobre Humedales Artificiales para la Depuración de Aguas Residuales Domésticas usando “Phragmites Australis” (Carrizo) como planta asequible del Sector San José-La Troncal, presentado por los estudiantes MARIO ALEXANDER COLLAGUAZO MOROCHO Y JENNY GUADALUPE ESPIN LEDESMA como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma: 

ING. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

C.C. 0911828150

AGRADECIMIENTO

Ha sido un largo camino lleno de obstáculos y pruebas tanto a nivel académico como a nivel personal, al principio tenía mis dudas si lograría culminar mis estudios. Pero gracias a Dios por haber escuchado mis oraciones, por su infinito amor, por su guía, y por todas sus bendiciones. He logrado llegar al final de esta meta planteada hace 5 años. Hoy soy lo que soy, es gracias a él. Son muchas las personas involucradas en este proceso, estoy eternamente agradecido con todos ustedes.

A mis Papás: Luis y Yolanda les agradezco por toda la paciencia, confianza y amor brindado. Sus esfuerzos y sacrificios son las causas de lo que hoy en día estoy cosechando. Sin ustedes esto no hubiera sido posible. Los Amo.

A mis hermanos: Angelo y David. Su apoyo brindado fue fundamental para la realización de este proyecto, sin ustedes no lo hubiera logrado. Yo sé que con ustedes puedo contar para las que sea.

A Mami Vicky y Mami Zoila, por haberme inculcado buenos valores. Esto es por ustedes. Constantemente daré mi mayor esfuerzo para que se sientan orgullosas de mí. Mami Zoila a pesar que ya no estas con nosotros, tus consejos, enseñanzas permanecerán. Siempre te llevaré en mi corazón.

A mi querida novia: María, tú haces parte de mi vida hace más de 5 años, estoy tan agradecido por todo ese cariño, entendimiento y soporte brindado durante ese tiempo.

Finalmente, a todos aquellos que me han brindado un espacio de su tiempo para compartir alegrías y tristezas. Muchas Gracias.

COLLAGUAZO MOROCHO MARIO ALEXANDER

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico a todas aquellas personas (futuros investigadores) que encaminan un proyecto de investigación para solucionar una problemática, que ansían generar un cambio positivo en cuanto al bienestar de un sector urbano o rural. Considerar que hay muchas alternativas para tratar aguas residuales domésticas, solo se debe tener en mente realizar un buen diagnóstico y análisis, de ahí optar por una alternativa conveniente.

COLLAGUAZO MOROCHO MARIO ALEXANDER

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien, con sus bendiciones, guía y acompaña mi camino brindándome mucha sabiduría, permitiéndome así culminar con éxito mi carrera.

A mis padres y hermanos por todo el amor y apoyo brindado en cada semestre, a mi familia y a cada una de las personas que estuvieron conmigo siempre dándome esperanza y que confiaron en mí.

A Fabián por toda la paciencia, amor y apoyo incondicional brindado en estos últimos semestres.

Agradezco a cada uno de los docentes de la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción por todo el conocimiento adquirido a lo largo de la carrera. Finalmente quiero expresar mi agradecimiento a Mario quien le ha puesto muchas ganas y dedicación a este trabajo, de igual manera al Msc. Ing Pablo Paredes quien ha sido colaborador durante este proceso quien con su dirección, experiencia y profesionalismo brindado hizo posible la culminación de nuestro trabajo de titulación.

ESPIN LEDESMA JENNY GUADALUPE

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

A Dios mi más grande inspiración, gracias por la vida, por bendecirme en cada paso que doy y por ayudarme a cumplir una de tantas metas trazadas.

A mis padres y hermanos no lo hubiese logrado sin ustedes, gracias por todo el esfuerzo, apoyo y amor incondicional brindado. Gracias por confiar siempre en mí. ¡Los amo!

A cada uno de quienes han estado conmigo, compartiendo alegrías y tristezas, a aquellos que me han brindado un consejo, que se han preocupado por mí. Gracias por todo el cariño, los llevo en mi corazón.

ESPIN LEDESMA JENNY GUADALUPE

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Tema	3
1.2. Planteamiento del Problema	3
1.3. Formulación del Problema	4
1.4. Objetivo General	4
1.5. Objetivos Específicos.....	4
1.6. Hipótesis	4
1.6.1. Variable Independiente	5
1.6.2. Variable Dependiente.....	5
1.7. Línea de Investigación Institucional/Facultad	5
CAPITULO II.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Marco Teórico.....	6
2.1.1. Antecedentes	6
2.1.2. Aguas Servidas.....	7
2.1.3. Aguas Residuales	7
2.1.4. Tipos de Aguas Residuales	7
2.1.5. Parámetros Físicos para Caracterizar las Aguas Residuales.....	9
2.1.6. Parámetros Microbiológicos para Caracterizar las Aguas Residuales.....	12
2.1.7. Parámetros Químicos para Caracterizar las Aguas Residuales.....	15
2.1.8. Parámetros Mínimos para la Caracterización de las Aguas Residuales	19
2.1.9. Carga Contaminante.....	20
2.1.10. Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas	21

2.1.11.	Humedales Artificiales	24
2.1.12.	Clasificación de los Humedales Artificiales según el Flujo del Agua	24
2.1.13.	Sustrato (lecho filtrante) usado en Humedales Artificiales.....	33
2.1.14.	Vegetación (macrófitas) usada en Humedales Artificiales	34
2.1.15.	Procesos de Remoción en Humedales Artificiales.....	35
2.2.	Marco Legal	38
CAPITULO III.....		44
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	44
3.1.	Enfoque de la Investigación.....	44
3.2.	Alcance de la Investigación	44
3.3.	Técnica e Instrumentos para obtener los datos	45
3.4.	Población y Muestra	45
3.5.	Diagnóstico del Sitio de Estudio.....	46
3.6.	Presentación y Análisis de Resultados.....	51
3.7.	Propuesta.....	52
3.7.1.	Diseño del Humedal.....	54
3.7.2.	Implementación de la Planta Piloto	56
3.7.3.	Presentación y Análisis de Resultados después de la Implementación del Humedal Artificial Horizontal de flujo Horizontal Sub Superficial.....	66
3.7.4.	Presupuesto Referencial.....	72
CONCLUSIONES		74
RECOMENDACIONES.....		75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		76
ANEXOS		80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Línea de investigación institucional de la ULVR	5
Tabla 2. Contaminantes en Aguas Residuales	8
Tabla 3. Límites Admisibles de Sólidos Sedimentables	11
Tabla 4. Características de los Microorganismos presentes en Aguas Residuales	12
Tabla 5. Límites Máximos para la Descarga de Coliformes Fecales en Aguas Residuales ...	14
Tabla 6. Límites Permisibles para la Concentración de la DQO	19
Tabla 7. Parámetros Mínimos para Caracterizar Aguas Residuales	20
Tabla 8. Ejemplo sobre la Carga Contaminante de 2 Empresas	21
Tabla 9. Características de los Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas	23
Tabla 10. Humedales Artificiales según el Flujo del Agua	25
Tabla 11. Ventajas y Desventajas de un HFS	28
Tabla 12. Ventajas y Desventajas de un HFHSS	30
Tabla 13. Ventajas y Desventajas de un HFVSS	33
Tabla 14. Procesos de Remoción en Humedales Artificiales	37
Tabla 15. Límites de Descarga al Sistema el Alcantarillado Público	41
Tabla 16. Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce	42
Tabla 17. Densidad de la Población del Cantón La Troncal.....	46
Tabla 18. Resultados del primer informe.....	51
Tabla 19. Concentración de Fondo	54
Tabla 20. Coeficientes de Velocidad	55
Tabla 21. Resultados de Entrada al Humedal Artificial.....	66
Tabla 22. Resultados de Salida del Humedal Artificial	67
Tabla 23. Costos para la Implementación de la Planta Piloto.....	72
Tabla 24. Costos de Ensayos de Laboratorio	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los Sólidos Totales.....	10
Figura 2. Fracción filtrable y No filtrable de Sólidos Suspendidos.....	12
Figura 3. Clasificación y Características de las Bacterias	13
Figura 4. Parámetros Químicos a determinar en Aguas Residuales	15
Figura 5. Curva de la DBO	17
Figura 6. Proceso para la Determinación de la DQO	18
Figura 7. Esquema de los Tipos de Humedales Artificiales según Macrófitas a usar.....	26
Figura 8. Esquema de un HFS	26
Figura 9. Consideraciones de Diseño de un HFS	27
Figura 10. Esquema de un HFHSS	29
Figura 11. Consideraciones de Diseño de un HFHSS	30
Figura 12. Esquema de un HFVSS	31
Figura 13. Consideraciones de Diseño de un HFVSS	32
Figura 14. Ocupación de la Población según Ramas de Actividades del Cantón La Troncal	46
Figura 15. Mapa del Sitio de Estudio	47
Figura 16. Canal de agua principal revestido de hormigón	48
Figura 17. Canal de agua secundario sin revestimiento.....	49
Figura 18. Tubería de aguas grises con descarga directa al canal de agua secundario.....	50
Figura 19. Sitio de Implementación de la Planta Piloto para el presente Estudio	53
Figura 20. Reconocimiento, Limpieza y Replanteo del Sitio de Implementación del Humedal	56
Figura 21. Marcación del Sitio	56
Figura 22. Replanteo Total para Excavación.....	57
Figura 23. Excavación con Máquina	57
Figura 24. Supervisión de la Excavación.....	58
Figura 25. Conformación de Taludes	58
Figura 26. Pendiente 1% con Dirección al Tanque reservorio	59
Figura 27. Encofrado de la estructura de hormigón armado.....	59

Figura 28. Estructura de Soporte de Hormigón Armado para Tanque de 55 galones	60
Figura 29. Impermeabilización del Humedal Artificial.....	60
Figura 30. Tubería Tanque Elevado – Humedal.....	61
Figura 31. Tubería Receptora Cribada.....	61
Figura 32. Tubería Humedal- Tanque Reservorio	62
Figura 33. Piedra Chispa.....	62
Figura 34. Arena de Río Limpia	63
Figura 35. Recolección de la Vegetación	63
Figura 36. Vegetación y Zona de Anclaje de la Geomembrana	64
Figura 37. Vista de Vivienda Antes y Después de la Implementación.....	64
Figura 38. Operación y Observación del Funcionamiento de la Planta Piloto	65
Figura 39. Comparativa del Agua Antes y Después de Ingresar al Humedal Artificial.....	65
Figura 40. Muestras Recolectadas para el Respectivo Estudio	66
Figura 41. Comparativa de la Concentración de la DBO5	68
Figura 42. Comparativa de la Concentración de la DQO	69
Figura 43. Comparativa de la Concentración de Sólidos Suspendidos Totales.....	70
Figura 44. Comparativa de la Concentración de Coliformes Fecales.....	71

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Plano de la Planta Piloto	81
Anexo 2. Resultados de primer ensayo para el diseño del H.A.....	82
Anexo 3. Informe de resultados de entrada al H.A.....	83
Anexo 4. Informe de resultados de salida del H.A.	84
Anexo 5. Factura de Geomembrana	85

INTRODUCCIÓN

Ecuador es un país que cada vez va en incremento poblacional, que arrastra un problema con respecto a la implementación de sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), viéndose afectados sobre todo los sectores rurales ya que, al no contar con servicio de alcantarillado, los habitantes no tienen otra alternativa que ingeniárselas por desembocar dichas aguas.

Generalmente los habitantes recurren a pozos sépticos, los cuales pueden alterar el subsuelo, contaminar aguas subterráneas debido a la falta de mantenimiento y presencia de filtraciones; otra forma a la que recurren es mediante la descarga directa de aguas residuales a canales cercanos de su vivienda. Por ende, se considera la alternativa de humedales artificiales en sectores rurales para tratar las aguas residuales de cada vivienda, siendo este un sistema depurador sencillo que logra combinarse de manera armónica al entorno, consiguiendo que las aguas residuales domésticas se conviertan en un recurso reutilizable.

Por lo anterior mencionado se definió que el objetivo general del proyecto de investigación era “Estudiar el comportamiento de un humedal artificial mediante una planta piloto para la depuración de aguas residuales domésticas del Sector San José-Cantón La Troncal”, con la finalidad de poder constatar su eficacia en cuanto a la remoción de concentración de parámetros contaminantes mediante ensayos de laboratorio, para lo cual se recolectaron muestras a la entrada y salida de la planta piloto. Los parámetros que se evaluaron son: DQO (demanda química de oxígeno), DBO (demanda biológica de oxígeno), Sólidos Suspendidos Totales y Coliformes fecales.

Para el presente estudio fue imprescindible empezar con una metodología de investigación, considerando un alcance de investigación de tipo experimental, ya que se basó en la medición de parámetros por medio de muestreos recolectados y llevados a laboratorio donde se logró medir, calcular y comparar. Logrando identificar el estado en la que se encontraba el agua a la entrada y salida de la planta piloto.

El contenido del estudio realizado conlleva la realización de tres capítulos, A continuación, se detalla el contenido de cada capítulo.

En el primer capítulo se detalla la problemática a tratar, la formulación del problema la cual debe ser respondida por un objetivo general planteado, para ello se necesitó plantear y cumplir con tres objetivos específicos. Todo a fin de brindar una alternativa de solución a la problemática.

En el segundo capítulo se describe los antecedentes sobre el tema principal a tratar como es el de humedales artificiales, además de la recopilación de información y conceptualización precisa que

ayude a un mejor entendimiento del estudio a realizar. También, se necesitó considerar un marco legal para detallar los artículos y tablas que respalden el estudio realizado.

En el tercer capítulo se desarrolla la metodología de investigación, detallando el tipo de enfoque de la investigación, el alcance y las técnicas que se aplicaron para cumplir con los objetivos propuestos del proyecto. Asimismo, en este capítulo se describe la propuesta que consiste en el diseño e implementación de una planta piloto basada en humedales artificiales, constatando su eficacia mediante la presentación y análisis de resultados. Por último, se detallan las conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados y cumplidos a la vez, de igual manera se detallan las recomendaciones con la finalidad de mejorar el estudio realizado.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Tema

Estudio sobre humedales artificiales para la depuración de aguas residuales domésticas usando “phragmites australis” (carrizo) como planta asequible del Sector San José-Cantón La Troncal

1.2. Planteamiento del Problema

El agua es un elemento vital que está siendo malgastado y contaminado hasta la fecha. Según la recopilación de información de (BBC News, 2015), es probable que en 15 años la mitad de la población mundial viva en áreas en las que no habrá suficiente agua dulce debido a la gran demanda del 40% de incremento para el año 2030, lo cual será muy difícil que el planeta logre suministrar.

Por tal motivo, se debe tratar de controlar y mitigar las pérdidas de este elemento vital, como también dar un adecuado tratamiento a las aguas residuales, contribuyendo a recuperar un porcentaje de agua, a tal punto de poder dar un nuevo uso las aguas ya depuradas en actividades domésticas diarias que no ameriten usar agua potable como es el caso de aseo de vivienda, uso para tanque de inodoro, para riego de cultivos, entre otros. Tener en cuenta que las aguas residuales domésticas están compuestas por aguas negras las cuales están constituidas por heces y orina que proceden del inodoro. Mientras que las aguas grises contienen en su mayoría aguas jabonosas combinada con grasas debido a actividades comunes realizadas en lavadoras, fregaderos, duchas, lavabos.

En el Sector San José del Cantón La Troncal, hay aproximadamente 20 viviendas cercanas a un canal de agua, la mayoría de las viviendas pertenece a gente dedicada a la agricultura y cría de animales. Existe una problemática con respecto a las aguas residuales, ya que dicho sector carece de un sistema de alcantarillado por lo que la mayoría de habitantes recurren a pozos sépticos, pero en algunas viviendas se puede visualizar una tubería que traslada las aguas grises y desemboca directamente en un canal, el cual es habitualmente usado por habitantes del sector para riego. Pero cuando el suministro de agua potable no es frecuente, hacen uso del canal para aseo personal, aseo de vivienda y para el lavado ya sea de ropa o utensilios de cocina mediante la recolección de agua en tanques de almacenamiento. Parece una broma de mal gusto, pero es la realidad. Los habitantes del sector son al mismo tiempo causa y víctimas de la contaminación del agua.

Para lo cual se da como alternativa la depuración de las aguas residuales domesticas de cada vivienda mediante humedales artificiales usando plantas asequibles del sector, con la finalidad de

mitigar cualquier contaminación al medio ambiente debido a la falta de servicio de alcantarillado. La implementación de una planta piloto en base a este sistema depurador es indispensable para constatar su eficiencia (reducción de concentraciones de parámetros contaminantes) y al mismo tiempo sirva de ejemplo a los habitantes del sector sobre el uso de humedales artificiales para la depurar aguas residuales.

Hay que tener en cuenta algo muy importante, el agua residual doméstica se la puede considerar como un recurso renovable, se la puede reutilizar sin ningún problema para actividades cotidianas de las personas, como riego de áreas verdes, el tanque de los inodoros, la agricultura, etc., siempre y cuando tenga un adecuado tratamiento.

1.3. Formulación del Problema

¿Qué se debe realizar para considerar los humedales artificiales en la depuración de aguas residuales domésticas usando “*phragmites australis*” (carrizo) como planta asequible del Sector San José ubicado en el Cantón La Troncal?

1.4. Objetivo General

Estudiar el comportamiento de un humedal artificial mediante una planta piloto para la depuración de aguas residuales domésticas del Sector San José-Cantón La Troncal.

1.5. Objetivos Específicos

- Implementar una planta piloto para estudiar el comportamiento de un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales domésticas.
- Comparar las concentraciones de los parámetros presentes: DBO, DQO, sólidos suspendidos totales y coliformes fecales en el agua residual doméstica de las muestras tomadas a la entrada y salida de la planta piloto.
- Determinar el presupuesto referencial por la construcción de la planta piloto.

1.6. Hipótesis

Mediante la implementación de una planta piloto para el estudio de humedales artificiales usando “*phragmites australis*” (carrizo) como planta asequible del sector para la depuración de aguas residuales domésticas, se constatará la eficiencia de los humedales artificiales en cuanto a la reducción de concentraciones de parámetros contaminantes presentes en el agua residual doméstica.

1.6.1. *Variable Independiente*

Estudio de humedales artificiales.

1.6.2. *Variable Dependiente*

Implementación de planta piloto en base a un humedal artificial para depurar agua residual doméstica usando carrizo como planta asequible del sector San José-cantón La Troncal.

1.7. Línea de Investigación Institucional/Facultad

Tabla 1. *Línea de investigación institucional de la ULVR*

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN		
ULVR	FIC	Sublínea
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio	Recursos Hídricos

Adaptado de Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Antecedentes

En la II Conferencia de la Cátedra “Depuración de Aguas del Mediterráneo” (DAM, 2019) con motivo del Día Mundial del Agua, que se llevó a cabo el 22 de marzo en Valencia-España, el investigador Miguel Martín del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia (IIAMA-UPV), destacó la capacidad de los humedales artificiales para la depuración en sectores rurales o pequeñas poblaciones.

Además, en dicha conferencia los representantes institucionales como *Laura Pastor* (a cargo del área de innovación de DAM), *Alberto Bouzas* (director de cátedra DAM-UV) y *Paula Marzal* (directora de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la UV) señalaron un punto muy importante: La economía circular como una metodología esencial para lidiar con el cambio climático, debido a que se ahorra agua y energía; con esta metodología se podría reducir residuos, asimismo preservar las materias primas.

Según Joaquín Melgarejo Moreno, director del Instituto Universitario del Agua y las Ciencias Ambientales de la Universidad de Alicante, la reutilización apoya a disminuir la sobreexplotación de acuíferos, y del mismo modo tras un buen tratamiento, se pueden usar para proveer caudales ambientales. A todo esto, Miguel Martín Monerris, investigador del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, señaló la gran importancia de los humedales artificiales como sistemas para mejoría ambiental, del medio natural y del ámbito urbano o rural. (DAM, 2019)

Asimismo, detalló que los humedales artificiales son sistemas sencillos de tratamientos de aguas, que al contar con plantas acuáticas como enneas, juncos, carrizo, etc.; se logra obtener agua con una calidad considerable tras su adecuado tratamiento. Del mismo modo indicó que este tipo de sistema mediante humedales artificiales son óptimos para sectores rurales o pequeñas poblaciones, por su sencillez constructiva, por su bajo costo de mantenimiento y operación debido a la carencia de costes energéticos relacionados con la aireación. Igualmente, se logra reducir sólidos suspendidos y contaminantes, sin perder la grandiosa incorporación paisajística en el medio ambiente. (DAM, 2019)

El Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca de Ecuador (MPCEIP, 2021), en el apartado del libro Blanco de Economía Circular del país destaca la importancia de tomar acciones a favor de revertir el impacto desfavorable hacia la sociedad y el medio ambiente que genera el modelo lineal que se maneja como es el de extraer, producir, usar, desechar.

El empleo de un modelo sostenible como es el de economía circular abarca tres principios primordiales: eliminar residuos y contaminación desde el diseño, mantener productos y materiales en uso, regenerar sistemas naturales. Se tiene previsto restaurar y regenerar el ecosistema mediante el empleo del modelo mencionado, mediante estrategias de producción y consumo, evitando en lo posible desde el diseño generar residuos. (MPCEIP, 2021)

El diario digital de propiedad del estado ecuatoriano (El Telégrafo, 2018) describe en un apartado sobre los tipos de humedales existentes en el territorio ecuatoriano los cuales se clasifican en: continentales (lagos de agua dulce); marino-costeros (arrecife coralino) y tenemos a los humedales artificiales. Manifestó que el Ministerio del Ambiente (MAE) reconoce e indica la importancia esencial de estos sitios para proveer agua y brindar supervivencia a la flora y fauna. Estos humedales son de gran importancia a nivel económico, cultural, científico, y recreativo. Asimismo, la bióloga Silvia Sánchez aseguró que el grupo de diferentes tipos de humedales mencionados anteriormente, atribuyen el principal abastecimiento de agua renovable para uso de las personas.

2.1.2. Aguas Servidas

Normalmente se las conoce como el resultado de aguas derivadas del empleo doméstico o industrial. Conocidas también como aguas residuales, debido a que se constituyen como un residuo al ser ya empleadas. Pero existe discrepancia entre ciertos autores, ya que indican una desigualdad entre el concepto de aguas servidas y aguas residuales; aguas servidas se refieren solamente a las provenientes del empleo doméstico y aguas residuales hace referencia a la mezcla de aguas provenientes del uso doméstico e industrial. (Rubio, 2012)

2.1.3. Aguas Residuales

Estas aguas contienen impurezas provenientes del empleo doméstico o industrial, usualmente son trasladadas por sistemas de alcantarillado hasta llegar a una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para realizar el respectivo tratamiento y después hacer su respectivo vertido en sitios que no afecten al medio ambiente. (ecomar, 2020)

2.1.4. Tipos de Aguas Residuales

Según el origen del que provengan las aguas residuales, tenemos los siguientes tipos:

- **Aguas Residuales Domésticas:** su procedencia se da en las diferentes viviendas, residencias y son aguas desechadas debido al empleo doméstico. (HIDROTEC, 2021)

Las aguas residuales domésticas están compuestas por:

- **Aguas negras:** son las que están constituidas por heces y orina que proceden del inodoro. (Lozano-Rivas, 2012)
- **Aguas grises:** son las que contienen en su mayoría aguas jabonosas combinada que se combina con grasas debido a las actividades comunes realizadas en lavadoras, fregaderos, duchas y lavabos. (Lozano-Rivas, 2012)
- **Aguas Residuales Industriales:** su procedencia es de la industria, locales públicos, comerciales y ganadería, las aguas son desechos derivados de empleos o procesos productivos y comerciales. (HIDROTEC, 2021)
- **Aguas Residuales Urbanas:** se refiere al conjunto de aguas residuales domésticas, industriales y pluviales, las cuales son conducidas por un sistema de alcantarillado. (HIDROTEC, 2021)

A continuación, en la Tabla 2 se detalla algunos de los contaminantes presentes en aguas residuales domésticas.

Tabla 2. *Contaminantes en Aguas Residuales*

Contaminantes en aguas residuales		
Microorganismos	Bacterias, virus y huevos de helminto	Riesgo para actividades acuáticas, baños y consumo de mariscos
Materia orgánica biodegradable	Disminución de oxígeno disuelto en ríos y lagos	Muerte de peces, olor
Otros compuestos orgánicos	Detergentes, plaguicidas, grasas, aceites, colorantes, etc.	Efectos tóxicos, bio-acumulación en la cadena alimenticia
Nutrientes	Nitrógeno, fósforo, amoníaco	Eutrofización, escases de oxígeno disuelto, efectos tóxicos
Metales	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	Efectos tóxicos, bio-acumulación
Otros compuestos inorgánicos	Ácidos como el sulfuro de hidrógeno	Corrosión, efectos tóxicos
Efectos térmicos	Agua caliente	Cambios en condición de vida tanto de flora y fauna
Olor	Sulfuro de hidrógeno	Inconvenientes estéticos, efectos tóxicos
Radioactividad		Efectos tóxicos, acumulación

Adaptado de (Hernández, Buitrón, López, & Cervantes, 2017)

Elaborado por: Collaguazo & Espin (2021)

2.1.5. Parámetros Físicos para Caracterizar las Aguas Residuales

Mediante estos parámetros se tiene una idea de la calidad del agua residual a simple vista. A continuación, se detalla los parámetros primordiales físicos medibles:

2.1.5.1. Temperatura. El agua residual tiene una temperatura mayor en comparación al agua de abastecimiento, esto se debe por la mezcla de aguas derivadas del empleo doméstico e industrial. Se debe tener mucha consideración este parámetro para los procesos biológicos en los tratamientos de las aguas residuales, ya que dichos procesos dependen mucho de la temperatura. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Para el crecimiento de la actividad bacteriana, el rango óptimo de temperatura está entre los 25 °C y 35 °C, si la temperatura se eleva hasta llegar cerca de los 50°C se detendrían los procesos bacterianos tanto de digestión aerobia como los de nitrificación. Ahora, si la temperatura desciende menor o igual a 5 °C las actividades microbianas se ven imposibilitadas de continuar. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.5.2. Olor. Este parámetro se debe tener mayor consideración, cuando una PTAR se encuentra alrededor de sectores poblados. El agua residual reciente, cuando es bien tratada tiene un olor soportable parecido al moho (hongos). Por otro lado, cuando los procesos de degradación se los realizan con ausencia de oxígeno (condiciones anaerobias), hay la posibilidad de que se genere malos olores. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

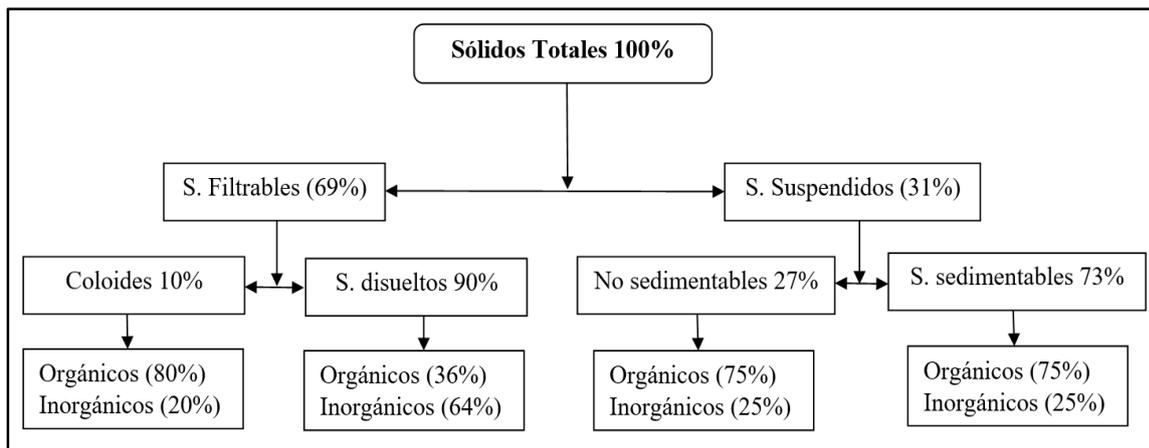
2.1.5.3. Turbidez. Se refiere a la pérdida de transparencia del agua, debido a partículas en suspensión (algas, arcillas, lodos, etc.), mientras más partículas de menor tamaño en suspensión existan en el agua, más elevada será la turbidez. Debido al impedimento de transmisión de los rayos de luz por el material coloidal que absorbe o los dispersa, para medir la turbidez del agua se efectúa una comparativa entre la intensidad del rayo de luz discontinuo transmitido en una muestra y la intensidad del rayo de luz discontinuo incidente. Los instrumentos a utilizar para medir la intensidad de luz en la determinación de la turbidez son los turbidímetros o nefelómetros, se detallan en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (UNT) los resultados. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.5.4. Color. Al igual que la turbidez, el color del agua se ve afectado por partículas en suspensión. Igualmente, el color sirve para tener una noción del estado en que se encuentra el agua residual.

2.1.5.5. Conductividad Eléctrica. Se refiere a la posibilidad que tiene el agua para conducir electricidad, mediante iones en solución, mientras más concentración de iones exista, se elevará la conductividad. Para la determinación de la conductividad eléctrica se usa un instrumento denominado “conductímetro”, el cual se sumerge en el agua a examinar, y por lectura directamente del instrumento se determina el valor de conductividad. Los valores se detallan en micromhos por centímetro ($\mu\text{mho/cm}$) y en deciSiemens por metro (dS/m). (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.5.6. Sólidos Totales. Estos pueden ser clasificados en sólidos suspendidos y sólidos filtrantes. Si una cantidad de sólidos queda retenida en un filtro de membrana, estos forman parte de los sólidos suspendidos por tener un tamaño de poro de 1,2 micras, mientras que la otra parte que pudo filtrarse se los considera sólidos disueltos o filtrables. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

A continuación, en la Figura 1 se detalla la clasificación de los sólidos totales.



Adaptado de (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Figura 1. Clasificación de los Sólidos Totales

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.5.6.1. Sólidos Suspendidos. Es un parámetro fisicoquímico que da a conocer cuál es la cantidad de sólidos retenidos durante el proceso de filtración del agua. Este tipo de sólidos son transportados por acción de arrastre y soporte debido al movimiento del agua. (Vásquez, 2018)

Son todas aquellas partículas orgánicas, inorgánicas y líquidas inmiscibles es decir que no se pueden mezclar con otras sustancias que estén presentes en el agua. Se puede dividir en dos grupos como son las partículas orgánicas e inorgánicas. (García Quito & Ludizaca Viracocha, 2017)

- **Orgánicas:** fibras de plantas, células de algas, bacterias y sólidos biológicos.

- **Inorgánicas:** la arcilla y las sales.

Para lograr una alta remoción de sólidos suspendidos es de gran importancia que el lecho filtrante sea el adecuado, manteniendo una densidad apropiada en plantas. Se recomienda que el lecho filtrante debe poseer una granulometría entre 10 y 15 mm para mejor rendimiento de remoción a través de procesos como sedimentación y filtración. (Londoño & Marín, 2009)

La generación de sólidos suspendidos en las aguas residuales, se debe por actividades del ser humano (domésticas, agrícolas e industriales), como también por sucesos naturales. De los sólidos suspendidos se deriva en sólidos sedimentables y no sedimentables. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

- **Sólidos Sedimentables:** son aquellos que se logran sedimentar hasta el fondo de un recipiente (cono de Imhoff) en un lapso de 60 minutos. En cuanto a lo que concierne al tratamiento de aguas residuales, este parámetro es útil para saber el volumen y la densidad que se logrará en la decantación primaria. Mediante volumetría y gravimetría es realizado su análisis, y en cuanto a su tamaño son mayores a 0,01 mm estos sólidos, también se los puede expresar en ml/l o mg/l. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

A continuación, en la Tabla 3 se aprecia los límites admisibles permitidos para el vertido de sólidos sedimentables en cuerpos de aguas o lugares receptores.

Tabla 3. Límites Admisibles de Sólidos Sedimentables

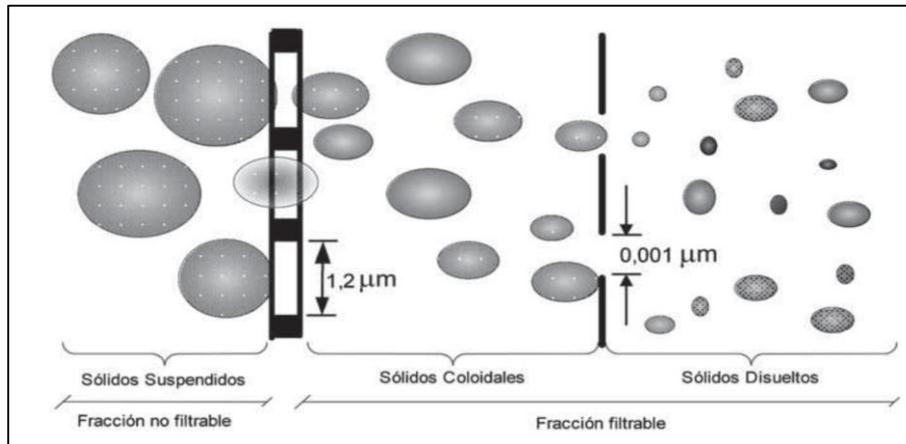
Parámetro	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D
Sólidos sedimentables	< 10 mg/l	< 30 mg/l 0,1 ml/l	< 50 mg/l <1 ml/l	100 mg/l <1 ml/l

Adaptado de (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

- **Sólidos No Sedimentables:** son los que no se logran sedimentarse, se mantienen suspendidos, para el retiro de estos sólidos es necesario un filtro. En cuanto a su tamaño son mayores a 0,001mm. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.5.6.2. Sólidos Filtrables. Estos sólidos logran cruzar por un filtro de membrana con 1,2 micras de tamaño (ver Figura 2). Algunos autores clasifican a los sólidos filtrables en sólidos coloidales y sólidos disueltos, de acuerdo al diámetro de sus partículas. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)



Nota: Los coloides son partículas con tamaños de 0,00001 y 0,01mm. Y los sólidos disueltos con tamaños menores a 0,00001mm., se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas.

Figura 2. Fracción filtrable y No filtrable de Sólidos Suspendidos

Fuente: (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.6. Parámetros Microbiológicos para Caracterizar las Aguas Residuales

“Los microorganismos son tan diminutos que no se consideran como plantas ni animales, se los denomina protista (tercer reino)”. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

A continuación, la Tabla 4 detalla las características de algunos microorganismos presentes en aguas residuales.

Tabla 4. Características de los Microorganismos presentes en Aguas Residuales

Microorganismos	Tamaño (mm)	Persistencia en el Medio Ambiente (20-30°C)	Resistencia a la desinfección con Cloro	Multiplicación fuera del huésped humano
Bacterias	0,001-0,005	1-3 meses	No	No
Protozoos	0,005-0,01	< 30 días	Si	No
Virus	0,00001-0,0003	Meses	Si	No
Helmintos				No

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.6.1.Las Bacterias. Son organismos de una sola célula, ya sean éstas móviles o inmóviles.

Las bacterias entéricas, usualmente se detectan en el agua como consecuencia de la materia fecal. A continuación, la Figura 3 detalla la clasificación de las bacterias y sus características. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Criterio de Clasificación	Tipo	Características
Por la forma de obtener nutrición	Parásitas	Bacterias que han definido como huésped al hombre o animales, es uno de los factores importantes a considerar en sistemas de tratamiento de A.R., por ejemplo: E. coli, salmonellas, vibrio cholerae, etc.
	Saprófitas	Bacterias que se nutren de los sólidos orgánicos residuales. Ejemplo: nitrobacter, nitrosomas, sulfato-reductoras, etc.
Según las características del medio que habitan	Aerobias	Bacterias que necesitan oxígeno procedente del agua para alimentación y respiración; el agua que habitan (a diferencia de la poblada por otras bacterias) carece del mal olor.
	Anaerobias	Bacterias que consumen el oxígeno procedente de los sólidos orgánicos e inorgánicos.
	Facultativas	Aquellas bacterias aerobias y anaerobias que pueden adaptarse al medio opuesto, es decir, algunas bacterias aerobias pueden desarrollarse y vivir en situaciones sin oxígeno y viceversa.
	Autótrofas	Bacterias que pueden alimentarse a partir de sustancias minerales como dióxido de carbono (CO ₂), sulfatos (SO ₄ ⁻²), Fosfatos (PO ₄ ⁻³), entre otros, tomando la energía necesaria para sus procesos a partir de la luz.

Adaptado de (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Figura 3. *Clasificación y Características de las Bacterias*

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.6.1.1. Coliformes. “Son bacterias que se hallan por lo regular en el suelo, en animales, en plantas y en los humanos”. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

- **Coliformes Totales:** “son bacterias tanto aerobias como anaerobios facultativos no esporulados”. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)
- **Coliformes Fecales:** se define a aquellos microorganismos como bacilos cortos, gran positivos aerobios y anaerobios, capaces de fermentar lactosa con producción de ácido y gas. (García Quito & Ludizaca Viracocha, 2017)

“Es un subgrupo de los C. totales, la diferencia de estos coliformes respecto a los C. totales es su tolerancia a elevadas temperaturas superando los 44.5°C, esta capacidad les ayuda a adaptarse”. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Los coliformes fecales también denominados termo resistentes pueden proceder también de aguas orgánicamente enriquecidas como efluentes industriales, o de materias vegetales y suelos en descomposición. (OMS, 1995)

A continuación, la Tabla 5 nos detalla los valores de límites máximos para la descarga de coliformes fecales en aguas residuales.

Tabla 5. *Límites Máximos para la Descarga de Coliformes Fecales en Aguas Residuales*

Unidad	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Diaria
NMP/100 ml	< 50 y <5	< 1000 y < 200	< 5000 y < 1000	< 50000 y < 5000	1000

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

Los organismos coliformes fecales o termo resistentes son detectados con facilidad, pueden desempeñar una importante función secundaria como indicadores de la eficacia de los procesos de tratamiento del agua para eliminar las bacterias fecales. Se pueden utilizar a fin de estimar el grado de tratamiento necesario para aguas de distinta calidad y de definir objetivos de eliminación de bacterias. (OMS, 1995)

Entre el 90% y el 100% de coliformes fecales existentes en heces humanas, pertenecen a *Escherichia Coli* (E. coli). De 5 mil millones a 50 mil millones de coliformes fecales que se encuentran en un gramo de heces humanas, se obtiene la probabilidad de que el 40% del peso húmedo de las heces sean células bacterianas. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Los coliformes son un fiel indicador de contaminación bacteriana. Pero más que nada los coliformes fecales debido a su alta concentración en distintos tipos de muestras y por su alta capacidad de sobrevivir y adaptarse a elevadas temperaturas. Es por esta razón que los coliformes totales ya no se usan o ya no se deberían usar como fiel indicador de contaminación. En una PTAR se debe usar el parámetro de coliformes fecales para evaluar la eficiencia de remoción de la misma. (Díaz Delgado, y otros, 2003)

2.1.6.1.2. Los Virus de Aguas Residuales. Los virus en comparación con las bacterias, no se encuentran regularmente en las heces humanas, a excepción del tracto gastrointestinal de personas que han sido afectados por estos virus. Los virus pueden causar infección y enfermedad, aún en bajas concentraciones. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.6.1.3. Parásitos en Aguas Residuales. Se clasifican en: protozoos y helmintos.

- **Protozoos:** conocidos también como protozoarios son organismos de una sola célula, son microorganismos que habitualmente se hallan en fangos y lodos que se generan en las PTAR. A continuación, en la Figura 6 se detalla algunos protozoarios presentes en aguas residuales. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)
- **Helmintos:** son organismos, clasificados como patógenos entéricos (debido a que tienen capacidad por permanecer mucho tiempo en suelos), principales en generar infección por contacto con agua en malas condiciones. Una de las formas de infección por parte de helmintos al hombre es: contacto con las heces en el suelo o en el agua (penetración por la piel), alimentos en mal estado (cuando se ingieren), animales consumidos por el hombre (animales que han consumido alimento contaminado). (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.7. Parámetros Químicos para Caracterizar las Aguas Residuales

Los valores de los parámetros de los componentes del agua varían, debido a la interacción de las propiedades químicas del agua con el suelo. A continuación, en la Figura 4 se detalla los parámetros químicos más utilizados para caracterización de aguas residuales. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

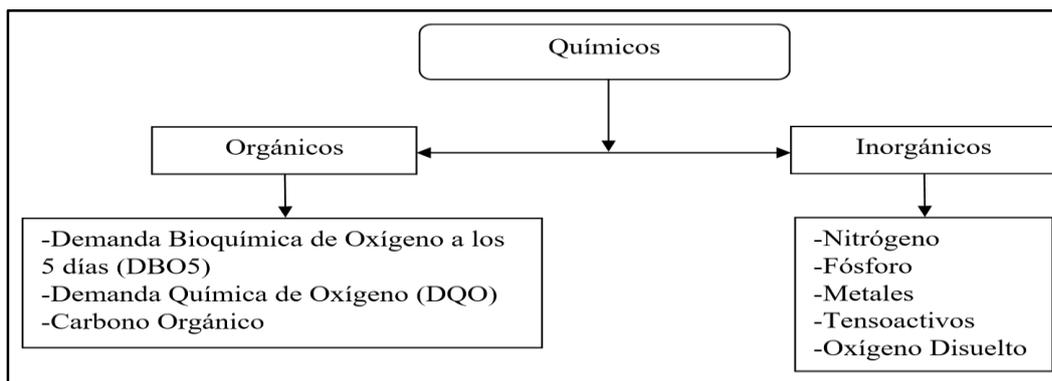


Figura 4. Parámetros Químicos a determinar en Aguas Residuales

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.7.1. pH. El potencial de hidrógeno es un parámetro que hace referencia a la manifestación de iones de hidrógeno. En las aguas residuales los valores de pH suelen estar entre 6,5 y 8,5 unidades, este es un rango adecuado para que los microorganismos encargados de la depuración puedan desarrollarse sin ningún problema, además de eso al superar las 9,2 unidades se frena el crecimiento de E. coli. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.7.2. Compuestos Inorgánicos. Se refieren a los nutrientes, gases y metales pesados. Para un adecuado desarrollo de vida, los nutrientes son indispensables. Es necesario que las PTAR, cuando se realiza el tratamiento biológico, se cumpla con los valores medios de concentración de los nutrientes, porque al momento que se viertan las aguas residuales con valores elevados, se verá afectado el lugar donde se viertan dichas aguas, provocando la eutrofización (esto es causado principalmente por valores elevados de nitrógeno y fósforo). (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.7.3. Compuestos Orgánicos. Presentes en aguas residuales originarias a partir de heces, restos de alimentos, material vegetal y todo en cuenta a materiales orgánicos. Para determinar la concentración de material orgánico presente en el agua, se suele usar la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅). Estos parámetros evalúan la cantidad de oxígeno útil que aportan los microorganismos para poder oxidar las diferentes cantidades de materia orgánica que se encuentra en el agua. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

La materia orgánica es el parámetro más indicado para saber qué tan contaminada está el agua, ya que genera el agotamiento de oxígeno del agua. La materia orgánica consiste en CHONS (Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre), proteínas (derivados de animal y vegetal), carbohidratos (derivado vegetal), aceites y grasas (derivados de la cocina) y surfactantes (detergentes). (Lozano-Rivas, 2012)

2.1.7.3.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅). Es un parámetro primordial en cuanto a la caracterización del agua residual, nos ayuda a medir el grado de contaminación, mientras más concentración de DBO tenga el agua, más alto el grado de contaminación significará. Los microorganismos consumen oxígeno mientras se encargan en degradar la materia orgánica, por lo cual este parámetro mide esa cantidad de oxígeno. (Induanalisis, 2019)

Como ya se había dicho este ensayo consiste en medir la cantidad de oxígeno útil que aportan los microorganismos para oxidar materia orgánica presente en una muestra de agua, y en cuanto a sus unidades su resultado está dado en mg/l. El proceso de la DBO₅ denominada también como DBO estándar, trata de una incubación con microorganismos a una temperatura de 20°C por 5 días, en una

botella de Whinkler se coloca una limitada cantidad de agua a analizar (agua residual), a la cual se le añade agua saturada con oxígeno disuelto y nutrientes requeridos. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Al inicio de la evaluación se determina la concentración oxígeno para después de los 5 días comparar con la concentración de oxígeno final. A menudo, se realiza pruebas con más días de incubación, tenemos a la DBO_7 (ensayo de 7 días) y la $DBO_{última}$ (ensayo de 20 días). En aguas residuales domésticas se considera que la DBO_5 equivale a $0.75 DBO_{última}$. (Lozano-Rivas, 2012)

A continuación, la Figura 5 representa la curva característica de la DBO, evidenciando un 70 % a 75% de degradación de la materia orgánica, al pasar los 10 días la curva se hace una recta prolongada indefinidamente. (Lozano-Rivas, 2012)

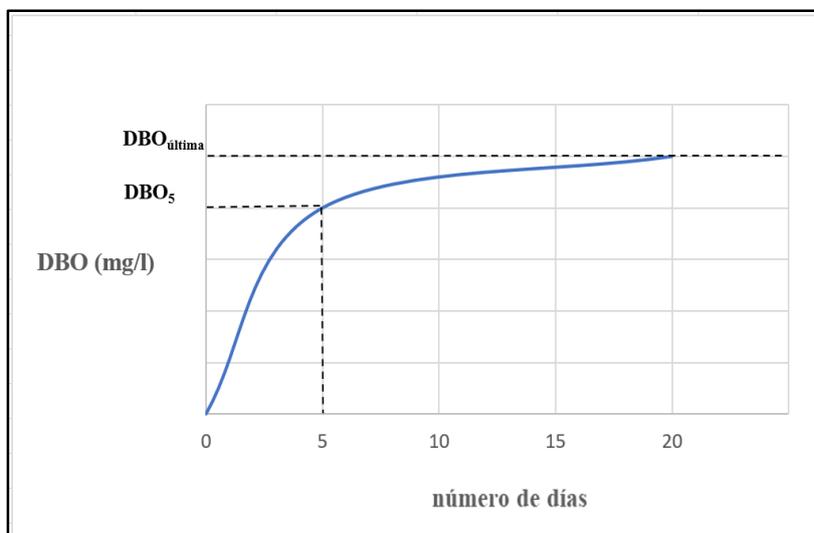


Figura 5. Curva de la DBO

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

Los altos niveles de la DBO_5 son capaces de provocar una disminución de flora y fauna acuática por la pérdida de oxígeno en las corrientes de agua, provocando así variaciones en la calidad del agua y una elevación de pH que genera una posible disminución de vida acuática. Las bacterias y los hongos también generan su impacto a causa del alto contenido orgánico aceleran su crecimiento consumiendo el oxígeno requerido que necesitan la flora y fauna acuática para su correcto desarrollo. (Tiburcio, 2019)

2.1.7.3.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO). Al igual que la DBO, este método sirve para saber la concentración de materia orgánica de una muestra, midiendo la cantidad de oxígeno útil que aportan los microorganismos para oxidar materia orgánica, y en cuanto a sus unidades su resultado está dado en mg/l. Pero hay diferencias en comparación con la DBO en cuanto a tiempo, error y proceso. (Lozano-Rivas, 2012)

La DBO presenta cerca de un 25% a 35% de error, y para conocer los resultados (75% del total) se necesita mínimo 5 días; La DQO no presenta error con altos porcentajes, y su resultado se puede conocer al paso de unas 3 horas. En cuanto al proceso ya no se usan microorganismos, consiste en añadir dicromato de potasio- $K_2Cr_2O_7$ (oxidante fuerte) en ácido sulfúrico- H_2SO_4 . Por tal motivo la DQO es preferible debido al menor tiempo en que se conoce los resultados y por el porcentaje mínimo de error. (Lozano-Rivas, 2012)

A continuación, la Figura 6 nos detalla el proceso químico para determinar la DQO.

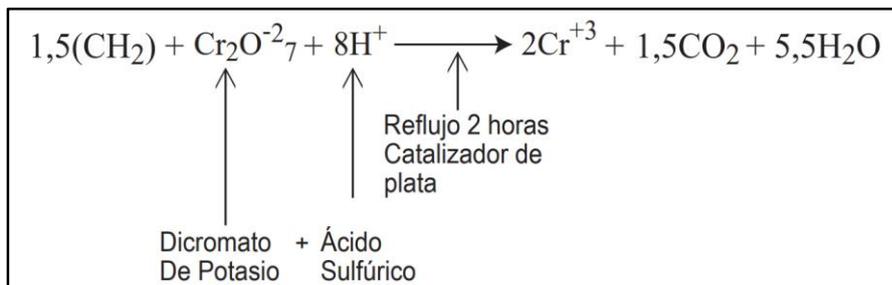


Figura 6. Proceso para la Determinación de la DQO

Fuente: (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

A diferencia de la DBO no se necesita hacer uso de bacterias o microorganismo. Para la obtención de muestras de laboratorio se utiliza el método colorimétrico que consiste en la medición del Cr absorbido, donde se hace uso de un oxidante fuerte como es el dicromato (Cr+6) el cual se reduce a (Cr+3) para poder lograr la oxidación de la materia orgánica. (Salguero, 2018)

La DQO se reduce debido a los microorganismos y al aporte de oxígeno producido por las raíces de las plantas, aunque este último es realmente bajo comparado con las reacciones biológicas. La capacidad de remoción también se debe en gran parte al tiempo utilizado en la retención y al tipo de sustratos utilizados. (Salguero, 2018)

La DQO involucra encontrar la oxidación completa (materia orgánica biodegradable y no biodegradable) de la muestra de agua que este en análisis, a diferencia que la DBO solo determina la materia orgánica biodegradable de dicha muestra. Al tener los resultados, se puede evidenciar que la concentración de DQO siempre es más elevado que el de la DBO. (Induanalisis, 2019)

A continuación, la Tabla 6 se detalla los valores de límites máximos admisibles para la descarga de este parámetro.

Tabla 6. *Límites Permisibles para la Concentración de la DQO*

Parámetro	Unidad	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Diario
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	< 5	< 10	< 40	<60	250

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.7.3.3. Carbono Orgánico Total (COT). Parámetro que evalúa la cantidad de oxígeno útil que aportan los microorganismos para poder oxidar las diferentes cantidades de materia orgánica biodegradable y no degradable que se encuentra en el agua. Este ensayo no es muy aplicado debido al costo elevado en comparación con la DQO y DBO, se requiere de equipo de gran valor y de gran cuidado en cuanto al manejo de las muestras. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

El COT, se determina mediante la diferencia entre carbono total (CT) y carbono inorgánico (CI), para la obtención del carbono inorgánico (CI) se inyecta una muestra de agua residual en una cámara de reacción, la cual incluye ácido fosfórico (H_3PO_4), debido a las condiciones ácidas el carbono inorgánico se transforma en CO_2 y mediante un analizador de infrarrojos se determina los resultados. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.7.3.4. Relación entre DQO y DBO. La relación entre la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO), es de que ambas sirven para saber qué tan contaminada y llena de materia orgánica se encuentra una muestra de agua residual, y a más de eso ayuda a determinar la biodegradabilidad de un vertido, en cuanto a su resultado es adimensional (no tiene unidad) de la siguiente manera:

- Si la DQO/DBO es mayor o igual a 2.5 es un vertido No Biodegradable (agua residual industrial) (Lozano-Rivas, 2012)
- Si la DQO/DBO es menor a 2.5 es un vertido Biodegradable (agua residual doméstica) (Lozano-Rivas, 2012)

2.1.8. Parámetros Mínimos para la Caracterización de las Aguas Residuales

Para la caracterización de aguas residuales, se deben determinar como mínimo los siguientes parámetros.

Tabla 7. Parámetros Mínimos para Caracterizar Aguas Residuales

Caracterización de aguas residuales		
Parámetro	Expresión	Unidad
Caudal	Q	l/día
Temperatura	°C	
Potencial de hidrógeno	pH	
Sólidos sedimentables	SD	ml/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	DBO ₅	mg/l
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l
Sólidos Totales (suspendidos y disueltos)	ST	mg/l
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l
Fósforo Total	P	mg/l
Aceites y grasas	Sustancias solubles de hexano	mg/l
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/l

Adaptado de (Lozano-Rivas, 2012)

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.9. Carga Contaminante

La determinación de un parámetro en particular nos da a conocer la calidad y que tan contaminada se encuentra un vertido (agua a tratar), pero no es suficiente para valorar el caudal vertido. Aunque no se considera como un parámetro o criterio la Carga Contaminante si valora el caudal vertido, en cuanto a la cantidad de concentración de un parámetro en un caudal. Por esa razón se denomina carga contaminante (cantidad de concentración en un día), y su expresión está dada por kg/d. A continuación, para un mejor entendimiento del concepto de “Carga Contaminante”, se detalla un ejemplo adaptado de “Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales”. (Lozano-Rivas, 2012)

Ejemplo: La empresa “X” vierte al río Cañar un caudal exageradamente elevado de 500 l/s, con una concentración mínima de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con 30 mg/l. Mientras que la empresa “Y” vierte un caudal considerablemente bajo de 0.2 l/s, pero en cuanto a la concentración de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es demasiado elevado con 70000 mg/l.

Pregunta: ¿Cuál es la empresa que más carga contaminante vierte al río?

- A simple viste, los valores de concentración más elevados pertenecen a la empresa “Y” (70000 mg/l), por la tanto es la que más contamina al río supuestamente.
- He aquí la importancia de la *Carga Contaminante*, ya que además de la concentración se debe considerar el caudal vertido. Se procede a calcular la CC.

Fórmula: Carga Contaminante (CC)= **Concentración*Caudal*0.0864**

Donde:

CC: Carga Contaminante (kg/d)

Concentración del parámetro analizado: DQO (mg/l)

Q: Caudal (l/s)

0.0864: es un valor predeterminado derivado de la conversión mg/s a kg/d

$$1 \frac{mg}{s} * \frac{86400 s}{1 d} * \frac{1 kg}{1000000 mg} = 0.0864 kg/d$$

A continuación, en la Tabla 8 se detalla el cálculo para determinar la carga contaminante del ejemplo de las 2 empresas.

Tabla 8. Ejemplo sobre la Carga Contaminante de 2 Empresas

Empresa	Concentración	Caudal	Carga Contaminante
	DQO (mg/l)	Q (l/s)	CC (kg/d)
X	30	500	30*500*0.0864= 1296.00 kg/d (DQO)
Y	70000	0.2	70000*0.2*0.0864= 1209.60 kg/d (DQO)

Nota: Determinados los valores de *Carga Contaminante* de cada empresa, se puede constatar que la Empresa “X” es la que más carga contaminante vierte al río.

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.10. Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

Para el tratamiento se debe cumplir con procesos (físicos, químicos y microbiológicos) y operaciones direccionadas a la depuración (mitigar concentraciones dañinas) de dichas aguas para después ser vertidas a un cuerpo receptor, evitando así algún impacto negativo al medio ambiente. Estos procesos se realizan en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) o también conocidas como Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). (Lozano-Rivas, 2012)

Las fases para el tratamiento de aguas residuales domésticas consisten en:

- **Recogida:** Se direcciona las aguas residuales domésticas mediante tuberías (dependiendo de la situación topográfica puede ser mediante pendientes o por bombeo) que salen del hogar y se conducen hacia un sistema de alcantarillado. (Moreira Veliz & Macías Choez, 2018)
- **Tratamiento:** Las aguas residuales domésticas son conducidas por un sistema de alcantarillado y dirigidas hacia una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), donde se debe cumplir con procesos y operaciones direccionadas a la depuración (mitigar concentraciones dañinas) de dichas aguas. (Moreira Veliz & Macías Choez, 2018)
- **Evacuación o Vertido:** Es la fase final donde se realiza el vertido de las aguas residuales domésticas ya tratadas (menor cantidad de concentraciones dañinas), dependiendo del proceso y la capacidad de remoción que se realizó en la PTAR, se puede realizar el vertido en cauces aledaños. (Moreira Veliz & Macías Choez, 2018)

A continuación, la Tabla 9 nos detalla los tipos de tratamiento y obras complementarias de una PTAR.

Tabla 9. Características de los Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

Tratamiento	Función	Obras complementarias	Parámetros involucrados	Eficiencia
Pretratamiento	Retirar sólidos de considerables dimensiones, a fin de evitar obstrucción en tuberías y equipos de la PTAR	-Pozo de muy gruesos -Rejillas -Desarenador -Desengrasador	Físicos Químicos (neutralización)	En este tratamiento no se logra remociones en Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) ni en Sólidos Suspendedos Totales (SST)
Primario	Retirar gran parte de materia orgánica suspendida decantable (se sedimenta en un tiempo determinado)	-Decantadores primarios -DAF (unidades de flotación por aire disuelto) -Tamices	Físicos Químicos (decantación asistida)	Remoción de DBO hasta 50 % (un 80% con decantación asistida) Remoción de SST hasta 70% (un 85% con decantación asistida)
Secundario	Retirar materia orgánica soluble (se disuelve y forma nueva sustancia), eliminar patógenos y elementos contaminantes	-Reactores microbiológicos aerobios (lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, humedales , lagunas) -Reactores microbiológicos anaerobios (RAP. Reactor anaerobio de flujo pistón, RAFA. Reactor anaerobio de flujo ascendente)	Biológicos	Remoción de DBO hasta un 92% Remoción de SST hasta un 90%
Terciario	Precisar en menorar en lo más posible la concentración de materia orgánica, y parámetros como nitratos, metales, pesticidas, entre otros.	-Coagulación-floculación -Adsorción -Filtración -Lagunas -Desinfección	Químicos Biológicos	De acuerdo a que tan contaminada estaba el agua, la eficiencia total tendrá variaciones.

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.10.1. Depuración Biológica. Trata de tener a los microorganismos sujetos a condiciones controladas (reacciones bioquímicas), con la finalidad de que se oxide la materia orgánica, nutrientes y otros parámetros de manera acelerada. La depuración biológica consiste en un proceso aerobio (hay presencia de oxígeno) y un proceso anaerobio (no hay presencia de oxígeno) (Lozano-Rivas, 2012)

2.1.11. Humedales Artificiales

Los humedales artificiales son sistemas (no mecánicos) de depuración de aguas residuales, van a depender de la naturaleza para cumplir el proceso de depuración, ya que incluyen macrófitas, enteradas sobre un lecho filtrante (turba, arena, grava, etc.) el cual está impermeabilizado con plástico, geotextil y hormigón. Estas macrófitas se refieren a plantas acuáticas que pueden estar en flotación o enterrada directamente sobre el lecho. Las plantas mediante la fotosíntesis, realizan interacciones físicas, químicas y biológicas; de tal manera logrando que el agua sea depurada gradualmente. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

La diferencia entre un humedal natural y uno artificial, consiste en que el humedal natural (pantano, lago, laguna), es un cuerpo receptor de aguas ya tratadas, mientras que el humedal artificial es un sistema de tratamiento que usa macrófitas para el proceso de depuración, pero eso sí bajo normativa en lo que compete al cuidado del medio ambiente, las descargas de agua que se realicen no deben afectar al cuerpo receptor. (Alarcón, Zurita, Lara-Borro, & Vidal, 2018)

La función de los humedales artificiales, es la mitigación de parámetros contaminantes, además consiste en principios como: actividad bioquímica de los microorganismos, contribución de oxígeno por parte de las macrófitas durante el día, y soporte físico para el cultivo de macrófitas por parte del lecho filtrante (turba, arena, grava, etc.), logrando así el enraizamiento de las macrófitas. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.12. Clasificación de los Humedales Artificiales según el Flujo del Agua

A continuación, la Tabla 10 detalla cómo se subdivide los humedales artificiales que usan macrófitas enraizadas emergentes, de acuerdo al flujo del agua.

Tabla 10. Humedales Artificiales según el Flujo del Agua

Humedales Artificiales según el Flujo del Agua		
<p>Humedal Artificial de Flujo Superficial (HFS).</p> <p>Como bien dice el título el flujo de agua se mantendría fluyendo superficialmente, atravesando los tallos de la macrófita enraizada emergente a usar. La profundidad de la zanja no supera los 0.60 m.</p>	<p>Humedal Artificial de Flujo Sub superficial (HFSS).</p> <p>El flujo del agua se mantiene fluyendo por debajo de la superficie, atravesando un lecho filtrante (turba, arena, grava, etc.). La profundidad puede llegar hasta 1 m, pero lo habitual suelen ser de 0.60 m.</p>	<p>El flujo del agua fluye horizontalmente por debajo de la superficie y consiste en ir colocando verticalmente un tipo lecho filtrante al inicio de la entrada (ingreso de agua residual), otro tipo de lecho en la mitad, y otro tipo de lecho al final (salida de agua depurada), tiene una pendiente entre 0.5% y 1% y su profundidad puede ser entre los 0.45 m a 1 m.</p> <p>El flujo del agua se vierte de 2.5 cm a 5 cm sobre la superficie, mediante una tubería con orificios, de tal manera el flujo iría sumergiéndose de manera vertical, atravesando los lechos filtrantes colocados de manera horizontal (mínimo 3 capas), hasta llegar a una red de drenaje colocada al fondo del humedal.</p>
	<p><i>Humedal de Flujo Horizontal Sub superficial (HFHSS):</i></p>	
	<p><i>Humedal de Flujo Vertical Sub superficial (HFVSS):</i></p>	

Nota: Los HFSS se subdividen en Humedales de Flujo Horizontal Sub superficiales (HFHSS) y en Humedales de Flujo Vertical Sub superficiales (HFVSS)

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

A continuación, la Figura 7 mediante un esquema recopila los tipos de humedales artificiales.

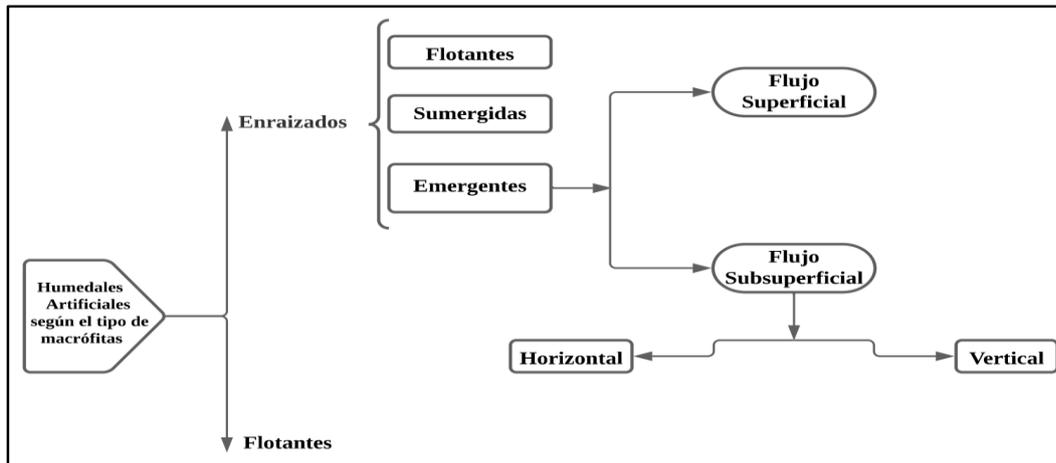


Figura 7. Esquema de los Tipos de Humedales Artificiales según Macrófitas a usar
Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.12.1. Humedal Artificial de Flujo Superficial (HFS) El flujo del agua se da superficialmente atravesando los tallos de la macrófita enraizada emergente a usar. Mediante los procesos físicos, químicos y biológicos, y con ayuda del lecho, se puede filtrar sólidos, degradar materia orgánica, y remover nutrientes del agua residual a tratar. Pero, se debe considerar un pretratamiento al agua residual doméstica antes de ingresar al humedal artificial (tratamiento secundario), como por ejemplo una trampa de grasas, un sedimentador, como también un reactor anaerobio con deflectores (ABR). (Tilley, y otros, 2018)

Para un mejor entendimiento del concepto del HFS (ver Figura 8).

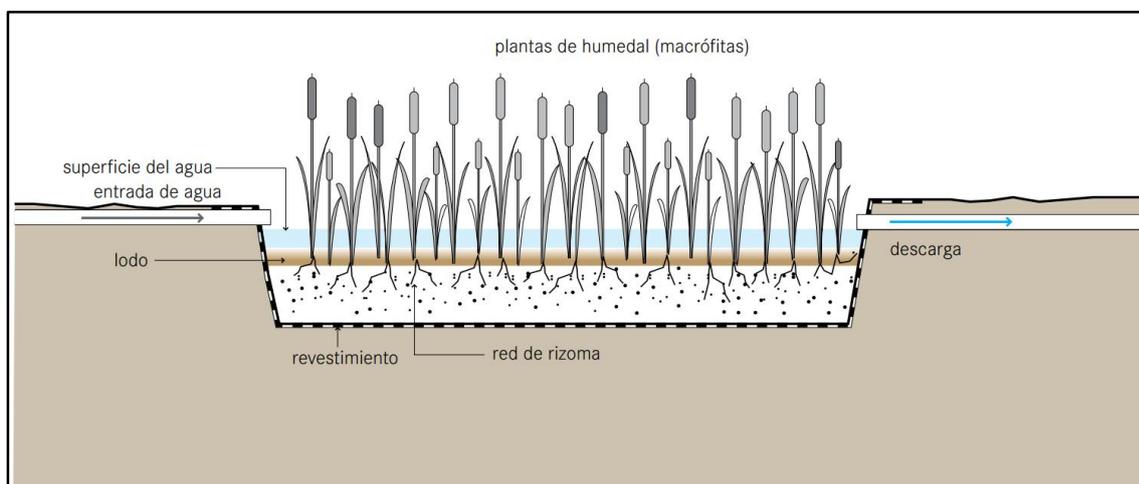


Figura 8. Esquema de un HFS

Fuente: (Tilley, y otros, 2018)

Consideraciones:

Según (Tilley, y otros, 2018) autores de “Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento” este sistema de depuración mediante humedales artificiales de flujo superficial es excelente para climas cálidos. Hay una remoción satisfactoria de sólidos suspendidos, pero una menor eliminación de patógenos, nutrientes, y otros parámetros contaminantes. Las plantas limitan el oxígeno disuelto en el agua por su sombra, como consecuencia este sistema es útil para aguas residuales de baja resistencia.

Además, se debe considerar un tratamiento primario para mitigar la concentración de DBO, ya que rara vez este sistema de depuración (HFS) es usado como un tratamiento secundario, es más aplicable para un tratamiento terciario o final. De acuerdo al volumen de agua, contaminantes y las dimensiones que pueda requerir el humedal puede ser útil para zonas urbanas y rurales.

A continuación, la Figura 9 nos detalla brevemente las consideraciones que se debe tener en cuanto al diseño de un HFS.

Humedal Artificial de flujo Superficial (HFS)	-El canal debe estar revestido con una barrera de impermeabilidad (plástico, geotextil u hormigón) cubierto con un lecho filtrante (turba, arena, grava, etc.) y plantada con vegetación autóctona (por ejemplo: totora, cañas o juncos).
	-El humedal está inundado con aguas residuales a una profundidad de 10 a 45 cm por encima del nivel del suelo.
	- El humedal está compartimentado al menos en dos trayectorias de flujos independientes. El número de compartimentos en serie depende del objetivo del tratamiento.
	- La eficiencia del humedal artificial de flujo superficial también depende de cómo se distribuye el agua en la entrada.
	- Las aguas residuales pueden ser alimentadas al humedal, usando vertederos o perforando hoyos en una tubería de distribución, para que entre en intervalos espaciados de forma homogénea.

Figura 9. Consideraciones de Diseño de un HFS

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

A continuación, la Tabla 11 nos detalla las principales ventajas y desventajas de un humedal artificial de flujo superficial (HFS).

Tabla 11. Ventajas y Desventajas de un HFS

Ventajas	Desventajas
-Estéticamente agradable y proporciona hábitat a los animales	-Facilita reproducción de mosquitos
-Reducción de DBO y sólidos, eliminación limitada de patógenos	-Presencia de olor (dependiendo del diseño y mantenimiento)
-Construido y reparado con materiales no muy costosos	-Requiere mayor espacio de terreno
-No requiere energía eléctrica	-Período inicial largo antes de poder trabajar a capacidad plena

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.12.2. Humedal Artificial de Flujo Horizontal Sub superficial (HFHSS)

El flujo del agua se da por debajo de la superficie de manera horizontal, hay un lecho filtrante al inicio de la entrada (ingreso de agua residual), otro tipo de lecho en la mitad, y otro tipo de lecho al final (salida de agua depurada), tiene una pendiente entre 0.5% y 1% y su profundidad puede ser entre los 0.45 m a 1 m. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

El lecho (turba, arena, grava, etc.), actúa como un filtro para los sólidos, y, además, aun cuando las bacterias anaerobias degradan mayor cantidad de materia orgánica, las macrófitas, envían una pequeña pero suficiente cantidad de oxígeno a sus raíces de tal manera las bacterias aerobias puedan mantenerse y así se logre degradar materia orgánica. (Tilley, y otros, 2018)

Es de suma importancia considerar un tratamiento primario al agua residual doméstica antes de ingresar al humedal artificial (tratamiento secundario), como por ejemplo una trampa de grasas, un sedimentador, como también un reactor anaerobio con deflectores (ABR), todo a fin de lograr un tratamiento óptimo y sin problema alguno. (Tilley, y otros, 2018). Para un mejor entendimiento del concepto del HFHSS (ver Figura 10).

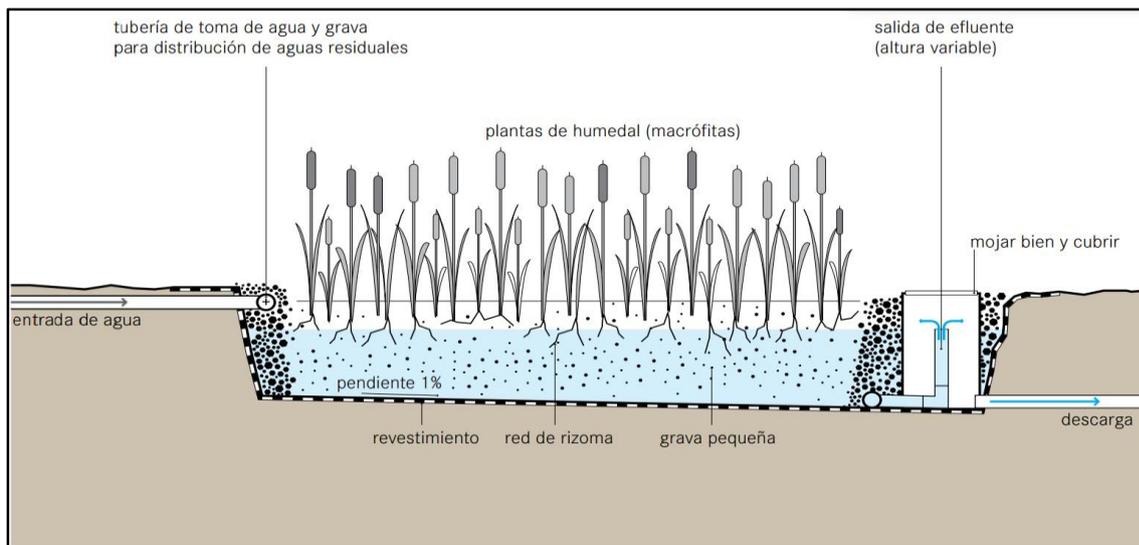


Figura 10. Esquema de un HFHSS

Fuente: (Tilley, y otros, 2018)

Consideraciones:

Según (Tilley, y otros, 2018) autores de “Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento” este sistema de depuración mediante humedales artificiales de flujo horizontal sub superficial es excelente para climas cálidos. Tiene la capacidad de eliminar patógenos naturalmente (se deterioran), ya que no están en contacto con animales ni con el ser humano (fluye por debajo de la superficie). Y lo más importante no hay peligro de que se generen mosquitos (no hay agua estancada), de tal manera logra combinarse de manera armónica al entorno (áreas silvestres, parques, entre otros.)

A continuación, la Figura 11 nos detalla brevemente las consideraciones que se debe tener en cuanto al diseño de un HFHSS.

Humedal Artificial de flujo Horizontal Subsuperficial (HFHSS)	<p>-El canal debe estar revestido con una barrera de impermeabilidad (plástico, geotextil u hormigón) cubierto con un lecho filtrante (turba, arena, grava, etc.) y plantada con vegetación autóctona (por ejemplo: totora, cañas o juncos).</p>
	<p>-La eficiencia de remoción del humedal es una función del área de superficie (largo por ancho), mientras que el área transversal (ancho por profundidad) determina el flujo máximo posible. Se requiere una superficie de 5 a 10 m² por persona</p>
	<p>- El pretratamiento y el tratamiento primario es esencial para prevenir obstrucciones y garantizar un tratamiento eficiente.</p> <p>- Debe ser ancho y poco profundo para maximizar la trayectoria del flujo del agua en contacto con las raíces de la vegetación.</p>
	<p>- Comúnmente, se usa grava pequeña, redonda y de tamaño uniforme (de 3 a 32 mm de diámetro) para llenar el lecho hasta una profundidad de 0.5 a 1 m. Para limitar las obstrucciones, la grava debe estar limpia y libre de finos. Otros materiales de filtro alternativos, como PET, también se han usado con éxito.</p> <p>- Cualquier planta nativa con raíces profundas y anchas que pueda crecer en un entorno húmedo y rico en nutrientes es adecuada para este tipo de humedal. La <i>Phragmites australis</i> (carrizo) es una opción común por qué forma rizomas horizontales que penetran toda la profundidad del filtro.</p>

Figura 11. Consideraciones de Diseño de un HFHSS

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

A continuación, la Tabla 12 nos detalla las principales ventajas y desventajas de un humedal artificial de flujo superficial (HFHSS).

Tabla 12. Ventajas y Desventajas de un HFHSS

Ventajas	Desventajas
-Reduce a gran escala la DBO, SST, y patógenos	-Requiere mayor espacio de terreno
-No hay peligro de que se generen mosquitos (no hay agua estancada)	-Peligro de obstrucción, de acuerdo al Tratamiento primario (se debe diseñar bien)
-No requiere energía eléctrica (solo luz solar y vegetación)	-Período inicial largo antes de trabajar a capacidad plena

-Bajos costos de operación

-Requiere experiencia en diseño y construcción (para evitar malos tratamientos)

Adaptado de (Tilley, y otros, 2018)

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.12.3. Humedales Artificiales de Flujo Vertical Sub superficial (HFVSS)

El flujo del agua se vierte de 2.5 cm a 5 cm sobre la superficie, mediante una tubería con orificios, de tal manera el flujo iría sumergiéndose de manera vertical, atravesando los lechos filtrantes colocados de manera horizontal (mínimo 3 capas), hasta llegar a una red de drenaje colocada al fondo del humedal. La diferencia entre un humedal de flujo horizontal sub superficial (HFHSS) y un humedal de flujo vertical sub superficial (HFVSS) no solo radica en la dirección del flujo, a más de eso se diferencian por las condiciones aerobias en este sistema depurador. (Tilley, y otros, 2018)

La primera capa está compuesta por el cultivo de las macrófitas, las raíces crecen de manera constante (anchas y profundas), logrando permeabilizar el suelo. las macrófitas, envían una pequeña pero suficiente cantidad de oxígeno a sus raíces de tal manera las bacterias aerobias puedan mantenerse y así se logre degradar materia orgánica. Tanto los nutrientes como la materia orgánica son filtradas y degradadas por acción microbiana. (Tilley, y otros, 2018)

Para un mejor entendimiento del concepto del HFVSS (ver Figura 12).

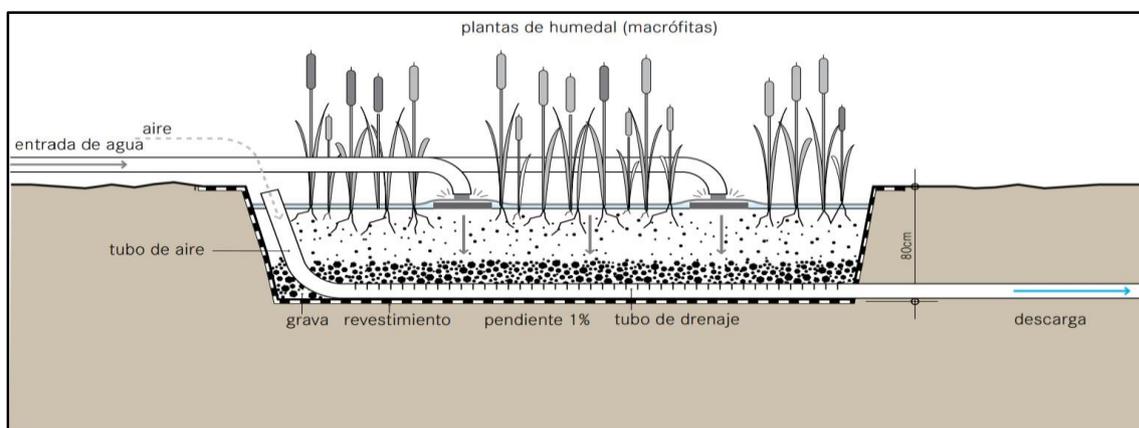


Figura 12. Esquema de un HFVSS

Fuente: (Tilley, y otros, 2018)

Consideraciones:

Según (Tilley, y otros, 2018) autores de “Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento” este sistema de depuración mediante humedales artificiales de flujo vertical sub superficial es excelente para climas cálidos, complementando tratamientos primarios (fosa séptica) de sectores rurales, logrando mejorar la calidad del agua. Este sistema es más frecuente para tratar aguas residuales domésticas con elevadas concentraciones de amonio (derivado de productos de limpieza). (Tilley, y otros, 2018)

A continuación, la Figura 13 nos detalla brevemente las consideraciones que se debe tener en cuanto al diseño de un HFVSS.

Humedal Artificial de flujo Vertical Subsuperficial (HFVSS)	-El canal debe estar revestido con una barrera de impermeabilidad (plástico, geotextil u hormigón) cubierto con un lecho filtrante (turba, arena, grava, etc.) y plantada con vegetación autóctona (por ejemplo: totora, cañas o juncos).
	-Los tubos de distribución deben limpiarse una vez al año para quitar el lodo y la biopelícula que pueda bloquear los orificios. Con el tiempo, la grava se obstruirá con sólidos acumulados y biopelícula bacteriana.
	- Los intervalos de reposo podrían restablecer la conductividad hidráulica del lecho. Si esto no funciona, el material acumulado debe ser removido y las piezas obstruidas del material de filtración deben reemplazarse.
	- El pretratamiento y el tratamiento primario es esencial para prevenir obstrucciones y garantizar un tratamiento eficiente.
	- Cualquier planta nativa con raíces profundas y anchas que pueda crecer en un entorno húmedo y rico en nutrientes es adecuada para este tipo de humedal. La <i>Phragmites australis</i> (carrizo) es una opción común por que forma rizomas horizontales que penetran toda la profundidad del filtro.

Figura 13. Consideraciones de Diseño de un HFVSS

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

A continuación, la Tabla 13 nos detalla las principales ventajas y desventajas de un humedal artificial de flujo superficial (HFVSS).

Tabla 13. Ventajas y Desventajas de un HFVSS

Ventajas	Desventajas
-Reduce a gran escala la DBO, SST, y patógenos	-Requiere mayor espacio de terreno
-No hay peligro de que se generen mosquitos (no hay agua estancada)	-Peligro de obstrucción, de acuerdo al Tratamiento primario (se debe diseñar bien)
-No requiere energía eléctrica (solo luz solar y vegetación)	-Período inicial largo antes de trabajar a capacidad plena
-Bajos costos de operación	-Requiere experiencia en diseño y construcción (para evitar malos tratamientos)
-Menos obstrucciones que un HFHSS	-Requiere un mantenimiento más frecuente que un HFHSS
-Capacidad de nitrificación debido a la transferencia de oxígeno adecuado	

Adaptado de (Tilley, y otros, 2018)

Elaborado por: Collaguazo & Espín (2021)

2.1.13. Sustrato (lecho filtrante) usado en Humedales Artificiales

El sustrato a usar debe brindar el soporte adecuado a las macrófitas que se vayan a plantar, y a la vez que permita el crecimiento bacteriano que serán los responsables en de las transformaciones biológicas (remover la materia orgánica) dentro del humedal. (Rodríguez Latorre, 2017)

El sustrato funciona como lecho filtrante por lo que debe estar en buenas condiciones como limpio, homogéneo, durable y con la capacidad de conservar su forma a largo plazo para evitar problemas con el direccionamiento del flujo, la permeabilidad del sustrato permite el paso del flujo a través del humedal, generando precipitación química de contaminantes disueltos. Los Humedales Artificiales de flujo Vertical Sub superficial (HFVSS) tienen un sustrato saturado, el cual reemplaza el aire atmosférico por el flujo de agua, esta situación establece que mecanismos (aerobios o anaerobios) prevalecerán en los procesos biológicos realizados en el humedal artificial. (García Quito & Ludizaca Viracocha, 2017)

Entre los diferentes tipos de sustratos que pueden funcionar como lecho filtrante tenemos a la turba, arena, carbón activado, gravilla, grava, entre otros. Los cuales al ser permeables permiten la el paso del flujo a través del humedal, ayuda a la precipitación química de contaminantes disueltos, sirve de almacenamiento para diferentes tipos de contaminantes, como también permiten transformaciones químicas y biológicas (actividad microbiana). (Galindo, 2014)

2.1.13.1. Impermeabilización del Lecho. La impermeabilización consiste en evitar filtraciones o fugas del agua residual que se está tratando en el humedal artificial al subsuelo, con el fin de no generar un impacto negativo al medio ambiente. Para la impermeabilización del humedal artificial hay distintos materiales como de plástico, geotextil o geomembrana y hormigón. (García Quito & Ludizaca Viracocha, 2017)

2.1.14. Vegetación (macrófitas) usada en Humedales Artificiales

La vegetación se refiere a las macrófitas (plantas emergentes acuáticas), que cumplen la misma función que el sustrato en cuanto a la formación de la actividad bacteriana (también depende de la temperatura para su respectiva actividad) gracias al tallo y a sus raíces, como también sirven de filtración y adsorción de parámetros contaminantes del agua residual, al igual que tiene la capacidad de transferir oxígeno a sus raíces, permitiendo así oxigenar el sustrato. La vegetación logra combinarse de manera armónica al entorno como áreas silvestres, parques, entre otros. (Rodríguez Latorre, 2017)

Para mejores resultados es preferible realizar una plantación monoespecífica, que consiste en la plantación con una sola especie de macrófita, entre ellas tenemos al *Phragmites australis* (carrizo), *Typha latifolia* (totora-enea) o *Schoenoplectus californicus* (junco o totora). La vegetación que se plante en el humedal artificial, cumple con la retención y procesamiento de los nutrientes que contenga el agua a tratar, deberá adaptarse a las condiciones del agua, regulando el pH, sólidos suspendidos y materia orgánica. (García Quito & Ludizaca Viracocha, 2017)

2.1.15. Procesos de Remoción en Humedales Artificiales

2.1.15.1. Físico. Las partículas de materia contaminante (sólidos suspendidos) son removidas gracias al sustrato y a las raíces de las macrófitas, y debido a la poca velocidad del flujo se van sedimentando de igual manera las partículas. De acuerdo a la velocidad del flujo, la longitud del humedal artificial y el sustrato se realizará una mayor remoción de sólidos suspendidos mediante la sedimentación y filtración. (Llagas Chafloque & Guadalupe Gómez, 2006)

“En el caso de la remoción de DBO_5 se realiza de manera física-biológica bajo condiciones anaerobias o aerobias por parte de la actividad microbiana, como también la remoción dependerá del tiempo de retención hidráulica y de la temperatura”. (Galindo, 2014)

Mientras que la remoción de materia orgánica se debe a la biodegradación aeróbica o anaeróbica. En la degradación aeróbica intervienen microorganismos aeróbicos quimio heterótrofos que se encargan de oxidar compuestos orgánicos consecuencia de ello liberan amonio. También intervienen microorganismos aeróbicos quimio autótrofos que se encargan de oxidar el nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato. En la degradación anaeróbica intervienen los heterótrofos anaeróbicos, tiene un nivel bajo de eficiencia en comparación con la degradación aeróbica, pero prevalecerá si no interviene el oxígeno. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.1.15.2. Biológico. Este proceso es muy importante en cuanto a la remoción de contaminantes. Aquí intervienen mucho las raíces de las macrófitas para realizar la remoción de contaminantes, dichos contaminantes como las bacterias, el nitrato, amonio y fósforo (fosfatos) sirven de nutrientes a las macrófitas e incluso pueden captar y remover metales pesados. El carbono (C) presente en la materia orgánica sirve como fuente de energía a la degradación microbiana (bacterias), transformándose así en gases de bióxido de carbono (CO_2) o metano (CH_4). (Llagas Chafloque & Guadalupe Gómez, 2006)

De tal forma este proceso biológico (degradación microbiana) provee la remoción de múltiples compuestos orgánicos presentes en aguas residuales domésticas. Así mismo, la degradación microbiana (metabolismo microbiano) genera la remoción de nitrato y amonio. La actividad bacteriana (bacterias como pseudomonas) modifica el nitrato en gas de nitrógeno (N_2), esta modificación se conoce como desnitrificación. (Llagas Chafloque & Guadalupe Gómez, 2006)

2.1.15.3. Químico. Este proceso es muy importante en cuanto a la absorción, debido a la retención a corto y largo plazo de múltiples contaminantes. La absorción se compone de reacciones de adsorción y precipitación. La adsorción hace referencia a la unión de iones con las partículas del suelo, mediante intercambio catiónico o absorción química. En el intercambio catiónico interviene una unión física de cationes (iones con carga eléctrica positiva) a las superficies y componentes orgánicos del suelo (arcilla y materia orgánica). (Llagas Chafloque & Guadalupe Gómez, 2006)

En las aguas residuales intervienen muchos componentes como cationes, entre ellos tenemos a al amonio (NH_4^+) y cobre (Cu^{+2}), dependiendo del alto contenido de arcilla y de materia orgánica, aumentará la capacidad de los suelos en retener cationes, esto se conoce como capacidad de intercambio catiónico (CIC). Mediante la precipitación del fosfato junto con los óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al) generan un mineral compuesto (fosfatos de óxidos de hierro y aluminio), que puede ser muy estable en el suelo, formando el almacenamiento de fósforo a largo plazo. (Llagas Chafloque & Guadalupe Gómez, 2006)

Así mismo, debido a la precipitación se generan sulfuros de metales en el suelo del humedal artificial, estos compuestos no se disuelven (insoluble) por lo que ayuda a inmovilizar algunos de los metales tóxicos en el humedal artificial. En este sistema depurador también interviene la volatilización (pasar a la fase de gas o vapor) lo cual implica otro proceso o mecanismo de remoción potencial de contaminantes. La volatilización del amoníaco (NH_3) y el pH del agua (>8.5) genera la remoción potencial de nitrógeno, pero si el pH es próximo a 8.5, el nitrógeno de amoníaco se encuentra en forma de amonio (NH_4^+), en este caso ya no es volátil. Pero por lo general, múltiples de los compuestos orgánicos están sujetos a la volatilización de tal manera estos compuestos son removidos con eficacia desde el humedal artificial a la atmósfera. (Llagas Chafloque & Guadalupe Gómez, 2006)

A continuación, la Tabla 14 detalla de manera resumida cual es el proceso de remoción de algunos parámetros contaminantes ya explicados anteriormente.

Tabla 14. *Procesos de Remoción en Humedales Artificiales*

Parámetro contaminante	Procesos de remoción
Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none">- Sedimentación- Filtración
DBO / Materia orgánica	<ul style="list-style-type: none">- Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica).- Sedimentación (acumulación de materia orgánica en la superficie del sedimento)
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none">- Amonificación seguido por nitrificación microbiana y desnitrificación.- Asimilación por parte de la macrófita- Volatilización del amoniaco
Fósforo	<ul style="list-style-type: none">- Adsorción por parte del lecho filtrante- Adsorción por parte de la macrófita
Metales	<ul style="list-style-type: none">- Asimilación por parte de la macrófita- Intercambio iónico
Patógenos	<ul style="list-style-type: none">- Sedimentación- Filtración- Excreción de antibióticos por las raíces de la macrófita

Adaptado de (García Quito & Ludizaca Viracocha, 2017)

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

2.2. Marco Legal

Aspectos legales

Conforme a la Constitución de la República del Ecuador (2008)

TITULO II DERECHOS

Capítulo segundo Derechos del buen vivir

Sección segunda Ambiente sano

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Capítulo tercero Soberanía alimentaria

Art. 282.- El Estado regulará el uso y manejo del agua de riego para la producción de alimentos, bajo los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental.

Capítulo quinto Sector es estratégicos, servicios y empresas públicas

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

TITULO VII REGIMEN DEL BUEN VIVIR

Capítulo segundo Biodiversidad y recursos naturales

Sección sexta Agua

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque eco sistémico.

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)

TULAS constituye un cuerpo normativo que agrupa normas reglamentarias (secundarias) más importantes vigentes en el Ecuador en materia ambiental. El libro VI trata sobre la reglamentación para prevención y control de la contaminación ambiental.

REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA.

ACUERDO MINISTERIAL N.º 61

Art. 3.- Glosario. - Los términos establecidos en este Libro tienen la categoría de definición

Aguas. - Todas las aguas marítimas, superficiales, subterráneas y atmosféricas del territorio nacional, en todos sus estados físicos, mismas que constituyen el dominio hídrico público conforme lo definido en la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua.

Tratamiento de aguas residuales. - Conjunto de procesos, operaciones o técnicas de transformación física, química o biológica de las aguas residuales.

Cuerpo de agua. - Es todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, corriente, zona marina, estuario.

Art. 209.- De la calidad del agua. - Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores. En cualquier caso, la Autoridad Ambiental Competente, podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, que realice muestreos de sus descargas, así como del cuerpo de agua receptor.

Toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso.

Art. 210.- Prohibición. - De conformidad con la normativa legal vigente:

a) Se prohíbe la utilización de agua de cualquier fuente, incluida las subterráneas, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados;

b) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación;

c) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua; y,

d) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual no esté en capacidad de soportar la descarga; es decir que, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico.

La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las autoridades del Agua y agencias de regulación competentes, son quienes establecerán los criterios bajo los cuales se definirá la capacidad de carga de los cuerpos hídricos mencionados.

Art. 211.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. - La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Las actividades productivas, se

sujetarán a lo dispuesto en el presente Libro y a la normativa técnica que para el efecto emita la Autoridad Ambiental Nacional. La gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este Libro.

Anexo 1 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso de agua

Numeral 5.2.3 Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.

Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la Tabla 15, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 15. Límites de Descarga al Sistema el Alcantarillado Público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivas o inflamables.	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmino	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0

Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6 a 9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20,0
Sólidos Suspendingidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuro	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Adaptado de “Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso de agua”

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, se utilizarán los valores de la Tabla 16 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 16. *Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmino	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2 000
Color real ¹	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20

Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6 a 9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	1000
Sulfuros	S ⁻²	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Adaptado de “Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso de agua”

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Es importante empezar con una metodología de investigación, detallando el tipo de enfoque de la investigación, el alcance y las técnicas que se aplicaron para cumplir con los objetivos propuestos del proyecto. Además, en este capítulo se detalla las fases concluidas para la realización de este proyecto, entre las cuales tenemos el diagnóstico, diseño, construcción y análisis comparativo.

3.1. Enfoque de la Investigación

En esta investigación el enfoque fue cuantitativo ya que representó procesos secuenciales, a través de la medición y análisis de los datos que se obtuvieron. Entre los procesos que se realizó está la recolección de información, funcionamiento de la planta piloto para poder realizar un análisis comparativo haciendo uso de diagramas de barras con los resultados de las concentraciones de parámetros mediante ensayos realizados. Los resultados de las concentraciones de los ensayos estuvieron sujetos dentro del rango establecido del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) en cuanto a las tablas de los “Límites de Descarga al sistema el Alcantarillado Público” y “Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce”. De tal manera se pudo descargar directamente el agua depurada al canal de agua cercano, como también se utilizó para riego, logrando reducir así el impacto negativo al medio ambiente.

3.2. Alcance de la Investigación

Para el presente estudio se consideró un alcance de investigación de tipo Experimental-Científico, ya que se basó en la medición de parámetros por medio de muestras recolectadas y llevadas a laboratorio dónde se logró medir, calcular y comparar los resultados obtenidos. Por lo dicho anterior, fue necesaria la construcción de una planta piloto sobre el sistema de depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales con plantas propias del sector (carrizo), para lo cual se trabajó con aguas residuales propias del sector de estudio, de tal manera se constató el comportamiento y viabilidad en el Sector San José del Cantón La Troncal.

Se realizó una comparativa mediante la toma de muestras de agua residual doméstica a la entrada y salida de la planta piloto, de tal manera se comparó los resultados proporcionados por el laboratorio, logrando identificar una reducción de las concentraciones de los parámetros presentes en el agua residual doméstica como de la DBO, DQO, Sólidos Suspendidos y Coliformes fecales.

La metodología científica se la aplicó haciendo uso de un sinnúmero de estudios, procesos y análisis realizados; basándonos en un criterio importante de la metodología científica como es la reproductibilidad que hace relación a la validez de conclusiones y a la capacidad de repetir un estudio en un diferente espacio y con otras personas.

3.3. Técnica e Instrumentos para obtener los datos

Las técnicas que se utilizaron para recolección de información en el presente estudio fueron:

- **Ensayos de Laboratorio:** se necesitó hacer los respectivos ensayos de laboratorio para conocer la reducción de las concentraciones de los parámetros presentes en el agua residual doméstica.

Para cumplir con la recolección de información se utilizaron los siguientes instrumentos según los tipos de técnicas descritas anteriormente:

- **Ensayos:** para realizar los respectivos ensayos se necesitó efectuar tomas de muestra de agua residual, las cuales se procedieron llevar a laboratorio para los respectivos análisis.

3.4. Población y Muestra

La presente investigación va dirigida a la población del Sector San José del Cantón La Troncal de la Provincia del Cañar, contando con 20 viviendas alrededor, equivalente a 100 habitantes aproximadamente. Mediante el estudio realizado se pretende encaminar a varias familias con la depuración de aguas residuales domésticas haciendo uso de humedales artificiales.

Para la toma de muestra en nuestro caso se consideró un 5% del total de viviendas del sector, lo que equivale el estudio de 1 vivienda.

20 casas= Población

1 casa = Muestra

$$Muestra = \frac{Población (viviendas) * Porcentaje de Muestreo (\%)}{100\%}$$

$$Muestra = \frac{20 (viviendas) * 5\%}{100\%}$$

$$Muestra = 1 vivienda$$

3.5. Diagnóstico del Sitio de Estudio

El sitio de estudio trata sobre un sector rural llamado San José ubicado dentro del Cantón La Troncal de la Provincia del Cañar. EL cantón de La Troncal cuenta con un total de 54.389 habitantes según el último censo del año del 2010, la mayor parte de los habitantes se dedican a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (ver Figura 14), de acuerdo a los datos estadísticos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).



Figura 14. Ocupación de la Población según Ramas de Actividades del Cantón La Troncal
Adaptado de: (Sistema Nacional de Información, 2014).

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

A continuación, en la Tabla 17 se puede apreciar la densidad de la población según la zona rural y urbana.

Tabla 17. Densidad de la Población del Cantón La Troncal

Área	Población	Superficie (km)	Densidad
Área Urbana	38.350	7,2	5.326
Área Rural	16.039	306,09	52
Total	54.389	327,78	174

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

El sector se localiza a 20 minutos de la zona urbana de la ciudad y para lograr llegar al sitio se puede ingresar por la “Vía a la Colonia 10 de Agosto” a partir de la carretera “Paso Lateral La Troncal”, la vía de dicha colonia se encuentra en buenas condiciones con pavimentación flexible, hasta llegar a una intersección en “Y” donde se toma la carretera a mano izquierda la cual nos va a llevar hasta la entrada del sitio de estudio, esta carretera se encuentra en malas condiciones ya que es de tierra, en la Figura 19 se puede apreciar la representación de la carretera con una línea roja.

Otra manera de lograr llegar al sector es ingresando por la “Vía a Zhucay” a partir de la carretera “Transversal Austral”, la vía de igual modo se encuentra en buenas condiciones con pavimentación flexible, hasta llegar a una intersección en cruz donde se toma la carretera a mano derecha la cual nos va a llevar hasta la entrada del sitio de estudio, esta carretera así mismo se encuentra en malas condiciones ya que es de tierra, de igual forma en la Figura 15 se puede apreciar la representación de la carretera con una línea azul.

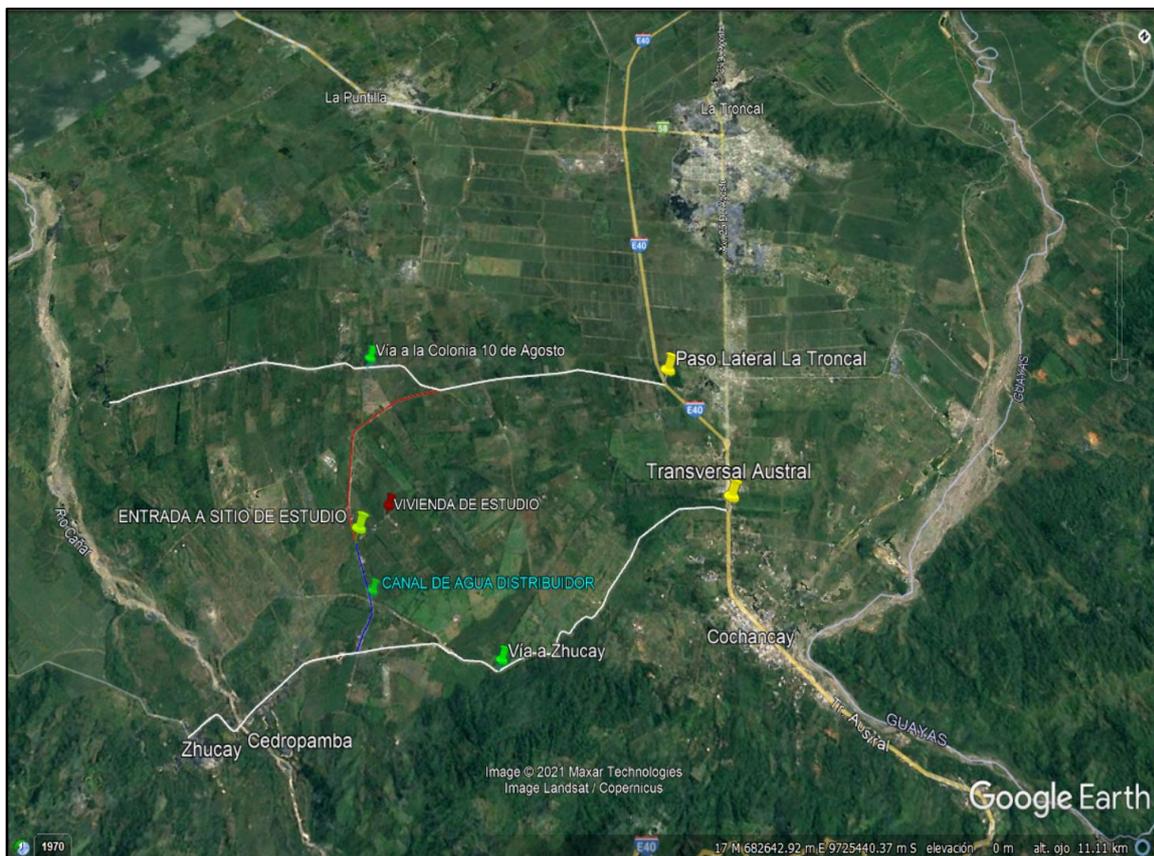


Figura 15. Mapa del Sitio de Estudio

Fuente: (Google Earth, 2021)

El sitio de estudio cuenta con 20 casas dispersas a lo largo del extenso terreno que los rodea, por lo cual el sector está conformado por 100 habitantes aproximadamente, asumiendo la cantidad de cinco personas por vivienda como mínimo. Generalmente los habitantes se dedican más al cultivo y cosecha de cacao y un sinnúmero de actividades encaminadas a la agricultura y cría de animales. En cuanto a los servicios básicos los habitantes cuentan con servicio de electricidad por parte de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur C. A., en cuanto al servicio de agua potable es suministrado por la Junta Administradora de Agua Potable de Zhucay 10 de agosto, pero lamentablemente este sector rural carece del servicio de alcantarillado.

Como es bien sabido para mantener a los cultivos productivos, se necesita hacer el respectivo riego de los mismos y mantenimiento. Existe un canal de agua revestido de hormigón (ver Figura 16) con una anchura máxima de canal de 8 metros, el cual es el canal principal que conduce el agua desde la captación (río cañar) hasta los canales secundarios no revestidos que consisten en zanjas de tierra con una anchura máxima de canal de 0.70 metros y una profundidad de canal de 0.60 metros.



Nota: Canal que conduce el agua desde la captación (río cañar) hasta los canales secundarios no revestidos.

Figura 16. *Canal de agua principal revestido de hormigón*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

A continuación, en la Figura 17 se puede apreciar el canal secundario sin revestimiento cercano a las viviendas.



Nota: Canal sin revestimiento en el sector San José-La Troncal.

Figura 17. *Canal de agua secundario sin revestimiento*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

El canal secundario atraviesa los cultivos, pero también suele estar próximo a las carreteras y viviendas. Debido a esto los habitantes del sitio de estudio no usan el canal simplemente para riego de sus cultivos, sino que además suelen usarlo para satisfacer otras necesidades cuando carecen del suministro de agua potable generalmente de 4 a 5 días, estos sucesos se dan frecuentemente en la temporada de invierno, por lo cual toman agua mediante baldes y llevan a sus viviendas ya sea para lavar ropa o utensilios de cocina y bañarse.

Es más, los trabajadores del campo debido a la intensidad de su arduo trabajo, necesitan hidratarse frecuentemente, pero por motivos de cubrir grandes extensiones de terreno, acostumbran a terminarse rápido el agua de sus cantimploras y entonces recurren a tomar agua de los canales de riego para hidratarse siempre y cuando el agua se encuentre clara.

Como consecuencia del sector al carecer de servicio de alcantarillado, algunos de los habitantes del sitio de estudio están provocando un impacto negativo al medio ambiente y a la sociedad, ya que no tienen otra alternativa que ingeniárselas por desembocar dichas aguas, construyendo pozos sépticos (puede alterar el subsuelo, contaminar aguas subterráneas debido a la falta de mantenimiento y presencia de filtraciones), otros habitantes por la facilidad de deshacerse de las aguas grises, descargan directamente al canal secundario próximo a sus viviendas.

En la Figura 18 se puede apreciar una tubería que descarga aguas grises directamente en el canal.



Nota: No todas las viviendas realizan este proceso.

Figura 18. *Tubería de aguas grises con descarga directa al canal de agua secundario*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Por tal motivo nació la idea de este proyecto para depurar aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales usando “*phragmites australis*” (carrizo) como planta asequible del sector. Entonces para el respectivo estudio de este sistema depurador se necesitó la implementación de una planta piloto en una vivienda (muestra) del sitio de estudio (población). La vivienda pertenece a la familia Guzmán quienes se dedican a la cosecha y comercialización del cacao, ellos cuentan únicamente con pozo séptico por lo cual estuvieron de acuerdo en realizar los respectivos cambios y mejoras para la depuración de las aguas residuales domésticas de su vivienda mediante humedales artificiales. Con la finalidad de servir de ejemplo y generar concientización de no contaminar el medio ambiente con la posibilidad de reutilizar el agua depurada para actividades como el riego.

3.6. Presentación y Análisis de Resultados

Mediante la técnica e instrumento utilizados para el respectivo estudio podemos detallar y analizar en la siguiente Tabla 18 los resultados proporcionados por el laboratorio.

Tabla 18. *Resultados del primer informe*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	139.36	100	250
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	330	200	500
Solidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	96	130	220
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	160000000	2000	-

Nota: Los resultados son mayores a los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce y menores a los límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Cabe recalcar que las concentraciones de los parámetros analizados pertenecen a un agua residual doméstica proveniente de una vivienda habitada por 5 personas. Los resultados de las concentraciones detalladas no cumplen en relación con el rango establecido del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) en cuanto a la tabla de los “Límites de Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce”. Por otra parte, los resultados son menores en comparación con la tabla de los “Límites de Descarga al sistema el Alcantarillado Público”

3.7. Propuesta

De acuerdo a la problemática detallada previamente del sitio de estudio sobre el no contar con servicio de alcantarillado y el análisis de resultados de un agua residual doméstica sin un respectivo tratamiento proveniente de una vivienda habitada por 5 personas se plantea la alternativa de depurar las aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de flujo horizontal sub superficiales haciendo el uso de plantas asequibles del sector, para este caso se utilizó el “*phragmites australis*” (carrizo), las cuales se encuentran aledañas a cuerpos de agua. El humedal artificial de flujo horizontal sub superficial consiste en un sistema de tratamiento de aguas residuales por debajo de la superficie del terreno. La entrada del agua a tratar se da en la parte superior de un lado mediante tubería cribada y para la salida del agua depurada de la misma manera se usa tubería cribada en la parte inferior del lado opuesto al de la entrada. En cuanto a la profundidad del humedal artificial es recomendable considerar 0,60 m., teniendo en cuenta que estos valores varían entre 0,45 m. a 1 m. de profundidad, y para un correcto flujo se considera una pendiente del 0,5% a 1%.

El humedal artificial es un sistema no mecánico ya que dependerá de macrófitas (vegetación aledaña a cuerpos de agua), mediante la fotosíntesis realizarán interacciones físicas, químicas y biológicas, logrando depurar el agua gradualmente. La vegetación deberá estar plantada sobre un lecho filtrante (arena, grava, etc.), el cual debe estar correctamente impermeabilizado con plástico o en el mejor de los casos con geomembrana por su espesor y resistencia, todo a fin de evitar filtraciones o fugas del agua residual que se está tratando en el humedal artificial al subsuelo. Para la determinación de las dimensiones es necesario realizar una caracterización del agua a tratar, conocer las cantidades de concentraciones de los parámetros contaminantes que contiene, y esto se logra mediante la toma de muestras y ensayos de laboratorio. Luego de realizar la caracterización del agua, con los resultados obtenidos se realiza el cálculo pertinente para la determinación del área necesaria que debe tener el humedal artificial acorde a la cantidad de contaminación que contiene el agua a tratar. Tener en cuenta que los humedales artificiales sub superficiales son considerados un tratamiento secundario, por ende, el agua residual antes de ingresar debe tener previamente un tratamiento primario, el cual consiste en sedimentar sólidos y gran parte de materia orgánica, como ejemplo de tratamiento primario usado en el sitio de estudio tenemos a los pozos sépticos.

En razón de lo antes expuesto, nace la idea de este proyecto para depurar aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales usando “*phragmites australis*” (carrizo) como planta asequible del sitio de estudio. Entonces para el respectivo estudio de este sistema depurador se necesitó la implementación de una planta piloto en una vivienda (muestra) del sitio de estudio (población). La

vivienda pertenece a la familia Guzmán quienes se dedican a la cosecha y comercialización del cacao, ellos cuentan únicamente con pozo séptico por lo cual estuvieron de acuerdo en realizar los respectivos cambios y mejoras para la depuración de las aguas residuales domésticas de su vivienda mediante humedales artificiales. Con la finalidad de servir de ejemplo y generar concientización de no contaminar el medio ambiente con la posibilidad de reutilizar el agua depurada para actividades como el riego.

A continuación, en la Figura 19 se puede apreciar el sitio donde se implementó la planta piloto para el presente estudio.



Figura 19. Sitio de Implementación de la Planta Piloto para el presente Estudio

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

3.7.1. Diseño del Humedal

Para el diseño del humedal artificial de flujo horizontal se utilizó el modelo de flujo pistón K-C.

Datos del Diseño:

Población: 5 personas

Dotación de agua potable: 150 l/p/d

Coefficiente de retorno: 0.8

-Cálculo del Caudal

$$Q = \frac{\text{Población} * \text{Dot. Agua Potable} * \text{Coeficiente de retorno}}{1000 \text{ l/m}^3}$$

$$Q = \frac{5 \text{ personas} * 150 \text{ l/p/d} * 0.8}{1000 \text{ l/m}^3} = 0.6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} = 219 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

-Para determinar el área del humedal artificial, considerar lo siguiente:

Donde:

Ci= Concentración inicial DBO= 139,36 mg/l

C_o= Concentración salida DBO= 70 mg/l < **100 mg/l** (*Límite permisible según norma TULAS*)

C*=Concentración de dato (antecedente)= 10 mg/l

A continuación, en la Tabla 19 se detalla los valores de concentración de fondo. Para la concentración se toma el valor de 10 mg/l (es para un humedal de flujo horizontal HF).

Tabla 19. Concentración de Fondo

Parameter	HF	VF	FWS	
			Lightly Loaded	Heavily Loaded
BOD ₅	10	2	2	10
TN	1	0	1.5	
NH ₄ -N	0	0	0.1	0.1

Adaptado de (Günter, Pascal, Jaume, & Sperling, 2017)

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

A continuación, en la Tabla 20 se detalla los valores de coeficientes de velocidad. Para el coeficiente de velocidad se toma el valor de 25 m/año (es para un humedal de flujo horizontal HF)

$K_A\text{-rate} = \text{Coeficiente de primer orden} = 25\text{m/año}$

Tabla 20. *Coeficientes de Velocidad*

Pollutant	HF	FWS
	$K_A\text{-rate (m/yr)}$	$K_A\text{-rate (m/yr)}$
BOD ₅	25	33
TN	8.4	12.6
NH ₄ -N	11.4	14.7
NO _x -N	41.8	26.5
Thermotolerant coliform	103	83

Adaptado de (Günter, Pascal, Jaume, & Sperling, 2017)

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

-Reemplazar los datos en la fórmula del área.

$$A = -\frac{Q}{KA} \ln \left(\frac{C_o - C^*}{C_i - C^*} \right) = -\frac{219 \text{ m}^3/\text{año}}{25 \text{ m/año}} * \ln \left(\frac{70 \text{ mg/l} - 10 \text{ mg/l}}{139,36 \text{ mg/l} - 10 \text{ mg/l}} \right)$$

$$A = -\frac{219}{25} * \ln 0.464 = -\frac{219 \text{ m}^3/\text{año}}{25 \text{ m/año}} * -0.768 = +6.72 \text{ m}^2 \rightarrow \mathbf{6.75 \text{ m}^2}$$

-Se procede a determinar el ancho y longitud del humedal artificial

Se toma una relación $L = 3 * \text{Ancho (W)}$

$$\text{Área} = L * W = 3W * W = 3W^2$$

$$6.75 = 3W^2 \rightarrow W^2 = 2.25 \rightarrow \mathbf{W(\text{ancho}) = 1.5 \text{ m}}$$

$$\mathbf{L(\text{longitud}) = 3 * 1.5 = 4.5 \text{ m}}$$

3.7.2. Implementación de la Planta Piloto

Se inició con el reconocimiento del sitio, realizando la limpieza del lugar y el replanteo del espacio que se utilizó para la implementación de la planta piloto del humedal artificial.



Nota: Se utilizó piola plástica A-4 para el replanteo.

Figura 20. Reconocimiento, Limpieza y Replanteo del Sitio de Implementación del Humedal

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Se utilizó cal para realizar la marcación del área, logrando facilitar la visualización al momento de la excavación.



Nota: Se utilizó cal para la marcación del sitio

Figura 21. Marcación del Sitio

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)



Figura 22. *Replanteo Total para Excavación*
Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Se procedió a la construcción del humedal; para esto con la ayuda de una retroexcavadora se inició con el desalojo del material pétreo. Las medidas a excavar del humedal son de 4.50 metros de largo; 1.50 metros de ancho y 0.90 metros de profundidad.



Figura 23. *Excavación con Máquina*
Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)



Nota: Comprobar que la profundidad de la zanja concuerde con lo establecido en el plano

Figura 24. *Supervisión de la Excavación*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Se empezó a realizar una limpieza del material rocoso y la excavación manual para poder llegar a las medidas acordes con el plano con la ayuda de una guía de madera para la conformación del talud de 48° en ambos costados del humedal.



Nota: Para la conformación del talud se hizo uso de una guía de madera

Figura 25. *Conformación de Taludes*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Posterior a la compactación con material propio, se dejó una pendiente de 1% en dirección al tanque reservorio con la finalidad de un correcto direccionamiento de flujo hacia la tubería cribada receptora de 4 pulgadas favoreciendo así un almacenamiento adecuado.



Nota: Con la ayuda de un nivel se logró verificar pendiente

Figura 26. *Pendiente 1% con Dirección al Tanque reservorio*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Luego, se inició con la construcción de una estructura de hormigón armado (zapata, columna, losa), que sirvió de soporte para un tanque de 55 galones en el cual se almacenó agua residual doméstica previamente sedimentada con fin de distribuirla al humedal artificial.



Figura 27. *Encofrado de la estructura de hormigón armado*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)



Figura 28. *Estructura de Soporte de Hormigón Armado para Tanque de 55 galones*
Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Se realizó la impermeabilización de la estructura para evitar filtraciones del agua residual al subsuelo; haciendo uso de una geomembrana con espesor de 0.5 mm.



Nota: Impermeabilización del humedal con geomembrana de 0.5 mm de espesor
Figura 29. *Impermeabilización del Humedal Artificial*
Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Se procedió con la instalación de las tuberías tanto del tanque elevado - humedal y humedal - tanque reservorio. La tubería de entrada y salida cribada posee perforaciones de $\frac{3}{4}$ de pulgada con separaciones de 2.5 cm de distancia. Además, la tubería receptora cribada está cubierta en su totalidad con piedra chispa; esto para evitar obstrucciones con el material fino (arena de río).



Nota: Tubería 2 pulgadas.

Figura 30. *Tubería Tanque Elevado – Humedal*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)



Nota: Debe estar cubierta en su totalidad con el material piedra chispa.

Figura 31. *Tubería Receptora Cribada*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)



Nota: Se usó un codo de 45° para una tubería de 4 pulgadas.

Figura 32. Tubería Humedal- Tanque Reservorio

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Se continuó con la puesta de material pétreo en el humedal, como base incorporamos un espesor de 10cm de piedra chispa, luego 60 cm de arena de río contando así con un borde libre de 20 cm.



Nota: Espesor 10cm. de material pétreo

Figura 33. Piedra Chispa

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)



Nota: El espesor de la arena de río es de 60cm. y un borde libre de 20cm.

Figura 34. *Arena de Río Limpia*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Se procedió a realizar la recolección de vegetación mediana no superiores a los 70 cm. de altura, tratando en lo posible no maltratar ni dañar las raíces.



Nota: Este tipo de vegetación se encuentra aledañas a la zona de estudio

Figura 35. *Recolección de la Vegetación*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

La planta piloto utilizó un total de 55 plantas (carrizo); para la zona de anclaje de la geomembrana se utilizó sacos rellenos de material pétreo colocados alrededor de todo el humedal.



Nota: Vegetación cada 50 cm por cada lado

Figura 36. *Vegetación y Zona de Anclaje de la Geomembrana*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

En la siguiente figura se puede apreciar el antes y después de la implementación del humedal artificial en la vivienda de estudio, la cual se encuentra aledaña al canal secundario.



Figura 37. *Vista de Vivienda Antes y Después de la Implementación*

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Una vez realizada la implementación completa del humedal artificial, se procedió con la operación de la planta piloto. En la siguiente figura se puede apreciar la operación de la planta piloto y observación por parte de la propietaria de la vivienda de estudio.



Figura 38. *Operación y Observación del Funcionamiento de la Planta Piloto*
Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Después de haber realizado el respectivo llenado y toma de muestra del agua residual doméstica en el tanque elevado de 55 glns. y apertura de la llave de paso para distribuir el agua dentro del humedal artificial, al paso de 1 hora aproximadamente el efluente empezó a llegar al tanque receptor, en donde se realizó la toma de muestra de agua a la salida del humedal artificial.



Figura 39. *Comparativa del Agua Antes y Después de Ingresar al Humedal Artificial*
Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Se emplearon envases plásticos estériles para almacenar las muestras de agua, y para preservarlas se utilizó una hielera. Posteriormente se trasladó las muestras al laboratorio INGEESTUDIOS, el mismo autorizado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana (SAE).

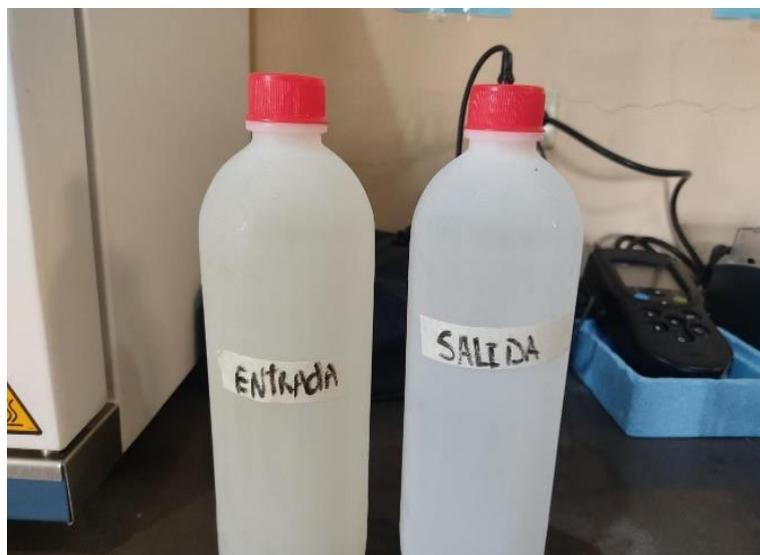


Figura 40. Muestras Recolectadas para el Respectivo Estudio
Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

3.7.3. *Presentación y Análisis de Resultados después de la Implementación del Humedal Artificial Horizontal de flujo Horizontal Sub Superficial*

En la Tabla 21 se detallan los resultados de las concentraciones de parámetros considerados para el presente estudio. Dichos resultados se obtuvieron mediante un ensayo de laboratorio, para lo cual se realizó la respectiva toma de muestra a la entrada del humedal artificial.

Tabla 21. Resultados de Entrada al Humedal Artificial

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	228.03	100	250
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	524	200	500

Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	96	130	220
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	5400000	2000	-

Nota: Los resultados son mayores a los Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

Conforme a los resultados de salida del humedal artificial detalladas en la siguiente Tabla 22, se puede confirmar la eficiencia del humedal artificial usando carrizo como vegetación, ya que los valores cumplen con el rango establecido del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) tanto en la tabla de los “Límites De Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce” y “Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público”.

Tabla 22. *Resultados de Salida del Humedal Artificial*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultados	Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	25.91	100	250
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	111	200	500
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	53	130	220
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	<1.8	2000	-

Nota: Los resultados son menores tanto a los Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce como a los Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

3.7.3.1. Determinación de la capacidad de remoción de concentraciones en

Humedal Artificial usando carrizo.

En este apartado se especifican los porcentajes de remoción. Además, se muestra la comparativa mediante diagrama de barras entre los resultados de entrada y salida del humedal artificial de cada uno de los parámetros considerados tal como se propuso en uno de los objetivos específicos.

▪ Cálculo del porcentaje de remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Entrada al humedal artificial: 228,03 mg/l de DBO5

Resultados:

Salida del humedal artificial: 25,91 mg/l de DBO5

Aplicar fórmula:

$$\left(1 - \frac{\text{concentración DBO5 salida}}{\text{concentración DBO5 entrada}}\right) * 100$$

$$\left(1 - \frac{25.91}{228.03}\right) * 100 = 88.64\%$$



Figura 41. Comparativa de la Concentración de la DBO5

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

- **Cálculo del porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno.**

Resultados:
Entrada al humedal artificial: 524 mg/l de DQO
Salida del humedal artificial: 111 mg/l de DQO

Aplicar fórmula:

$$\left(1 - \frac{\text{concentración DQO salida}}{\text{concentración DQO entrada}}\right) * 100$$

$$\left(1 - \frac{111}{524}\right) * 100 = 78.82\%$$



Figura 42. Comparativa de la Concentración de la DQO

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

- **Cálculo del porcentaje de remoción de los Sólidos Suspendedos Totales.**

Resultados:
Entrada al humedal artificial: 96 mg/l de SST
Salida del humedal artificial: 53 mg/l de SST

Aplicar fórmula:

$$\left(1 - \frac{\text{concentración SST salida}}{\text{concentración SST entrada}}\right) * 100$$

$$\left(1 - \frac{53}{96}\right) * 100 = 44.79\%$$

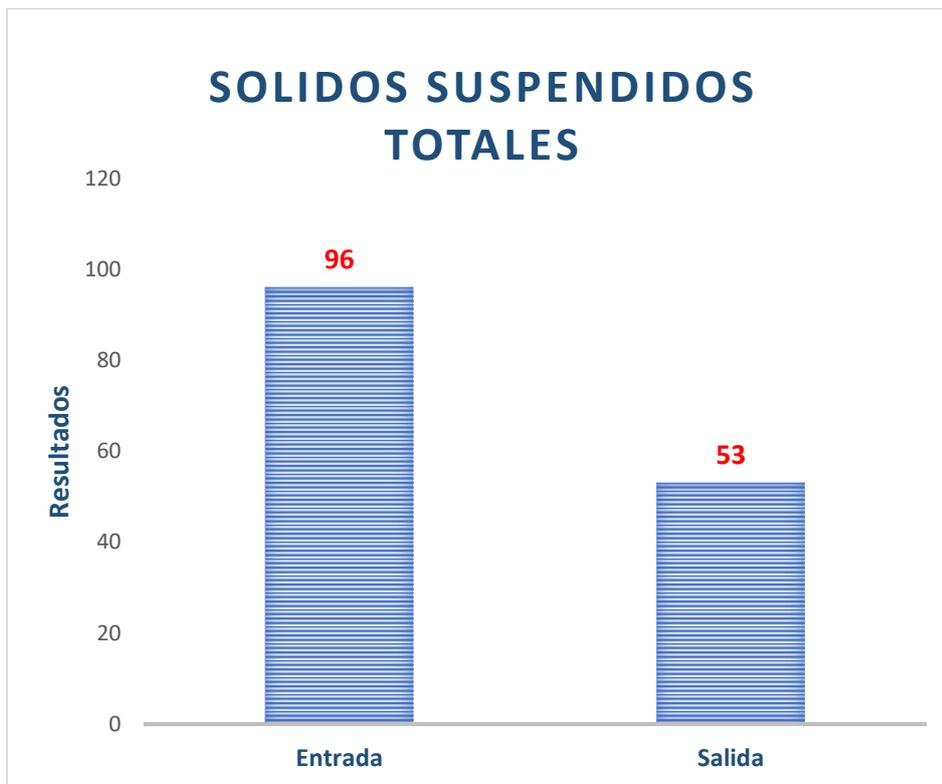


Figura 43. Comparativa de la Concentración de Sólidos Suspendedos Totales

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

- **Cálculo del porcentaje de remoción de los Coliformes Fecales.**

Entrada al humedal artificial: 5400000 NMP

Resultados:

Salida del humedal artificial: 1,8 NMP

Aplicar fórmula:

$$\left(1 - \frac{\text{concentración NMP salida}}{\text{concentración NMP entrada}}\right) * 100$$

$$\left(1 - \frac{1,8}{5400000}\right) * 100 = 99,99\%$$

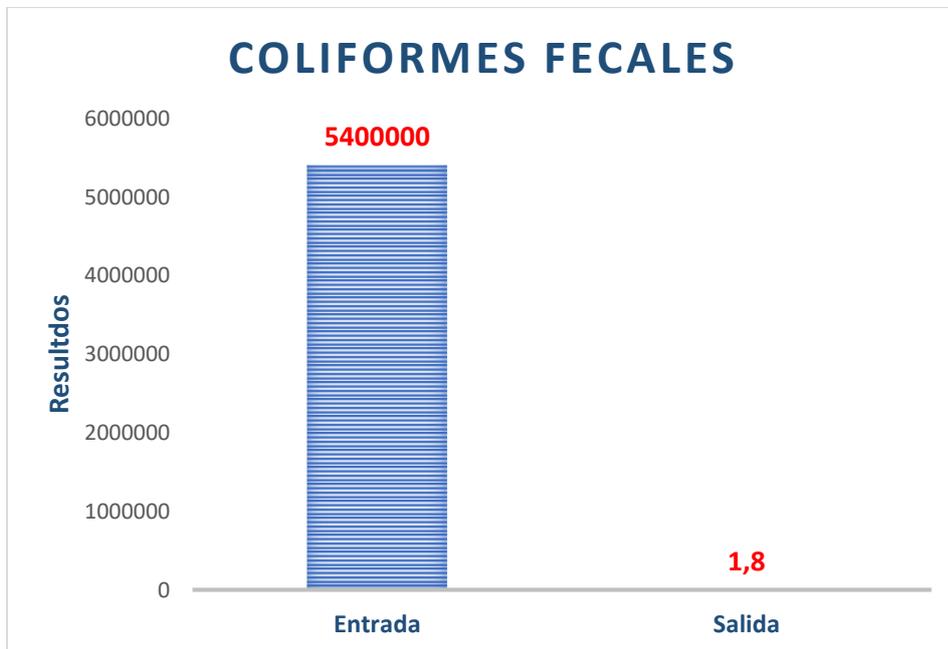


Figura 44. Comparativa de la Concentración de Coliformes Fecales
Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

3.7.4. Presupuesto Referencial

Como se había mencionado desde el inicio en uno de los objetivos específicos, para la realización del estudio de humedales artificiales se recurrió a la implementación de una planta piloto. Por lo que a continuación, se detallan los costos necesarios para la construcción de dicho sistema depurador.

Tabla 23. Costos para la Implementación de la Planta Piloto

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
Codo PVC 45° Ø 4"	u	1,00	\$3,50	\$3,50
Codo PVC 90° Ø 2"	u	2,00	\$1,00	\$2,00
Estructura de soporte de H.A.	m ³	0,59	\$252,53	\$150,00
Excavación con máquina	m ³	6,00	\$5,00	\$30,00
Excavación manual	m ³	4,40	\$20,00	\$88,00
Geo membrana de 0.5mm	m ²	40,00	\$2,00	\$80,00
Llave de paso Ø 2"	u	1,00	\$12,00	\$12,00
Pegamento para tubería	u	2,00	\$3,45	\$6,90
Pegatanke	u	1,00	\$5,65	\$5,65
Plástico negro	ml.	3,00	\$3,50	\$10,50
Suministro e instalación de tuberías PVC Ø 2"	u	2,00	\$5,80	\$11,60
Suministro e instalación de tuberías PVC Ø 4"	u	2,00	\$9,40	\$18,80
Suministro y colocación de arena de río	m ³	7,00	\$14,00	\$98,00
Suministro y colocación de piedra chispa	m ³	2,00	\$28,50	\$57,00
Tanque de 55 Glns. Plastigama	u	2,00	\$39,85	\$79,70
Tapón PVC Ø 2"	u	2,00	\$1,15	\$2,30
Tapón PVC Ø 4"	u	2,00	\$1,95	\$3,90
Tee PVC Ø 2"	u	1,00	\$1,20	\$1,20
Tee PVC Ø 4"	u	1,00	\$5,20	\$5,20
Total				\$666,25

Nota: Costo total para la implementación de la planta piloto sobre humedales artificiales de 0,0069 lt/seg.

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

El costo total de implementación de la planta piloto sobre humedales artificiales para un caudal de 0,0069 lt/seg fue de seiscientos sesenta y seis dólares con veinticinco centavos (\$666,25) de los Estados Unidos de Norteamérica. Es decir que para 1 lt/seg de tratamiento usando esta tecnología de tratamiento el costo de implementación sería de \$ 96.557,97 dólares.

Tabla 24. *Costos de Ensayos de Laboratorio*

Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	Total
Ensayo	u	3	\$90,00	\$270,00
Envase estéril para muestra	u	6	\$0,45	\$2,70
Gafas de protección	u	2	\$1,50	\$3,00
Guantes	u	4	\$0,75	\$3,00
Hielera	u	2	\$7,00	\$14,00
Mascarilla	u	4	\$0,35	\$1,40
Total				\$294,10

Nota: Costo total de ensayos para el presente estudio

Elaborado: Collaguazo & Espín (2021)

El costo total de ensayos realizados en laboratorio para determinar los valores que ayudaron a diseñar la planta piloto y a poder realizar la comparativa de las concentraciones presentes en la toma de muestras fue de doscientos noventa y cuatro dólares con diez centavos (\$294,10) de los Estados Unidos de Norteamérica.

En cuanto al costo TOTAL para la realización de este estudio incluyendo costos de materiales, suministros, colocaciones, instalaciones y costos de ensayos de laboratorio da como resultado un valor de novecientos sesenta dólares con treinta y cinco centavos (\$960,35) de los Estados Unidos de Norteamérica.

CONCLUSIONES

Para el estudio de un humedal artificial de flujo horizontal se realizó la implementación de una planta piloto en base a este sistema depurador. La planta piloto fue diseñada para tratar un agua residual doméstica proveniente de una vivienda habitada por 5 habitantes. El lugar de implementación se dio junto a una vivienda del sitio de estudio (Sector San José).

Por medio de la toma de muestras del agua situada en los tanques a la entrada y salida de la planta piloto, a fin de realizar los ensayos de laboratorio pertinentes y en base a dichos resultados se consiguió realizar la comparativa de las concentraciones de los parámetros considerados para el presente estudio. Obteniendo un porcentaje de remoción del 88.64% en cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), un porcentaje de remoción del 78.82% en cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), un porcentaje de remoción del 44.79% en cuanto a los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y un porcentaje de remoción del 99.99% en cuanto a Coliformes Fecales (NMP). Tener en cuenta que para la remoción del último parámetro considerado se debe a un proceso adicional de desinfección (en nuestro caso: 4 gotas de hipoclorito de sodio por cada galón de agua a tratar). En resumen, los resultados a la salida de la planta piloto cumplieron con el rango establecido del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS) tanto en la tabla de los “Límites De Descarga a un Cuerpo de Agua Dulce” y “Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público”.

Por último, se determinó el presupuesto referencial por la construcción de la planta piloto que consistió en una estructura de hormigón armado que sirvió de soporte para un tanque de 55 galones en el cual se almacenó agua residual doméstica, un humedal artificial de flujo horizontal sub superficial incluyendo material granular e impermeabilización, un tanque de 55 galones al final enterrado el cual fue receptor del efluente y el sistema de tuberías para distribuir el agua residual en la planta piloto. Entonces, en cuanto a costos de materiales, suministros, colocaciones e instalaciones tenemos un total de sesenta y seis dólares con veinticinco centavos (\$666,25). Pero también, se determinó los costos de los materiales necesarios para la toma de muestras y costos de los ensayos de laboratorio realizados para la investigación, tenemos un total de doscientos noventa y un dólares con cuarenta centavos (\$291,40). Por lo tanto, el costo total del estudio realizado fue de novecientos cincuenta y siete dólares con sesenta y cinco centavos (\$957,65).

RECOMENDACIONES

Los sectores rurales son los más afectados en cuanto a la falta de sistemas de alcantarillado. Para lo cual se recomienda el uso de humedales artificiales para la depuración de aguas residuales domésticas de dichos sectores. Considerar usar vegetación asequible del sector, ya que la incorporación de otras plantas puede hacer variar los resultados, debido a que la vegetación pueda necesitar un tiempo de adaptación.

Se necesita un tratamiento primario, en el cual se logre sedimentar y remover gran parte de los sólidos y materia orgánica. Para que el afluente se encuentre libre de estos sólidos y lodos al ingresar al humedal artificial de flujo horizontal sub superficial, evitando así el mal funcionamiento del sistema depurador. Por ejemplo, un sedimentador y una trampa de grasas son excelentes opciones para el tratamiento primario de un agua residual doméstica.

El humedal artificial de flujo horizontal sub superficial se considera como un tratamiento secundario. Por ende, el agua tratada en este sistema debe ser sometida a un proceso adicional como la desinfección por medio de hipoclorito de sodio, en nuestro caso se agregó 4 gotas de cloro por cada galón de agua a tratar, con la finalidad de reducir la concentración de los coliformes fecales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, M., Zurita, F., Lara-Borro, J., & Vidal, G. (2018). *Humedales de tratamiento : alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina*. Obtenido de Repositorio de Pontificia Universidad Javeriana Bogotá: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/34519>
- BBC News. (19 de marzo de 2015). *Por qué se está acabando el agua*. Obtenido de BBC News: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140821_tierra_agua_escasez_finde_dv
- DAM. (03 de abril de 2019). *La economía circular y los humedales artificiales: Protagonistas del día mundial del agua de la cátedra DAM*. Obtenido de DAM (Depuración de Aguas del Mediterráneo): <https://www.dam-aguas.es/2019/04/03/la-economia-circular-y-los-humedales-artificiales-protagonistas-del-dia-mundial-del-agua-de-la-catedra-dam/>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales*. Obtenido de AguasResiduales.info: <https://www.aguasresiduales.info/revista/libros/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales>
- Díaz Delgado, C., Fall, C., Quentin, E., Jiménez Moleón, M. d., Esteller Alberich, M. V., Garrido Hoyos, S. E., . . . García Pulido, D. (2003). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domesticas*. Obtenido de VirtualPro: <https://www.virtualpro.co/biblioteca/agua-potable-para-comunidades-rurales-reuso-y-tratamientos-avanzados-de-aguas-residuales-domesticas>
- ecomar. (09 de julio de 2020). *¿Qué son las aguas residuales?* Obtenido de Fundación Ecomar: <https://fundacionecomar.org/que-son-las-aguas-residuales/>
- El Telégrafo. (19 de diciembre de 2018). *Ecuador cuenta con más de 143 humedales*. Obtenido de El Telégrafo: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/ecuador-143humedales-ecosistemas>
- Galindo, R. A. (noviembre de 2014). *Diseño de un sistema con humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales colectadas en sector la floresta, nuevo progreso, San Marcos*. Obtenido de Universidad de San Carlos de Guatemala:

<https://www.scribd.com/document/308879626/DISENO-DE-UN-SISTEMA-CON-HUMEDAL-ARTIFICIAL-PARA-EL-TRATAMIENTO-DE-LAS-AGUAS-RESIDUALES-COLECTADAS-EN-SECTOR-LA-FLORESTA-NUEVO-PROGRESO-SAN-MARCOS>

García Quito, A. G., & Ludizaca Viracocha, W. E. (2017). *Diseño de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en la comunidad del Tabacay, cantón Azogues, provincia de Cañar*. Obtenido de Repositorio Institucional de Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27743>

Google Earth. (2021). *Mapa del Sitio de Estudio*. Obtenido de Google Earth: <https://earth.google.com/web/search/-2.4888581,+79.3337104/@-2.47074094,-79.312181,142.04309542a,10930.87774857d,35y,352.82413062h,0t,0r/data=CigiJgoKCaQieSI92QPAEUwf5bJA9wPAGYBATpOY1FPAIXB8Rz3L1VPAMicKJQojCiExZDdPRDhnX0NsN09WSm1oc2VuQzRjUHZOT01MbXFzUmI>

Günter, G., Pascal, J., Jaume, O., & Sperling, M. v. (2017). *TREATMENT WETLANDS Volumen 7*. Obtenido de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/321075973_Biological_Wastewater_Treatment_Series_Volume_7_Treatment_Wetlands

Hernández, H., Buitrón, G., López, C., & Cervantes, F. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales, principios, modelación y diseño*. Obtenido de OAPEN: <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/30973>

HIDROTEC. (2021). *Tipos de aguas residuales: por qué es importantes conocerlas*. Obtenido de HIDROTEC: <https://www.hidrotec.com/blog/tipos-de-aguas-residuales/>

Induanalisis. (04 de junio de 2019). *DBO y DQO*. Obtenido de Induanalisis: https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31

Llagas Chafloque, W., & Guadalupe Gómez, E. (15 de julio de 2006). *Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM*. Obtenido de Revista Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699>

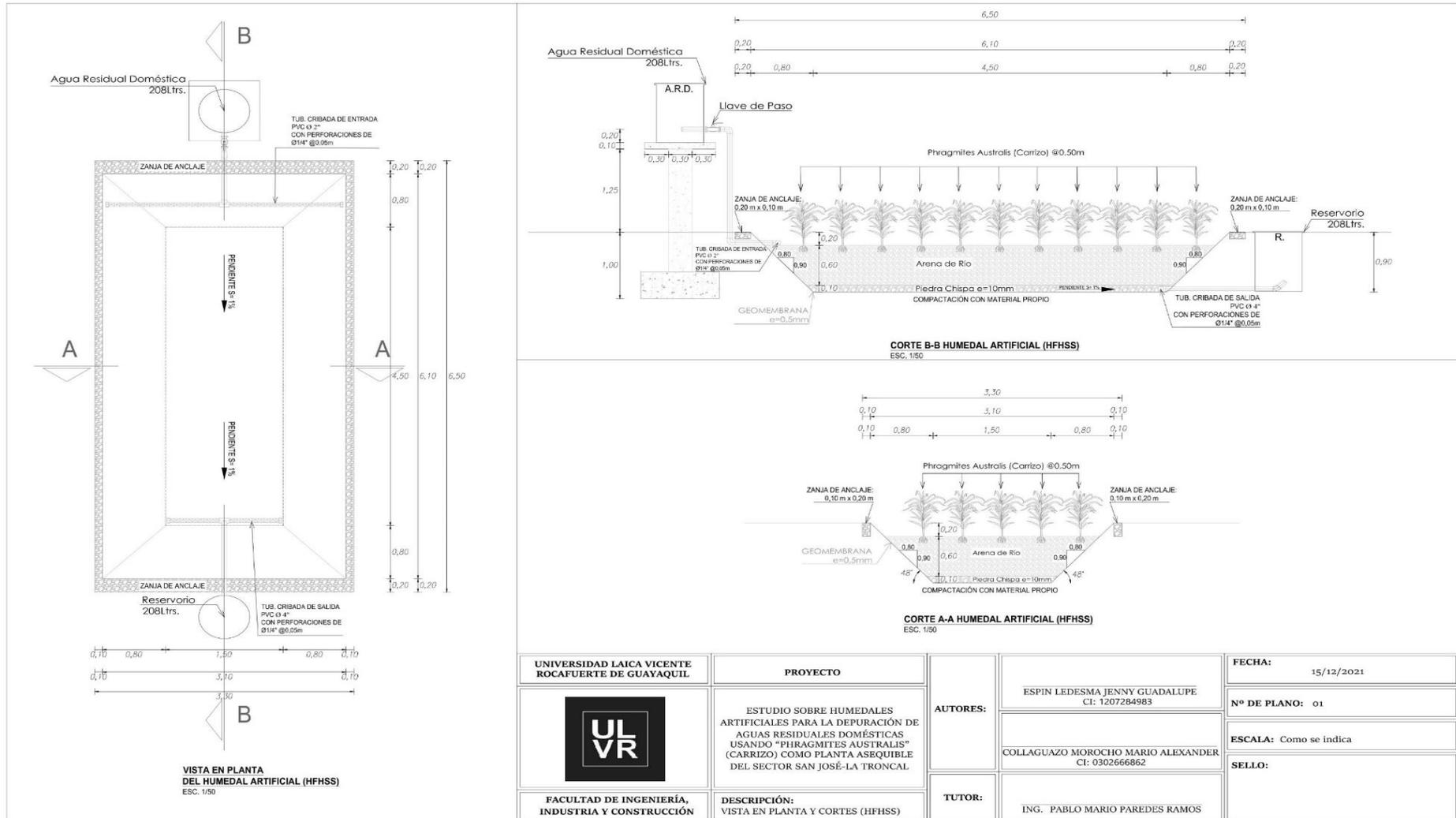
Londoño, L., & Marín, C. (2009). *Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con*

- agua residual sintética*. Obtenido de Repositorio de Universidad Tecnológica de Pereira:
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1817/628162L847.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lozano-Rivas, W. A. (octubre de 2012). *Fundamentos de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Obtenido de ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/298354134_Disenio_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales#pf19
- Moreira Veliz, A. A., & Macías Choez, M. I. (2018). *Estudio del comportamiento del DBO en humedal artificial para tratar agua residual proveniente de baños, lavadoras y fregaderos*. Obtenido de Repositorio de Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil: <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/2261>
- MPCEIP. (2021). *Libro Blanco de Economía Circular de Ecuador*. Obtenido de Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca:
<https://www.produccion.gob.ec/libro-blanco-de-economia-circular-de-ecuador/>
- OMS. (1995). *Guías para la Calidad del Agua Potable, Segunda edición*. Obtenido de World Health Organization (WHO):
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/37736/9243544608-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez Latorre, A. (septiembre de 2017). *Diseño de un humedal artificial para el municipio de Arcos de las Salinas (Teruel)*. Obtenido de Repositorio Institucional de Universidad Politécnica de Valencia: <https://riunet.upv.es/handle/10251/89917>
- Rubio, N. G. (12 de mayo de 2012). *Tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/NathalyRubioGonzlez/tratamiento-de-aguas-residuales-ii>
- Salguero, E. (2018). *Análisis de piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria florícola “La Herradura Florherrera s.a”, ubicada en el cantón Salcedo*. Obtenido de Repositorio de Universidad Técnica de Ambato:
<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27801/1/Tesis%201234%20-%20Salguero%20Salazar%20Edison%20Marcelo.pdf>

- Sistema Nacional de Información. (21 de febrero de 2014). *Cantón LA TRONCAL, Provincia de CAÑAR se encuentra en la Zona 6 de planificación*. Obtenido de Portal del Sistema Nacional de Información: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/Portal%20SNI%202014/FICHAS%20F/0304_LA%20TRONCAL_CA%C3%91AR.pdf
- Sistema Nacional de Información. (15 de noviembre de 2014). *Diagnóstico GAD La Troncal*. Obtenido de Portal del Sistema Nacional de Información: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/DIAGNOSTICO%20GAD%20LA%20TRONCAL%20FINAL_15-11-2014.pdf
- Tiburcio, R. (2019). *Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) en el cuerpo marino receptor de la caleta Puerto Rico-Sechura-Piura 2019*. Obtenido de Repositorio de Universidad Nacional de Piura: <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12676/2282/PES-TIB-GUE-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Tilley, Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2018). *Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento*. Obtenido de Sustainable Sanitation and Water Management Toolbox (SSWM): <https://sswm.info/es/node/11695>
- Vásquez, J. (2018). *Remoción de Materia Orgánica de las Aguas Residuales de la Universidad César Vallejo-Trujillo utilizando Jacinto de Agua en Humedales Artificiales*. Obtenido de Repositorio de Universidad César Vallejo: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33468/vasquez_chj.pdf?sequence=1&isAllowed=y

**A
N
E
X
O
S**

Anexo 1. Plano de la Planta Piloto



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL	PROYECTO		FECHA: 15/12/2021
	ESTUDIO SOBRE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS USANDO "PHRAGMITES AUSTRALIS" (CARRIZO) COMO PLANTA ASEQUIBLE DEL SECTOR SAN JOSÉ-LA TRONCAL	AUTORES:	Nº DE PLANO: 01
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	DESCRIPCIÓN: VISTA EN PLANTA Y CORTES (HFSS)	TUTOR:	ESCALA: Como se indica SELLO:
		ESPIN LEDESMA JENNY GUADALUPE CI: 1207284983 COLLAGUAZO MOROCHO MARIO ALEXANDER CI: 0302666862	ING. PABLO MARIO PAREDES RAMOS

Anexo 2. Resultados de primer ensayo para el diseño del H.A.



INFORME DE RESULTADOS							No.0528-21
FECHA DEL INFORME: 2021/12/08		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA					
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple					
Empresa :		Identificación de la muestra : TOMA DE POZO DE REVISION					
Dirección : TRONCAL- Sector San José		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013					
Sr. Mario		Fecha de Toma : 2021/11/29					
Solicitado por : Collaguazo - Srta. Jenny Espin		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente					
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Hora : 8:20					
F.Inicio del Análisis : 2021/11/29 T°C : 28,13°		Fecha de Ingreso : 2021/11/29					
F.Fin del Análisis : 2021/12/03 %H : 51,466							
RESULTADOS							
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Limites de referencia	
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	139.36	12%	SM 5210B PE-1.3	PE 1.3	100	
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	330	15%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200	
Sólidos Totales (SST)	mg/l	96	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130	
Coliformes Fecales	NMP/100ml	>1600 x 10 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. 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

Anexo 3. Informe de resultados de entrada al H.A.



INFORME DE RESULTADOS						No.0001-22
FECHA DEL INFORME: 2021/01/17		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA				
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple				
Empresa :		Identificación de la muestra : Entrada al Humedal Artificial (Agua residual)				
Dirección : TRONCAL- Séctor San José		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013				
Sr. Mario Collaguazo - Srta.		Fecha de Toma : 2021/01/10				
Solicitado por : Jenny Espín		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente				
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Hora : 9:00AM				
F.Inicio del Análisis : 2021/01/10 T°C : 25,2		Fecha de Ingreso : 2021/01/10				
F.Fin del Análisis : 2021/01/14 %H : 57,76						
RESULTADOS						
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Limites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	228,03	12%	SM 5210B PE-1.3	PE 1.3	100
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	524	15%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200
Sólidos Totales (SST)	mg/l	96	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130
Coliformes Fecales	NMP/100ml	540 X 10 ⁴	--	Standard Methonds 9221E, 9221C, 9223 B (Tubos múltiples)	PE 1.23	2.000


 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

Anexo 4. Informe de resultados de salida del H.A.



INFORME DE RESULTADOS				No.0002-22		
FECHA DEL INFORME: 2021/01/17		DATOS DE LA TOMA DE MUESTRA				
INFORMACIÓN DEL CLIENTE		Tipo de Muestra : Simple				
Empresa :		Identificación de la muestra : Salida al Humedal Artificial (Agua residual)				
Dirección : TRONCAL- Sécotor San José		Norma técnica de muestreo : INEN 2169/2176:2013				
Sr. Mario Collaguazo - Srta.		Fecha de Toma : 2021/01/10				
Solicitado por : Jenny Espin		Responsable toma de muestra : Muestra entregada por el cliente				
CONDICIONES DEL ANÁLISIS		Hora : 10:00AM				
F.Inicio del Análisis : 2021/01/10 T°C : 25,2		Fecha de Ingreso : 2021/01/10				
F.Fin del Análisis : 2021/01/14 %H : 57,76						
RESULTADOS						
Parámetros	Unidades	Resultados	U*	Método de referencia	Procedimiento	Límites de referencia
**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/l	25,91	12%	SM 5210B PE-1.3	PE 1.3	100
**Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	111	15%	SM 5220 D PE 1.4	PE 1.4	200
Sólidos Totales (SST)	mg/l	53	--	Standards methods – Método gravimétrico	PE 1.8	130
Coliformes Fecales	NMP/100ml	< 1,8	--	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

Anexo 5. Factura de Geomembrana



SALIDA LA MERCADERIA SI ACEPTAMOS RECLAMO, CAMBIOS, Y DEVOLUCIONES
HASTA 30 DÍAS DÉSPUES ,CON LA FACTURA Y EL TITULAR DE LA COMPRA

BANARIEGO CIA.LTDA.

Matriz: Av. 8 de abril #200 y Angel Arce
El Triunfo- GUAYAS - Ecuador

Tel: 042010190/042010726

Sucursal: COCHANCAY

VÍA DURAN - TAMBO RECINTO COCHANCAY JUNTO A LA ENTRADA AL
RECINTO ZHUCA Y

Contribuyente especial Nro. 745
OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

R.U.C 0391012091001

FACTURA

No. 003-101-000008326

Número de Autorización

0301202201039101209100120031010000083262576183413

Fecha y Hora de Autorización: 03/01/2022

Emisión: Normal

Ambiente: PRODUCCION

CLAVE DE ACCESO

0301202201039101209100120031010000083262576183413

RUC / CI: 1207284983

Razón Social / Nombres y apellidos: ESPIN LEDESMA JENNY GUADALUPE

Fecha Emisión: 03/01/2022

Código Principal	Código Auxiliar	Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Descuento	Precio Total
VAR5000052	VAR5000052	GEOMEMBRANA HDPE 0.50 MM (M2)	2.000000	54.00	4.00	104.00

Forma de Pago	Total
OTROS CON UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	60.00
SIN UTILIZACIÓN DEL SISTEMA FINANCIERO	44.00

Información Adicional	
Código Cliente:	1207284983C
Comprobante:	8326
Dir. Cliente:	BABAHoyo
Email:	jennyespin1999@gmail.com
Tel. Cliente:	
Usuario:	sistem2
Email Sucursal:	cochancay@banariego.com
Teléfono Sucursal:	042010726
Celular Sucursal:	0979891292
Observación:	

SubTotal 12.00%:	\$ 0.00
SubTotal 0%:	\$ 104.00
SubTotal no Objeto Iva:	\$ 0.00
Subtotal sin Impuestos:	\$ 104.00
SubTotal Exento Iva:	\$ 0.00
Descuento:	\$ 4.00
Ice:	\$ 0.00
Iva 12.00%:	\$ 0.00
Irbpnr:	\$ 0.00
Propina:	\$ 0.00
Valor Total:	\$ 104.00