



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**DISEÑO CONCEPTUAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO
INTEGRANDO EL SISTEMA MOVING BED BIOFILM REACTOR DE
LAS AGUAS RESIDUALES**

TUTOR:

MGTR. MILTON ANDRADE LABORDE

AUTORES:

**JEAN PIERRE BARZOLA CAZAR
PACO JOSUÉ SANCÁN CHALÉN**

GUAYAQUIL

2024

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

**Diseño conceptual de planta de tratamiento integrando el sistema
Moving Bed Biofilm Reactor de las aguas residuales.**

AUTOR/ES:

Barzola Cazar Jean Pierre
Sancán Chalén Paco Josué

TUTOR:

MGTR. Andrade Laborde Milton

INSTITUCIÓN:

**Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil**

Grado obtenido:

Ingeniero civil

FACULTAD:

FACULTAD DE INGENIERIA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA:

INGENIERIA CIVIL

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2024

N. DE PÁGS:

130

ÁREAS TEMÁTICAS: Ingeniería, Industria y Construcción

PALABRAS CLAVE: Saneamiento, Agua Residual, Tratamiento del Agua, calidad del agua, contaminante.

RESUMEN:

El documento se enfocó en el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Milagro, Ecuador, integrando el sistema Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) para mejorar la gestión de aguas residuales. Milagro, con cerca de 199,835 habitantes, enfrenta problemas relacionados con el manejo inadecuado de aguas negras debido a la falta de infraestructura eficiente. Esta situación provoca inundaciones y el uso de conexiones ilícitas para evacuar las aguas residuales.

El objetivo principal del estudio es diseñar una planta de tratamiento que incorpore el sistema MBBR para mejorar la depuración de las aguas residuales.

Se plantea como problema si el sistema MBBR podrá cumplir con los estándares normativos de calidad del agua. Además, el estudio incluye un análisis de las ventajas y desventajas de sistemas de tratamiento aeróbico y anaeróbico, la evaluación de la calidad del agua tratada utilizando lodos activados en un modelo a escala, y la comparación de costos entre el sistema de lodos activados y un sistema de tratamiento convencional. Se propone la hipótesis de que el sistema MBBR puede alcanzar o superar los estándares normativos de calidad del agua tratada.

N. DE REGISTRO (en base de datos):

N. DE CLASIFICACIÓN:

DIRECCIÓN URL (Web):

ADJUNTO PDF:

SI

NO

CONTACTO CON AUTOR/ES:

Barzola Cazar Jean Pierre (1)
Sancán Chalén Paco Josué (2)

Teléfono:

0969933949
0996178296

E-mail:

jbarzolac@ulvr.edu.ec
psancanch@ulvr.edu.ec

CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:

Ing. Marcial Sebastián Calero Amores (Decano)

Teléfono: (04) 259 6500 **Ext.** 241

E-mail: mcaleroa@ulvr.edu.ec

Ing. Jorge Enrique Torres Rodríguez (Director de Carrera)

Teléfono: (04) 259 6500 **Ext.** 242

E-mail: etorresr@ulvr.edu.ec

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Proyecto Titulación Barzola & Sancan Agosto 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

5%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
2	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	1%
3	library.oapen.org Fuente de Internet	1%
4	archive.org Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upeu.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	1%
7	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%



Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

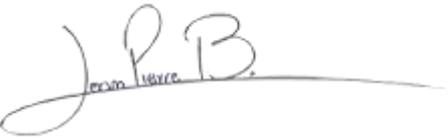
Excluir coincidencias < 1%

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El(Los) estudiante(s) egresado(s) Barzola Cazar Jean Pierre y Sancán Chalén Paco Josué, declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente Trabajo de Titulación, Diseño de planta de tratamiento integrando el sistema MBBR para contribuir al manejo óptimo de las aguas residuales y el mejoramiento ambiental del sector la pradera, cantón Milagro, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

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

Autor(es)

Firma: 

Barzola Cazar Jean Pierre

C.I. 0926140351

Firma: 

Sancán Chalén Paco Josué

C.I. 0928529502

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL DOCENTE TUTOR

En mi calidad de docente Tutor del Trabajo de Titulación Diseño conceptual de planta de tratamiento integrando el sistema Moving Bed Biofilm Reactor de las aguas residuales, designado(a) 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 Trabajo de Titulación, titulado: Diseño conceptual de planta de tratamiento integrando el sistema Moving Bed Biofilm Reactor de las aguas residuales, presentado por el (los) estudiante (s) JEAN PIERRE BARZOLA CAZAR y PACO JOSUÉ SANCÁN CHALÉN como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.

Firma:

MILTON GABRIEL ANDRADE LABORDE

C.C. 0917583767

AGRADECIMIENTO

“Como me lo enseñaron mis padres, primero quiero agradecer a Dios y a la Virgen de Agua Santa por todos los favores recibidos durante este largo trayecto; A mis padres Nilo y Gladys, mis pilares fundamentales, gracias a ustedes lo estoy logrando. A mis Hermanos Amelia y Enrique, mis superhéroes, ustedes guían mi camino y hacen que esta aventura sea mucho más fácil de llevar. Al amor de mi vida, amigos, futuros colegas, a cada una de las personas que en su momento estuvieron tengan por seguro que cada palabra de aliento y cada empujón sirvieron para llegar hasta aquí. ¡Gracias Totales!”

Jean Barzola

“Mediante sutiles palabras quiero agradecer en primera instancia a Dios por permitir que siga aquí, dando pasos en luz que irradia en mi camino para seguir cosechando nuevos caminos de victoria y esperanza. A mi madre, la señora Cruz del Pilar Chalén Crespín, por todo el apoyo incondicional que me brindó desde el día 1 hasta ahora y siempre, mil gracias por cada esfuerzo que hoy se ve reflejado en estos pequeños y largos pasos que tuvieron micho que ver gracias a ella... a mis hermanos Liliana Cristell, ing. Paco Alfredo e ing. Lizzie María, por ser un soporte con cada consejo técnico que me ha servido de mucho para alcanzar metas y notas académicas, a mis distintos familiares, amigos. compadres y futuros colegas que siempre estuvieron en su momento para darme unas palabras de aliento que me han forjado a ser un hombre de bien con valores éticos, morales y profesionales.”

Paco Sancán

DEDICATORIA

“Con profundo amor, gratitud y aprecio dedico este proyecto a quienes ya no están conmigo, mis luceros Luis, Nieves y Elena, quienes me enseñaron el verdadero sentido del esfuerzo y sacrificio, los llevo siempre en mi corazón y estoy seguro que desde donde están celebraran junto a mi este nuevo peldaño. A mis padres y hermanos por todos los esfuerzos realizados para tenerme donde estoy, por apoyarme siempre y acompañarme en cada etapa de mi vida, este logro es más suyo que mío. A mis sobrinos que, así como sus padres fueron fuente de inspiración, quiero ser su ejemplo a seguir, si se puede. A todas esas personas que de una u otra forma han sido parte de este proceso inspirándome, apoyándome y desafiándome a ser mejor dedico este trabajo con profundo agradecimiento y afecto.”

Jean Barzola

“Dedico este proyecto de titulación a mi madre que la tengo con vida y estaré eternamente agradecido por su apoyo, amor incondicional y sacrificio que hizo por mí durante este tiempo, ahora me toca recompensar dicho esfuerzo con trabajo, ganas de salir adelante y ser un gran profesional por ella. A mi padre, que desde el cielo siempre será mi estrella nocturna que más alumbre en mis noches, guiando mi camino y siguiendo sus pasos de un hombre aguerrido, valiente, carismático, bien forjado y trabajador que me acostumbro a este ritmo de trabajar desde niño. A mis abuelitos que desde el cielo iluminan mi mente para servir mejor a los demás, a mi tía Marlene Felicita por siempre haber sido como una segunda madre, apoyándome en lo que más se podía para que yo pueda estar bien. A todos ellos les dedico este trabajo de mucho esfuerzo y dedicación”

Paco Sancán

RESUMEN

El documento se enfocó en el diseño conceptual de una planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Milagro, Ecuador, integrando el sistema Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) para mejorar la gestión de aguas residuales. Milagro, con cerca de 199,835 habitantes, enfrenta problemas relacionados con el manejo inadecuado de aguas negras debido a la falta de infraestructura eficiente. Esta situación provoca inundaciones y el uso de conexiones ilícitas para evacuar las aguas residuales.

El objetivo principal del estudio es diseñar una planta de tratamiento que incorpore el sistema MBBR para mejorar la depuración de las aguas residuales. Se plantea como problema si el sistema MBBR podrá cumplir con los estándares normativos de calidad del agua. Además, el estudio incluye un análisis de las ventajas y desventajas de sistemas de tratamiento aeróbico y anaeróbico, la evaluación de la calidad del agua tratada utilizando lodos activados en un modelo a escala, y la comparación de costos entre el sistema de lodos activados y un sistema de tratamiento convencional. Se propone la hipótesis de que el sistema MBBR puede alcanzar o superar los estándares normativos de calidad del agua tratada.

Palabras Claves: Saneamiento, Agua Residual, Tratamiento del Agua, Moving Bed Biofilm Reactor, Indicadores, Lodos Activados, Calidad del Agua.

ABSTRACT

The paper focused on the conceptual design of a wastewater treatment plant in the city of Milagro, Ecuador, integrating the Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) system to improve wastewater management. Milagro, with about 199,835 inhabitants, faces problems related to inadequate sewage management due to the lack of efficient infrastructure. This situation causes flooding and the use of illicit connections to evacuate wastewater.

The main objective of the study is to design a treatment plant that incorporates the MBBR system to improve wastewater purification. The problem arises as to whether the MBBR system will be able to meet the regulatory standards of water quality. In addition, the study includes an analysis of the advantages and disadvantages of aerobic and anaerobic treatment systems, the evaluation of the quality of treated water using activated sludge in a scale model, and the comparison of costs between the activated sludge system and a conventional treatment system. The hypothesis is proposed that the MBBR system can meet or exceed the normative standards of treated water quality.

Keywords: Sanitation, Wastewater, Water Treatment, Moving Bed Biofilm Reactor, Indicators, Activated Sludge, Water Quality.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	2
1.1 Tema.....	2
1.2 Planteamiento del Problema	2
1.3 Formulación del Problema	3
1.4 Objetivo General	3
1.5 Objetivos Específicos.....	3
1.6 Hipótesis	3
1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad.....	3
CAPÍTULO II	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Fundamentación Teórica	6
2.2.1 Aguas residuales	6
2.2.2 Efectos Sobre la Salud Humana.....	9
2.2.2.1 Efectos de los Parámetro Indicador Oxígeno Disuelto sobre la Salud Humana.....	12
2.2.3 Tipos de Aguas Residuales	13
2.2.3.1 Aguas Residuales Domésticas. Aguas residuales provenientes del residuo de las actividades humanas.....	13
2.2.3.2 Aguas Residuales Industriales. Aguas de desecho producto de la utilización de agua potable en procesos industriales.....	15
2.2.4 Características de las Aguas Residuales	16
2.2.4.1 Características Físicas. También conocidas como características de aspecto.....	17

2.2.4.2 Características Químicas. Características que analizan su composición.....	20
2.2.4.3 Características Biológicas.	22
2.2.5 Análisis De Aguas Residuales	23
2.2.6 Agua Residual y Calidad del Agua	25
2.2.7 Estado Actual del Agua en el Ecuador	25
2.2.8 Historia de las Plantas de Tratamiento Aguas Residuales PTAR.....	26
2.2.9 Tipos de Tratamientos	27
2.2.9.1 Tratamientos Primarios de Aguas Residuales.....	27
2.2.9.2 Tratamiento Secundario de Agua Residuales	29
2.2.9.3 Tratamientos Terciarios De Aguas Residuales.....	30
2.2.9.4 Tratamiento Biológico de Aguas Residuales.	32
2.2.9.5 Procesos del Tratamiento Biológico.	32
2.2.9.6 Reactores de Biopelícula de Lecho Móvil (MBBR).	33
2.2.9.7 Ventajas de tratamiento MBBR.	35
2.2.9.8 Desventajas del Tratamiento.	36
2.2.10 Costos Implícitos	37
2.3 Marco Legal	41
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador	42
2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua ..	47
2.3.3 Anexo 1 de Calidad de Agua del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.....	51
2.3.3 Instituto Ecuatoriano de Normalización	52
CAPÍTULO III	54
3.1 Enfoque de la investigación	54
3.2 Alcance de la Investigación.....	55
3.3 Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos.....	56
3.3.1 Operacionalización de la Variable	56

3.3.2	Análisis Documental	56
3.3.3	Ensayos de Laboratorio	57
3.3.4	Sondeo de Precios Referenciales.....	58
3.4	Población y Muestra	58
3.4.1	Población	58
3.4.2	Muestra.....	59
CAPITULO IV	.....	61
4.1	Presentación y Análisis de Resultados	61
4.1.1	Resultados del Análisis Documental.....	61
4.1.2	Resultados de los Ensayos de Calidad de Agua	68
4.1.3	Resultados del Sondeo de Precios Referenciales	70
4.1.4	Análisis de Resultados	76
4.1.4.1	Análisis Documental.....	76
4.1.4.2	Ensayos de Calidad de Agua.	77
4.1.4.3	Sondeo de Precios Referenciales.	77
4.2	Propuesta.....	78
4.2.1	Definición de Objetivos del Tratamiento	78
4.2.2	Selección del Sistema de Tratamiento	78
CONCLUSIONES	.....	83
RECOMENDACIONES	.....	84
BIBLIOGRAFÍA	.....	85
ANEXOS	.....	89
ANEXO 1	.....	89
ANEXO 2	.....	90
ANEXO 3	.....	91
ANEXO 4	.....	92
ANEXO 5	.....	93

ANEXO 7	94
ANEXO 8	95
ANEXO 9	96
ANEXO 10	97
ANEXO 11	98
ANEXO 12	99
ANEXO 13	100
ANEXO 14	101
ANEXO 15	102
ANEXO 16	103
ANEXO 17	104
ANEXO 18	105
ANEXO 19	106
ANEXO 20	107
ANEXO 21	108
ANEXO 22	109
ANEXO 23	110
ANEXO 24	111
ANEXO 25	112
ANEXO 26	113
ANEXO 27	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema representativo de la mezcla que contiene el agua residual.....	7
Figura 2: Aguas residuales presentadas en Milagro.	8
Figura 3: Utilización de los servicios de red alcantarillado.	14
Figura 4: Esquema de clasificación de las aguas residuales.	22
Figura 5: Planta de tratamiento de agua potable.	28
Figura 6: Depuración de agua residual.	29
Figura 7: Tratamiento secundario.	30
Figura 8: Esquema de los procesos presentes en una PTAR.....	31
Figura 9: Procesos del tratamiento biológico.	33
Figura 10 : Remoción de partículas con el sistema MBBR.	34
Figura 11: Examinación de una muestra de agua.	57
Figura 12: Zona geográfica que contiene las aguas del conjunto muestral.....	60
Figura 13: Resultados de calidad de agua.	68
Figura 14: ELICROM laboratorio de calidad de agua PARTE I.....	70
Figura 15: ELICROM laboratorio de calidad de agua PARTE II.....	71
Figura 16: Inge-estudios laboratorio de calidad de agua.....	72
Figura 17: Laboratorio de Sanitaria, Universidad de Guayaquil.	73
Figura 18: Certificación presupuestaria proyecto de construcción de PTAR para la ciudad de Loja.	74
Figura 19: Certificación presupuestaria proyecto de construcción de PTAR para un barrio de la ciudad de Machala.	75
Figura 20: Dimensionamiento del biorreactor – Parte I.	79
Figura 21: Dimensionamiento del biorreactor – Parte II.	80
Figura 22: Dimensionamiento del biorreactor – Parte III.	81
Figura 23: Dosificación del biodigestor INDIGO-parte 1.....	82
Figura 24: Dosificación del biodigestor INDIGO-parte 2.....	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Línea de investigación.....	3
Tabla 2: Parámetros a considerar para el diseño de un sistema MBBR.	4
Tabla 3: Composición de aguas residuales domésticas.....	9
Tabla 4: Genes de virulencia para la detección de patotipos de cepas de Escherichia coli.....	10
Tabla 5: Parámetros y análisis respectivos.	13
Tabla 6: Eficiencia de remoción de cromo mediante biomasa.	15
Tabla 7: Costo referencial de construcción.	37
Tabla 8: Costo referencial de equipos.....	37
Tabla 9: Costo referencial por consumo de energía eléctrica.	38
Tabla 10: Costo operativo.	38
Tabla 11: Operacionalización de la variable.....	56
Tabla 12: Matriz de búsqueda.....	61
Tabla 13: Primer documento “Tratamiento de agua residual industrial de curtiembre por medio de la eletrocoagulación”.	62
Tabla 14: Segundo documento “Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el ”.....	63
Tabla 15: Segundo documento “Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática” II.....	64
Tabla 16: Segundo documento “Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática” III.....	65
Tabla 17: Segundo documento “Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática” IV.....	66
Tabla 18: Tercer documento “Caracterización y propuesta de tratamiento del agua residual doméstica de la localidad de Arcelia, Guerrero”.	67
Tabla 19: Límites permisibles según norma vigente.	69

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de aguas residuales en el país son escasos, tanto así que hay cantones y parroquias que viven en el olvido a la espera de una obra complementaria al sistema de AASS con su propia PTAR. Actualmente, las normas ambientales y sanitarias exigen que todo tipo de fluidos producidos por industrias, viviendas, supermercados, etc. Tengan sus respectivos tratamientos antes de ser enviados a los efluentes naturales. El tratamiento de las aguas residuales es muy importante para evitar que los efluentes líquidos tengan desechos sólidos con alto contenido orgánico. En el cantón Milagro existe una red de AASS que beneficia a ciertos habitantes, desconociendo que hay una creciente población como también de industrias o locales comerciales que no cuentan con la respectiva conexión a una red pública.

La investigación a llevarse a cabo tiene como finalidad brindar los recursos necesarios para que futuros colegas tengan el continuismo del levantamiento de una PTAR para el cantón Milagro, que tanto lo necesita para que sus efluentes sean tratados con los debidos procedimientos añadiendo un sistema no tan común como lo es el sistema Moving Bed Biofilm Reactor o también conocidos como Biorreactor de lecho móvil que ayudará a descomponer residuos de una manera más eficaz y rápida.

CAPÍTULO I

ENFOQUE DE LA PROPUESTA

1.1 Tema

Diseño conceptual de una planta de tratamiento integrando el sistema Moving Bed Biofilm Reactor de las aguas residuales.

1.2 Planteamiento del Problema

La ciudad de Milagro es conocida nacionalmente por sus diversos atractivos turísticos y la amabilidad de sus ciudadanos. Esta ciudad cuenta con cerca de 199.835 habitantes, según datos proporcionados por el INEC. De este total de ciudadanos, existe un porcentaje que aún viven en zozobras, a la espera que llegue la obra pública para beneficio de sus habitantes. Así también, los servicios básicos en esta ciudad que no le han permitido ser una ciudad innovadora en todos sus sentidos, tanto comercial como político.

La generación de aguas negras por parte de los locales comerciales y viviendas es abundante que no se ve sustentada en un sistema óptimo que conlleve un buen tratamiento. Una de las actividades más realizadas en el cantón, son: el desperdicio de alimentos, la limpieza de equipos, autos, uso de productos químicos como pesticidas en caso de la agricultura, etc. Todas estas actividades influyen mucho en la provocación de inundaciones ya que su único destino es la red de AALL.

El alto consumo de agua potable es esencial para mantener normas de higienes y sanitarias que satisfagan tanto, a los usuarios como a las autoridades competentes de inspeccionar las normas de calidad. Esto puede aportar a una alta carga de DBO y DQO5. En consecuencia, la planta de tratamiento deberá absorber y tratar las aguas adoptadas al sistema MBBR que su objetivo es encapsular las partículas de tamaño considerable para acelerar el proceso de tratamiento.

Por este motivo, se plantea una solución a la problemática del ineficiente servicio de redes de aguas servidas o aguas negras para que las viviendas y el sector comercial de la avenida Mariscal Sucre se conecten a un sistema innovador que conduzca sus fluidos a la PTAR. De esta manera, se podrá evitar inundaciones y los ciudadanos no tendrán la necesidad de realizar maniobras de forma empírica como

conexiones ilícitas que provocarían un aumento del caudal en las tuberías diseñadas para la demanda poblacional.

1.3 Formulación del Problema

¿Se verá reflejada la efectividad del sistema MBBR en la calidad del agua tratada alcanzando la depuración del agua residual a parámetros requeridos bajo normativa y comprobados bajo ensayos?

1.4 Objetivo General

Diseñar conceptualmente una planta de tratamiento de aguas residuales integrando el sistema Moving Bed Biofilm Reactor.

1.5 Objetivos Específicos

- Identificar las ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento aerobia de aguas residuales utilizados en el Guayas, y el sistema anaerobio.
- Analizar la calidad del agua residual usando el sistema de tratamiento de lodos activados mediante un modelo a escala laboratorio.
- Evaluar el costo del tratamiento de agua residual del sistema de tratamiento de lodos activados.

1.6 Hipótesis

El sistema MBBR podrá generar una depuración de agua residual que iguale o supere los mínimos requeridos bajo normativa en la calidad del agua.

1.7 Línea de Investigación Institucional / Facultad

Tabla 1: Línea de investigación.

Dominio	Línea de investigación Institucional	Línea de investigación Facultad	Sub-línea de investigación Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción	Territorio	Gestión urbana sostenible

Fuente: Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, (2024)

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Antecedentes

Reyes (2020), realizó un estudio para optimizar la depuración de aguas residuales provenientes de zonas residenciales a través del sistema MBBR.

Resumen:

El propósito de esta tesis fue optimizar el tratamiento de aguas residuales domésticas en la planta de Caylloma. La metodología empleada incluyó un estudio aplicado. La planta convierte los desechos o lodo en insumos utilizables por la sociedad. El análisis de las variables indicó que se trataba de una investigación no experimental con levantamiento de información cualitativa. El diseño del estudio mostró una optimización del funcionamiento de la planta. Finalmente, se mencionó que la planta puede tratar un caudal promedio de 280 m³/día, cumpliendo con las necesidades de la población de Caylloma.

Tabla 2: Parámetros a considerar para el diseño de un sistema MBBR.

Parámetro	Unidad	Cantidad
Caudal	m ³ /d	280
Numero de Módulos	unidades	2
Superficie específica relleno	m ² /m ³	400
Carga del Sistema	g DBO/m ² d	10
Trh reactor	h	11
Carga hidráulica sedimentador	m/h	0.902
Trh sedimentador	h	1.745
Carga hidraulica precipitador	m/h	1.88
Trh tanque precipitador	h	0.84

Fuente: Reyes, (2020)

Vela et al., (2023), abordó la eficiencia en el contexto de la remoción de la carga de materia orgánica usando el sistema MBBR sobre las aguas residuales industriales provenientes de una planta de fabricación de cerveza artesanal.

Resumen:

Esta investigación buscó determinar la eficiencia de la tecnología MBBR en la remoción de carga orgánica de una planta fabricadora de cerveza artesanal. Las descargas residuales de esta industria tuvieron un alto contenido de carga orgánica y muchas pequeñas industrias no trataban adecuadamente sus efluentes. La metodología experimental empleada incluyó 3 factores y 2 niveles, resultando en 8 corridas experimentales. Los resultados mostraron que el agua muestreada tenía concentraciones de contaminantes de 274 mg/L para SST, 1494.2 mg/L para DBO5 y 3114 mg/L para DQO. Además, la tecnología MBBR logró remover el 83.55% de DBO5, 92.44% de DQO y 93.19% de SST, cumpliendo con los límites máximos permisibles según el DS 003-2002 PRODUCE. En conclusión, se logró remover superior al 80% de la carga de materia orgánica, lo que demostró que la tecnología MBBR es una alternativa que se presenta viable para el tratamiento de aguas residuales en la industria de la cerveza artesanal.

Torres (2020), realizó un trabajo investigativo abordando el tratamiento de aguas residuales abarcando una zona relativamente grande ya que dichas aguas eran provenientes de una municipalidad completa. Usó el sistema MBBR de lecho móvil con un módulo de membranas acoplado.

Resumen:

Esta investigación evaluó el uso de reactores biológicos con módulos de membrana para mejorar el tratamiento de aguas residuales a nivel municipal. La metodología experimental se dividió en tres fases. El reactor se componía de dos compartimentos: una zona anóxica con un volumen de 0.014 m³ y una zona aerobia con un volumen de 0.012 m³. La zona aerobia utilizó un sistema de aireación para proporcionar oxígeno a los microorganismos, permitiendo un mezclado homogéneo. Se evaluó el rendimiento del sistema de tratamiento biológico de lecho móvil para la remoción de materia orgánica y nitrógeno. Finalmente, se obtuvieron los parámetros necesarios utilizando los modelos de Monod, Stover-Kincannon y Grau, que fueron de segundo orden.

Sánchez (2022), diseñó un sistema de depuración de aguas residuales reutilizando estas aguas para disminuir su consumo en la empresa Servientrega S.A.

Resumen:

El objetivo del trabajo fue diseñar un sistema para tratar y reutilizar las aguas residuales en la empresa Servientrega S.A., reduciendo así su consumo de agua. La metodología fue de campo y experimental con un alcance descriptivo. Se analizaron muestras de agua residual de la empresa para determinar el tratamiento adecuado mediante un análisis de laboratorio. Se propuso una planta de tratamiento que incluye procesos físicos, químicos, biológicos y microbiológicos. La implementación de este sistema ahorrará un 40% del consumo de agua, con una inversión requerida de \$32,432.43.

Coral (2023), propuso un diseño para depurar aguas residuales que provengan de zonas residenciales en la localidad de Huaraz en el año 2023.

El objetivo de esta investigación fue diseñar una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que combinara buena tecnología con bajos costos de operación y mantenimiento sostenible. La metodología se enfocó en reducir la contaminación del Río Santa para contribuir a mitigar el calentamiento global y reducir también las emisiones de carbono en la zona. El diseño incluyó un tratamiento de lodos activos mediante un proceso acelerado de autodepuración y controlado de forma artificial. Se evaluaron tres alternativas: zanjas de oxidación, aireación extendida y lodos activos de biomasa. Se seleccionó la alternativa de lodos activos de biomasa fija (MBBR) debido a su menor requerimiento de oxígeno, menor costo operativo y mantenimiento; simplicidad en la operación y un mínimo de impacto ambiental.

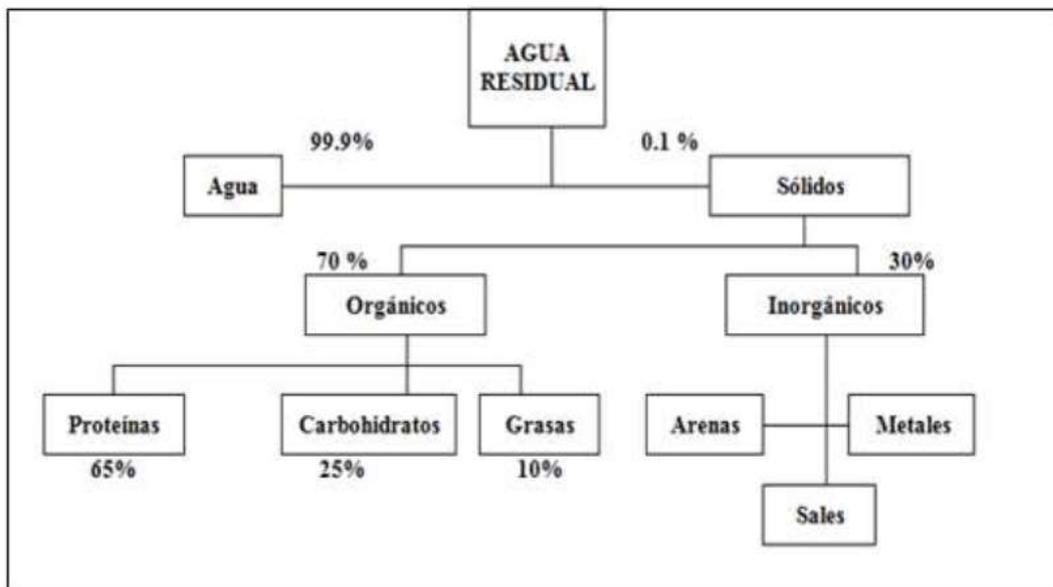
2.2 Fundamentación Teórica

2.2.1 Aguas residuales

Ríos y Cisneros (2019), estudiaron las aguas residuales y con respecto a teoría dijeron que los residuos de agua se describen como compuestos que, cuando los usan los humanos, no representan una amenaza y deben eliminarse debido a su alta concentración de materiales y/o microbios. Son aquellas aguas cuyas cualidades naturales han sido alteradas por la actividad humana y que requieren un tratamiento previo para mantener la calidad necesaria antes de ser recicladas, arrojadas a un cuerpo natural de agua o liberado en el sistema de alcantarillado.

Según las autoras, en un análisis de 2003 más del 94% de las sobras de agua se arrojan a diferentes cuerpos de agua o se usan sin tratamiento previo para el consumo de calidad del agua de tipo RIUM. Por otro lado, en 1973 se estableció una guía después de realizar una investigación exhaustiva sobre estudios epidemiológicos que condujeron a la conclusión de existencia de personas que manipulan efluentes contaminados. También proporcionó pautas específicas para el uso seguro de aguas residuales, excrementos y aguas grises. El objetivo de estas pautas es proteger al público de los riesgos para la salud asociados con la manipulación de efluentes contaminados, evitando así el enfriamiento de contacto crónico.

Figura 1: Esquema representativo de la mezcla que contiene el agua residual.



Fuente: Ríos y Cisneros, (2019)

Las autoras también proveyeron una diferenciación oportuna a ciertas aguas residuales que normalmente tienen una denominación conocida dentro de la comunidad técnica dentro del área sanitaria tal como lo son las aguas grises y aguas negras. Al respecto dijeron que, las aguas grises provienen del uso doméstico particularmente de la lavadora, cocina, duchas, etc., y no son patógenas, a diferencia de las aguas negras que contienen heces, nitrógeno que proviene de la urea en la orina e incluso papel higiénico. Además, agregaron que, para prevenir la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, los retretes deben estar alejados de cualquier fuente de abastecimiento. Finalmente, al respecto de este tema

dijeron que los sólidos totales en el agua se clasifican según su granulometría y se presentan como sólidos suspendidos y filtrables.

Básicamente, las aguas residuales se refieren a aguas sobrantes o desechadas por un proceso por el cual no tiene un valor inmediato, son arrastradas por los drenajes hasta los cuerpos de aguas nacionales. Además, estos procesos permiten que el agua al ser tratada pueda ser de utilidad doméstica, industrial, comercial o agrícola. Sin embargo, pueden ser un peligro para el medio ambiente si son vertida directamente en los cuerpos receptores sin un buen tratamiento.

Figura 2: Aguas residuales presentadas en Milagro.



Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Uno de los desechos más contaminantes y peligrosos que se puede presentar por el humano son las aguas residuales. En este grupo se mencionan que, debido a la acción del hombre, han sido contaminadas y son perjudiciales en el caso de que se desarrolle un tratamiento inadecuado. Por ello, las autoras proporcionaron una tabla muy relevante sobre la composición de las aguas residuales domésticas.

Tabla 3: Composición de aguas residuales domésticas.

Componente	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales	1200	720	35
Sólidos disueltos	950	500	250
Sólidos disueltos fijos	525	300	145
Sólidos disueltos volátiles	325	200	105
Sólidos suspendidos	350	220	100
Sólidos fijos	75	55	20
Sólidos volátiles	275	165	80
Sedimentables	20	10	5
DBO	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno Total	85	40	20
Nitrógeno Orgánico	35	15	8
Nitrógeno Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo Total	15	8	4
Fósforo Orgánico	5	3	1
Fósforo Inorgánico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Grasas y Aceites	150	100	50

Fuente: Ríos y Cisneros, (2019)

2.2.2 Efectos Sobre la Salud Humana

Martínez et al., (2020), dijeron que una preocupación ambiental creciente que plantea un riesgo importante para los ecosistemas y la salud humana es la contaminación del agua. Se ha proyectado en base a estudios, según los autores, que más del 60% de la población mundial tendrá una escasez de agua potable para 2025 y millones más estarán en riesgo de infecciones y contaminación.

Las fuentes principales de bacterias dañinas en el agua son el excremento humano y animal; y las PTARs, o las plantas de tratamiento de aguas residuales, son centros principales para la contaminación de patógenos debido a que son emplazamientos de acumulación de estos, por lo que es necesario el control estricto de las medidas de seguridad biológica dentro de las PTARs. En este sentido, los autores también explicaron que, por ejemplo, en México una de las principales causas de morbilidad y mortalidad en niños menores de cinco años son las enfermedades diarreicas, que generalmente provocan la bacteria *Escherichia coli* (*E. coli*). Por ello, los autores se fijaron en las cepas de esta bacteria que han sido aisladas en PTARs como lo ilustra la siguiente tabla:

Tabla 4: Genes de virulencia para la detección de patotipos de cepas de *Escherichia coli* aislados en la ptar de Acapulco, Guerrero, México.

Patotipos de <i>E. coli</i>	Gen de virulencia	Descripción del gen	Tamaño (pb)	Referencia
Enterotoxigénica	<i>st</i> , <i>lt</i>	Toxina termoestable Toxina termolábil	450 191	(Margall et al. 1997)
Enteropatógena	<i>eae</i>	Fimbria (adherencia laxa al enterocito)	189	(Ud-Din y Wahid 2015)
Enterohemorrágica	<i>stx1</i> , <i>stx2</i>	Citotoxinas <i>shiga</i> (Stx1, Stx2)	418 255	(Vidal et al. 2002)
Enteroinvasiva	<i>ipaH</i>	Proteínas Ipa Complejo Mxi-Spa (adhesinas internalización bacteriana)	619	(Weiler et al. 2017)
Adherencia difusa	<i>daA</i>	Gen conservado (operón daA) que regula la expresión de la adhesina F1845	146	(Riveros et al. 2011)
Enteroadgregativa	<i>aggR</i>	Gen activador transcripcional, regulador de los genes que codifican para fimbrias de adherencia agregativa (AAF)	152	(Morin et al. 2013)

Fuente: Martínez et al., (2020)

La propagación de bacterias resistentes en el entorno acuático es el resultado del uso excesivo de antibióticos en muchos contextos diferentes. El PTAR, que son áreas de alta densidad bacteriana y concentración de variedades, son esenciales para la selección y difusión de estas bacterias resistentes. Se ha realizado investigaciones sobre el efecto que tiene el tratamiento de aguas residuales en relación con la resistencia que presentan las bacterias, sin embargo, los hallazgos no siempre son consistentes. Por otro lado, se han observado tendencias de resistencia a los antibióticos en aumento y para tener una mejor referencia de los microorganismos presentes.

En el caso mexicano la calidad del agua tratada se verifica bajo directrices estrictas, sin tener en cuenta la resistencia a los antibióticos o las enfermedades particulares. Con la intención de informar intervenciones de salud pública, el estudio de los autores se concentró en la prevalencia de datos de *E. coli* resistentes a los antibióticos en un PTAR del sur.

Los cuerpos de aguas que son utilizados para diferentes procesos de las aguas residuales y que son producidas por la actividad humana, son incapaces de contrarrestar por si solas la contaminación tributada por los alcantarillados vertidos en el los mismos. Los ríos lagos o pozos cambian su apariencia y la capacidad de condiciones para ser fuentes de aprovechamiento del líquido vital para el consumo humano.

Se mencionó que una de las primeras prioridades que se debe tener al momento de realizar cualquier proceso con el agua, es que mantenga una calidad eficiente y que se genere una cantidad suficiente que se pueda alcanzar para el consumo de la población. Logrando este objetivo surge otro pequeño problema que se relaciona al tratamiento o la eliminación de las aguas ya utilizadas que se convierten en potenciales vehículos de muchas enfermedades.

Los autores explicaron la importancia de los agentes vivos como los patotipos estudiados. Para aislar *E. coli* desde las muestras en laboratorio, se realizaron diluciones del contenido en una porción de 10^{-1} a 10^{-6} . Al tiempo, en la última dilución se inocularon 100 μ L en cajas de Petri con agar BHI y agar MacConkey, de acuerdo con el lenguaje técnico descrito y en duplicado; y se incubaron durante 24 horas a una temperatura de 30 °C. Luego, se contó el total de las colonias resultantes en cada medio en el que fueron cultivadas y los valores se multiplicaron por la dilución correspondiente. En el agar MacConkey, por otro lado, se seleccionaron al azar 10 colonias lactosa-positivas con la correspondiente morfología de *E. coli* por cada muestra, identificadas con el sistema API20E. Las cepas identificadas fueron conservadas en glicerol al 40% a -70 °C.

Se realizó la extracción de ADN de las cepas seleccionadas mediante choque térmico, incluyendo cepas de un grupo control para el estudio de patotipos. Las reacciones que se produjeron en cadena de polimerasa multiplex (PCRm) se llevaron a cabo en un termociclador Biorad Mycycler TM, con un volumen resultante de 25 μ L. Cada reacción contenía amortiguador, $MgCl_2$, dNTP, oligonucleótidos, agua y Taq polimerasa, con dos pares de oligonucleótidos para amplificar los genes específicos por cada patotipo. El protocolo de PCR incluyó una fase de desnaturalización en el inicio a 95 °C durante 1 minuto, seguido de 35 ciclos de desnaturalización a 95 °C por un tiempo de 45 segundos, hibridación a 58 °C por 1 minuto, extensión a 72 °C por 1 minuto y una elongación final a 72 °C por 7 minutos.

Con precisión, se realizó el procedimiento para validar la reacción en cadena de polimerasa (PCR) a través del uso de controles positivos y negativos. El control positivo, que contenía una mezcla de cepas de *E. coli* de seis patotipos, fue crucial para asegurar que la PCR funcione correctamente y amplifique los genes deseados.

El control negativo, que solo contenía agua mili Q, fue igualmente importante para garantizar que no haya contaminación en las reacciones.

La descripción del análisis de los productos de la PCR mediante electroforesis en gel de agarosa al 1%, teñido con bromuro de etidio, y visualización con luz UV, fue clara y completa. Este método es estándar en la biología molecular para verificar la presencia y tamaño de los fragmentos de ADN amplificados.

En general, el texto de los autores fue técnico y detallado, mostrando un procedimiento riguroso y bien estructurado para la validación de la PCR, lo cual fue fundamental para la precisión y fiabilidad de los resultados en estudios de patotipos de *E. coli*.

2.2.2.1 Efectos de los Parámetro Indicador Oxígeno Disuelto sobre la Salud Humana.

El oxígeno disuelto es crucial en estudios de calidad del agua y ecología acuática. Es expresada en función de su presencia en volumen de agua cuyas unidades son (mg de O / litro).

Pilamunga y Toro (2024), abordaron el efecto del oxígeno disuelto en el agua y su efecto sobre la salud humana. En tal sentido dijeron que el oxígeno disuelto (OD) es crucial para la salud de arroyos y lagos, y sus niveles pueden indicar el grado de contaminación y la capacidad del agua para sustentar vida vegetal, animal y el consumo humano.

Según los autores, altos niveles de OD reflejan mejor calidad del agua, mientras que niveles bajos pueden ser letales para algunos organismos acuáticos. Además, la evaluación de la dinámica de nutrientes en los ecosistemas acuáticos, incluyendo su ciclo, transporte y disponibilidad, es esencial para comprender la relación entre los nutrientes y la productividad biológica, y para evaluar el impacto de las actividades humanas en la calidad del agua y la salud de los ecosistemas y los consumidores de estas aguas. Esto se logra mediante la medición de la concentración de nutrientes, la evaluación de los flujos de nutrientes y la respuesta de los organismos a la disponibilidad de nutrientes. Por ello, proporcionaron un esquema para considerar los análisis de los parámetros más relevantes que se deben analizar.

Tabla 5: Parámetros y análisis respectivos.

Parámetros	Análisis	Método
Oxígeno disuelto	In situ	Electroquímica
Nitritos	Laboratorio	Espectrofotometría
Nitratos	Laboratorio	Espectrofotometría
Fosfatos	Laboratorio	Espectrofotometría
pH	In situ	Electroquímica
Temperatura ambiente y del agua	In situ	Termistores o termopares
Conductividad eléctrica (CE)	In situ	Conductimetría
Total de sólidos disueltos (TDS)	In situ	Conductimetría

Fuente: Pilamunga y Toro, (2024)

2.2.3 Tipos de Aguas Residuales

2.2.3.1 Aguas Residuales Domésticas. Aguas residuales provenientes del residuo de las actividades humanas.

Ríos y Cisneros (2019), también tuvieron dentro de su investigación, una parte dedicada a darle una clasificación a las aguas residuales en aras de categorizar y guardar un orden e identificación de estas para facilitar su estudio. Las autoras dijeron que las aguas residuales más comunes se clasifican en tres categorías:

Agua residual doméstica: Proviene de actividades cotidianas y está compuesta principalmente de componentes orgánicos y contaminantes. Estas aguas son vertidas en cuerpos receptores continentales o marinos y sus características varían según su origen. Contienen sólidos que se introducen en las cloacas y son transportados por sistemas de alcantarillado. La contaminación de flora y fauna se debe en gran parte al vertimiento de estas aguas sin tratamiento. En 2017, el 72.8% de la población del país usaba servicios de saneamiento por red pública, el 8.0% usaba pozos sépticos o letrinas, el 9.6% usaba pozos ciegos o negros, el 8.4% no tenía ningún servicio y el 1.2% eliminaba excretas en ríos, acequias o canales.

Agua residual industrial: Resulta de actividades industriales y procesos de producción, transformación, minería, agricultura, energía, agroindustria, entre otros.

Agua residual municipal: Son aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con drenaje pluvial y que han recibido un tratamiento previo antes de ser admitidas en los sistemas de alcantarillado.

Las autoras también proporcionaron estadísticas importantes sobre el tipo de servicio que utiliza la población en relación con el alcantarillado. En general, estos datos demuestran la transportación de todas las clases de aguas residuales.

Figura 3: Utilización de los servicios de red alcantarillado.



Fuente: Ríos y Cisneros, (2019)

Osorio et al., (2021), explicaron que las aguas residuales domésticas se originan en actividades humanas realizadas regularmente. Se descargan directamente al medio ambiente o a través de sistemas de alcantarillado. Las aguas residuales domésticas exhiben una composición muy diversa y exhiben características biológicas fisicoquímicas y alteradas, lo que la hace inadecuada para el consumo humano. En consecuencia, se requiere un tratamiento especial.

Los componentes principales que se encuentran en estas aguas residuales incluyen sólidos suspendidos totales y compuestos orgánicos. Los contaminantes orgánicos, los nutrientes, los metales pesados y los elementos inorgánicos disueltos que son biodegradables tienen precedencia. Determinar los sólidos totales, nitratos, sulfatos, pH, hierro, cloruros, calcio, zinc, temperatura, densidad, turbidez y olor a aguas residuales residenciales es la base para caracterizarlas. Las aguas tienen propiedades físicas y químicas que las caracterizan, pero para ello se las divide en dos grandes grupos, los cuales hacen referencia al origen del agua servida.

2.2.3.2 Aguas Residuales Industriales. Aguas de desecho producto de la utilización de agua potable en procesos industriales.

Meneses et al., (2019), mostraron cómo el entorno natural ha cambiado rápidamente debido a la actividad humana. Ante ello las descargas de hogares y particularmente de las empresas evidentemente tienen un impacto en la calidad de las fuentes de agua. Muchas compañías liberan desechos líquidos, incluidos metales pesados peligrosos como el cromo, el plomo, el mercurio, el cadmio y el zinc, directamente en cuerpos de agua sin experimentar primero el tratamiento necesario. La eliminación de metales pesados presenta dificultades en el tratamiento previo, el tratamiento primario, secundario y terciario de las aguas residuales industriales, lo que lleva a la producción de desechos adicionales.

Tabla 6: Eficiencia de remoción de cromo mediante biomasa.

Ensayos	Cromo total inicial (mg/l)	Cromo total Final (mg/l)	Porcentaje de remoción
Biomasa Viva			
ARI 24 h	29,3	1,02	96,50%
ARI 96 h	29,3	14,2	48,48%
ARIS 24 h	24,7	21,7	12%
ARIS 96 h	24,7	22,7	8%
Solución patrón 24 h	41	0,8	98%
Solución patrón 96 h	41	40,2	2%
Biomasa Muerta			
ARI 24 h	29,3	20,3	30,70%
ARI 96 h	29,3	22,6	22,80%
ARIS 24 h	24,7	21,2	14%
ARIS 96 h	24,7	23,9	3%
Solución patrón 24 h	41	24,8	39,51%
Solución patrón 96 h	41	40,1	2%

Fuente: Meneses et al., (2019)

Un contaminante importante, el cromo tiene efectos mutagénicos, genotóxicos, cancerígenos y teratogénicos. Aunque su efectividad disminuye a bajas concentraciones de cromo, los métodos convencionales para eliminar los iones de cromo (vi) incluyen la reducción química a los iones de cromo (III), la adsorción utilizando carbono activado, electrocoagulación y otros. Según algunas investigaciones, los sedimentos producidos durante el proceso de tratamiento de agua pueden tratarse mediante métodos biológicos que incluyen fitorremediación y

biorremediación. Las microalgas son útiles para eliminar metales pesados y pueden adaptarse a entornos industriales duros. Son conocidos por sus propiedades purificadoras y su potencial para la producción de biocombustibles.

2.2.4 Características de las Aguas Residuales

Previo al abordaje de las propiedades que contienen las aguas residuales, fue importante conocer que García (2019), estudió un parámetro muy importante para analizar las características de las aguas residuales el cual fue el oxígeno disuelto. Al respecto, el autor dijo que el oxígeno disuelto resulta esencial para la vida acuática, pero es solo ligeramente soluble en agua. La cantidad de OD depende de la solubilidad del gas, la presión parcial en la atmósfera, la temperatura y la pureza del agua. Aunque los organismos terrestres viven con un 20% de oxígeno en el aire, los organismos acuáticos necesitan mucho menos oxígeno disuelto. La solubilidad del oxígeno en agua dulce varía con la temperatura, desde 14.6 mg/L a 0°C hasta aproximadamente 7 mg/L a 35°C bajo una presión de 760 mmHg. La ley de Henry determina la concentración de OD en relación con la presión parcial de oxígeno atmosférico.

Otros factores que afectan la concentración de OD según el autor son la presión atmosférica, el contenido de sales y la temperatura del agua. El programa Enviroland proporciona tablas de concentración de OD según la temperatura del agua. La concentración de OD puede disminuir considerablemente debido a la respiración microbiana durante la degradación de compuestos orgánicos.

Ancalle y Ledesma (2020), realizaron una caracterización de aguas residuales en la cual obtuvieron como respuesta que la composición química, los atributos físicos y la composición biológica del agua, todas fueron afectadas por los procesos humanos y naturales; y son estas las que definen su calidad.

Teóricamente, el agua disuelve los minerales de las rocas y los gases atmosféricos en todas sus formas (sólido, líquido y gaseoso) que actúan como agentes de meteorización. Sin embargo, basándose en las características de estas actividades, los autores pudieron afirmar que las actividades socioeconómicas alteraron la calidad del agua natural y su cambio a través del tiempo y el espacio. Comúnmente, las cantidades cuantificables relacionadas con el posible uso del agua

se utilizan para medir su calidad. Estudiar el ciclo hidrológico puede ayudar a comprender la composición de las diversas formas de agua en la hidrosfera.

Las aguas residuales dependen de diferentes características, ellas se presentan características físicas y químicas que van a depender de las alteraciones producidas del ser humano. A continuación, se detallan las características:

2.2.4.1 Características Físicas. También conocidas como características de aspecto.

El agua residual cuenta con varias características que pueden ser observadas de manera simple, estas son llamadas físicas y cinco principales, como los sólidos turbiedad, color, temperatura y olor.

Los sólidos en aguas residuales se clasifican en diferentes sólidos: sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT) y sólidos sedimentales. La turbiedad se mide como la propiedad de dispersión de luz en el agua y en el color. Esto es una resultante de los sólidos suspendidos y sustancias en solución.

Alfárez y Nieves (2019), realizaron una evaluación ambiental exhaustiva que incorporó el análisis de riesgos y las estrategias de gestión ambiental, así como una categorización apropiada de sus regiones de efecto que carecen algunas plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que no se adhieren a los estándares.

La ubicación, la temperatura y la fuente del agua son ejemplos de elementos externos que afectan la calidad de las aguas residuales, mientras que la población, el desarrollo socioeconómico y el nivel industrial son ejemplos de los internos. Se utilizan procesos físicos, químicos y biológicos, como trampas de grasa, tanques sépticos, postratamiento y sistemas centralizados, para eliminar los contaminantes; Sin embargo, estos métodos requieren una comprensión de las propiedades físicas de las aguas residuales.

Añadieron los autores, que el tratamiento físico implica la construcción y el funcionamiento de las PTAR, que a menudo se encuentran en áreas metropolitanas y están diseñados para realizar tareas, incluida la detección de basura cruda, eliminar físicamente el lodo estabilizado y el secado de lodo seco. Al usar estas técnicas, se

puede evaluar el impacto ambiental del tratamiento del agua y luego descargarla en cuerpos de agua.

Aguilar (2020), proveyó una descripción muy detallada de las características físicas del agua residual y listó las mismas:

Los sólidos comprenden materiales como bolsas, botellas de plástico, alimentos sobrantes y materiales hasta el nivel coloidal. El término "sólidos encontrados en las aguas residuales" tiene la siguiente definición:

a) Sólidos Totales (ST): Se trata de la masa sólida que queda después de que una muestra se seca durante 24 horas a 103 ° C en un horno y se divide por la masa inicial de la muestra para obtener la concentración de sólidos totales (ST). Al informar sobre contenidos de lodo diluido y líquido, el contenido de ST se establece como una masa por volumen (mg/l) en lugar de porcentajes de masa (%), esta último se utiliza meramente para sólidos.

b) Sólidos volátiles totales (SVT): Esta es la cantidad de materia orgánica que está disponible para la biodegradación después de que una muestra de agua residual se volatilice a una temperatura alta de entre 540 y 550 grados centígrados. Parte de los desechos o desechos que aún se encuentran en la muestra se conoce como sólidos inorgánicos del agua. El proceso de determinación de SVT también sirve como un indicador para el tratamiento biológico.

c) Sólidos totalmente suspendidos (STS): Este es el material de partículas suspendidas que se pueden filtrar para eliminar. Flotan sobre las aguas residuales u otros líquidos, o se suspende en ellos.

d) Sólidos disueltos totales (SDT): SDT se calcula secando una muestra de aguas residuales a aproximadamente 105 ° C. obteniendo la porción sólida de la muestra. Por ejemplo, el azúcar sólido y la sal (NaCl) se disuelven en agua y parecen ser invisibles, pero resurgen como cristales cuando la muestra se seca.

e) Sólidos sedimentales (ss): Son medidos en unidades de masa (mg) o por su concentración (mg/l), SS es la cantidad de materia, tanto orgánica como inorgánica, que se separa (opta) en una columna de agua, ya sea por muestras de aguas residuales o cuerpos receptores por un tiempo específico. Además, estas partículas se consideran partículas porque sus diámetros son inferiores a 62 mm.

Turbidez: Este parámetro precisa cómo las partículas suspendidas en el agua afectan la transmisión de la luz. Describe dos fenómenos clave: la absorción y la dispersión. La absorción reduce la intensidad de la luz que pasa a través del agua, mientras que la dispersión redirige la luz en diferentes direcciones debido a las partículas presentes. La turbidez del agua se mide en unidades de turbidez nefelométrica (NTU), lo cual es un dato relevante para la cuantificación de estos fenómenos en contextos científicos y técnicos.

Color: Como es bien sabido, los materiales coloidales, los metales y los iones sólidos en la suspensión son las principales causas de formación de las aguas residuales. Al determinar el color de una muestra de agua residual, podemos determinar el grado de contaminación de varios tipos de materiales y concentraciones presentes en la muestra. Por lo tanto, algunos de estos elementos pueden provenir de las fuentes naturales como deslizamientos de tierra y erupciones volcánicas o fuentes antropogénicas como efluentes industriales, mineros o agrícolas. Debe mencionarse que se encuentran cargas iónicas altas de metal en efluentes industriales o mineros; Esto se debe al estado potencial y la intensidad del contaminante.

Temperatura: Se puede determinar el grado o intensidad de las reacciones químicas y biológicas, así como la baja solubilidad de gas (agotamiento de oxígeno) del medio donde se exhiben, midiendo la temperatura en los cuerpos receptores o muestras de aguas residuales. Por lo tanto, el crecimiento y el desarrollo de organismos acuáticos pueden verse afectados por altas temperaturas debido a la aparición de hongos planctónicos no deseados u otras especies no identificadas que pueden inducir eutrofización o proliferación.

Conductividad: El número de iones disueltos en las corrientes de efluentes de la minería, la agricultura y la industria determina la conductividad eléctrica del agua. Esto nos ayuda a comprender que cuando la conductividad es fuerte, los iones como los sulfatos y los nitratos también se concentran en grandes cantidades dentro de ellos. A temperatura ambiente (25 ° C), este parámetro se mide en unidades Siemens por ciento ($\mu\text{s}/\text{cm}$).

pH: La determinación del pH es un paso crucial para medir la cantidad de iones de hidrógeno en muestras residuales porque dice si el material que se evalúa es

básico o ácido. En otras palabras, una muestra se considera ácida si su pH es inferior a 7, y básico o alcalino si su pH es mayor que 7. Similar a esto, este parámetro es crucial para el tratamiento de aguas residuales porque esencialmente controla las condiciones ideales para la actividad biológica sea de bacterias, algas u otros organismos. Para una eficacia óptima del tratamiento, el pH debe estar entre 7 y 8, ligeramente alcalino o neutral.

Alcalinidad: La alcalinidad mide la concentración de carbonatos, hidróxidos y otras sales básicas en el agua. Además, tiene la capacidad de neutralizar medios ácidos comúnmente utilizados, como hidróxido de sodio e hidróxido de calcio, para reducir los niveles ambientales. A través de las operaciones de aguas residuales, su medición y los informes técnicos están en carbonato de calcio equivalente.

2.2.4.2 Características Químicas. Características que analizan su composición.

Las características químicas emplean diferentes parámetros dentro de estudio de los tratamientos de aguas residuales, en un volumen de agua se puede presentar sustancias orgánicas como inorgánicas, en el cual los inorgánicos son de mayor interés y pueden delimitarse como los nutrientes, nitrógeno y los sulfatos. Las principales características químicas son el potencial de hidrogeno (PH), oxígeno disuelto, nitrógeno, fosforo y grasas aceites.

Aguilar (2020), también proporcionó una lista detallada de las características químicas relevantes. Estas características hacen posible caracterizar los contaminantes químicos presentes en el agua residual, incluida la cantidad de carbono, nitrógeno, fósforo y oxígeno disuelto, así como la evaluación de partículas orgánicas e inorgánicas. Entre ellos, puede discernir varios grupos:

a) Demanda de bioquímica de oxígeno (DBO): La DBO calcula la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos utilizan para descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales durante un periodo específico, que comúnmente es de cinco días.

B) Demanda química de oxígeno (CD): El análisis DQO calcula la cantidad de oxígeno utilizado para reducir los potentes agentes oxidantes a altas temperaturas y condiciones extremadamente ácidas.

c) Carbono orgánico total (COT): Según la cantidad de compuestos orgánicos y el desarrollo microbiano, el análisis de COT se utiliza para evaluar la carga orgánica de aguas residuales y permite administrar y prevenir los procesos de eutrofización en los medios acuáticos.

d) Nitratos: Las aguas receptoras pueden volverse eutróficas y pueden ver un crecimiento de algas venenosas debido al alto contenido de nitrato.

E) Fosfatos: El fósforo es un nutriente que es necesario para el desarrollo y el crecimiento biológico. Sin embargo, la eutrofización, el crecimiento de las algas, ocurre cuando las concentraciones de fosfato en la recepción de productos corporales de la contaminación de aguas residuales son altas. Esto reduce los niveles de oxígeno disuelto y mata la vida acuática.

Un ejemplo de la importancia de la caracterización química del agua residual fue el estudio de Bastidas, P. et al., (2019) quienes descubrieron que la acumulación de lodos en lagunas de oxidación resultó ser el problema principal con las instalaciones de tratamiento de aguas residuales de la industria de la palma. Esto se resolvió instalando un geotubo para eliminar el lodo, pero averiguar dónde terminará fue una necesidad.

El estudio de los autores evaluó el peligro e identificó el destino final del lodo de una laguna de oxidación y un geotubo analizando sus componentes principalmente químicos y biológicos. También se investigó cómo el floculante que se empleó para ayudar al lodo a pasar al geotubo afectó sus propiedades químicas. Los hallazgos demostraron que, de acuerdo con las normas nacionales e internacionales, el lodo tanto de la laguna como del geotubo no era perjudicial. Sus propiedades químicas permanecieron inalteradas por la aplicación floculante.

Las tres muestras que se tomaron revelaron un rango de pH de 7.43 a 7.68, lo que indicó un pH ligeramente neutral para el lodo. Según las reglas ambientales nacionales e internacionales, un material se considera corrosivo si su pH es menor o igual a 2, y más de o igual a 12. Estos valores se alinearon con estas regulaciones. Esto fue respaldado por una investigación anterior, que encontró que el pH es esencialmente neutral porque no se usaron productos químicos durante la extracción y purificación del agua, produciendo lodo con un pH neutro.

2.2.4.3 Características Biológicas.

Analizan la materia orgánica presente. Estas son de alta importancia ya que éstas afectan directamente a la salud de los humanos y de los seres vivos debido a las posibles enfermedades que se pueden presentar y que causan los patógenos de origen humano.

En general, las aguas residuales son una mezcla de agua y materiales disueltos o suspendidos, que provienen principalmente de actividades humanas como el uso doméstico, industrial y agrícola. Las características biológicas de las aguas residuales son fundamentales para entender su impacto en el medio ambiente y para diseñar sistemas de tratamiento adecuados.

Figura 4: Esquema de clasificación de las aguas residuales.



Fuente: Doing Global, (2022)

Aguilar (2020), dijo al respecto que los rasgos biológicos de las aguas residuales se componen biológicamente de bacterias, virus y parásitos. Las actividades en las que interviene la alimentación de estos organismos aportan en la degradación de las aguas residuales porque las bacterias aeróbicas descomponen la materia orgánica cuando el oxígeno se encuentra presente, mientras que las bacterias anaeróbicas también descomponen la materia orgánica, pero cuando el oxígeno está ausente y produce nuevas células y elementos inorgánicos como resultado. Para que los grandes grupos de seres vivos empleen los sustratos producidos por la

descomposición y reduzcan la carga orgánica a través del proceso de acumulación y eliminación del organismo.

2.2.5 Análisis De Aguas Residuales

Según Rodríguez (2020), la importancia de analizar el agua radica en que el agua es crucial para los procesos metabólicos de todos los organismos vivos y es esencial en la agricultura y la industria, donde se generan residuos que necesitan tratamiento. Las actividades industriales y agrícolas contaminan el agua con diversos contaminantes, incluyendo metales pesados, colorantes, pesticidas y detergentes. Estos desechos, muchos de los cuales son mutagénicos, se vierten en ríos y arroyos. Para el 2025, se espera que la población mundial alcance los 7.200 millones, lo que aumentará significativamente los vertidos de residuos sólidos y líquidos, agravando los problemas ambientales.

El texto de Rodríguez (2020), subrayó la importancia del análisis del agua debido a su papel crucial en los procesos metabólicos de los organismos vivos y su esencialidad en la agricultura e industria. Se destaca cómo las actividades agrícolas e industriales contaminan el agua con diversos contaminantes, muchos de los cuales son mutagénicos, y menciona que estos desechos a menudo se vierten en cuerpos de agua naturales, como ríos y arroyos. Además, el texto también proyectó un aumento significativo en la población mundial para 2025, alcanzando los 7.200 millones, lo que se prevé incrementará los vertidos de residuos sólidos y líquidos, exacerbando los problemas ambientales existentes.

También agregó que la toxicidad de los CE (CE: Grupo de contaminantes de origen farmacológico) y sus productos de transformación daña diversos organismos en los ecosistemas, presentando toxicidad aguda y crónica. Para estudiar estos efectos, se realizan pruebas de toxicidad cualitativas y cuantitativas, analizando los resultados adversos según las características químicas y el tiempo de exposición. Se utilizan ensayos de fitotoxicidad con plantas terrestres y bioensayos con organismos de diferentes niveles tróficos como, por ejemplo, bacterias, protozoos, crustáceos, peces, ranas, ratones y células humanas.

Además, la autora se refirió a que la situación derivada de la deficiencia de las plantas de depuración de aguas residuales (PTAR) en controlar o eliminar los CE, es importante conocer y analizar los métodos utilizados y los riesgos asociados con la

presencia de los CE en aguas residuales, superficiales y subterráneas. Compilar estudios de toxicidad con especies bioindicadoras permite evaluar el impacto ecológico y complementar los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos actuales, identificando vacíos de conocimiento en este campo.

Los análisis de las aguas residuales se determinan mediante parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente a evaluar. Se emplea la determinación de la caracterización del efluente en donde se encuentran las aguas ordinarias o especiales del análisis a evaluar, también se determinan la cantidad de muestras simples que son requeridas para la representación de la muestra por la que está compuesta.

No menos importante fue el ensayo del cual la autora hizo mención para analizar a profundidad el agua residual y su posible impacto sobre la salud humana, motivo más importante por el cual se analiza el agua en general. La autora mencionó el Test de Ames que es una prueba in vitro utilizada para determinar el potencial mutagénico de químicos y compuestos, como medicamentos, reactivos, colorantes, cosméticos, pesticidas, aguas residuales, y otras sustancias solubles. Emplea cepas de *Salmonella typhimurium* (TA 97^a, TA 98, TA 100, TA 102, TA 1535 y TA 1538) que son auxótrofas para el aminoácido histidina, permitiendo detectar mutágenos mediante distintas mutaciones en genes del operón histidina.

Procedimiento:

Siembra de bacterias: Las cepas de *Salmonella* se siembran en placas compuestas de agar con glucosa e histidina, sirviendo como control positivo donde crecen bacterias revertidas al fenotipo his+.

Evaluación de compuestos: En otra placa de agar, se añade el compuesto a evaluar. Si el compuesto tiene un efecto mutagénico, las bacterias que sufrieron daños en su ADN y adquirieron mutaciones crecerán, demostrando su capacidad de revertirse y cumplir funciones metabólicas en presencia de dicho compuesto.

Sistema exógeno de activación metabólica: Dado que las bacterias no metabolizan productos químicos como los mamíferos, se añade una fracción microsomal de hígado de rata para simular la activación metabólica de mamíferos.

Este ensayo permitió evaluar indirectamente el daño potencial en el ADN causado por diferentes mecanismos mutagénicos.

2.2.6 Agua Residual y Calidad del Agua

La calidad del agua es un concepto actualmente crítico y que recalca la importancia del acceso al agua de calidad para la estabilidad en el saneamiento y el bienestar humano, destacando su rol esencial en el consumo doméstico, la alimentación y el aseo, como indican las necesidades básicas definidas por la Organización Panamericana de la Salud (OPS). También la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece diversos análisis para garantizar que el agua cumpla con los parámetros de calidad en aspectos fisicoquímicos y biológicos.

Además, en las últimas décadas la calidad del agua ha disminuido a nivel mundial, debido a factores tanto humanos como naturales, como explosiones volcánicas y metales pesados en la corteza terrestre. Sin embargo, se aclara que la contaminación de origen natural es generalmente baja y dispersa, lo que no resulta en índices elevados de contaminación.

El hecho de abordar el tratamiento de aguas residuales en cualquier contexto subraya la conexión directa entre la calidad del agua y la salud global, independientemente de su uso. También sobre el uso irresponsable del agua en diversos sectores y proyecta que, para 2025, más del 50% de la población mundial podría enfrentar una demanda de agua superior a la disponibilidad.

2.2.7 Estado Actual del Agua en el Ecuador

SENAGUA en 2011 presentó una visión detallada sobre la distribución y el uso del agua en Ecuador. Su publicación fue informativa y ofreció una visión clara de cómo se distribuye el uso del agua en actividades agrícolas (80%), domésticas (13%) e industriales (7%). También destacó la importancia de la generación de energía eléctrica, que consume el 53% del caudal total y representa el 48% de la energía total utilizada en el país.

Además, el texto mencionó los impactos ambientales negativos asociados con la minería, incluyendo la contaminación por cianuro, mercurio y sólidos suspendidos, así como los efectos adversos del uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas, especialmente desde la década de 1970 con el cultivo no tradicional de flores en Ecuador. Por último, se destacó el éxito en la gestión del agua en Cuenca, donde la

Empresa Municipal de Telecomunicaciones y Agua Potable (ETAPA) ha mejorado significativamente el servicio mediante la modernización y reducción de infraestructura obsoleta.

El artículo de Zúñiga et al. (2023), examinó si el consumo mensual de agua potable en el sector residencial durante los meses de cuarentena (marzo a junio de 2020) en Ecuador fue superior al consumo histórico previo. Se analizaron los registros de consumo de 46 centros poblados ecuatorianos y se comparan con los datos históricos para los mismos meses en años anteriores.

El análisis incluyó una revisión de la situación sanitaria y socioeconómica global y nacional durante la pandemia. En ingeniería civil, el cálculo de caudales de diseño para sistemas de agua potable se basa en el consumo medio proyectado al máximo, según la normativa ecuatoriana vigente (INEN 005-9-1, 1992).

El análisis de los consumos mensuales de agua en centros poblados durante la cuarentena de 2020 reveló que, en ningún caso, el consumo mensual superó el máximo histórico. Esto sugirió que el sector residencial no aumentó su consumo de agua durante la pandemia, dado que los sectores comerciales, público, educativo, turístico e industrial, que normalmente generan mayor demanda, estaban prácticamente inactivos.

Sin embargo, el 32.6% de las muestras indicaron que una tercera parte de los centros poblados podrían enfrentar desabastecimientos de agua en situaciones emergentes futuras, especialmente si se reactivan las actividades educativas y comerciales. La preocupación aumenta al considerar que eventos fortuitos como fenómenos naturales o crisis socioeconómicas han sido recurrentes en las últimas décadas, y que ninguno de los centros estudiados tiene una cobertura geográfica de servicio superior al 90%.

2.2.8 Historia de las Plantas de Tratamiento Aguas Residuales PTAR

Uno de los elementos primordiales para generar vida en cualquier parte del universo es el agua, también conocido como líquido vital, forma la mayor parte de nuestro planeta con $\frac{3}{4}$ partes del total. Es por esta razón que la sociedad ha venido buscando la manera de aprovechar esta ventaja, tratando, almacenando y distribuyendo el agua desde sus inicios. A lo largo de la historia la humanidad ha

experimentado distintas técnicas de acumulación en gran cantidad, limpieza y purificación, hasta su distribución.

Las primeras civilizaciones que se acentuaron en un lugar fijo, también conocidos como sedentario, siempre optaban por buscar ubicaciones en las cercanías de una fuente de agua la cual sea consumible, como ríos o lagos, originando así las primeras formas de comunidades. Al momento en que estas comunidades fueron creciendo y evolucionando identificaron la necesidad de buscar nuevas fuentes de agua ya que al momento de incrementarse el número de sociedades no siempre tenían el acceso sencillo y directo al agua consumible, por lo que tuvieron que buscar soluciones desarrollando así varios sistemas los cuales les permitieron usar y aprovechar un recurso antes no explorado, agua subterránea, comenzando con los primeros pozos construidos.

Hace 7000 años en Jericó, Israel, se encontraron hallazgos de pozos primitivos los cuales eran usados como almacenamiento, debiendo ser transportado desde esos puntos de acceso hasta los lugares inaccesibles para su posterior utilización. Para evitar todo este proceso de transporte se dio paso a los sistemas de distribución de agua mediante canales sencillos cavados en arena y entre las rocas.

Años después, sociedades como los egipcios, chinos y japoneses optaron por el uso de árboles huecos de palmera y troncos de bambú para la distribución y utilizando los primeros métodos de purificación al hervir el agua sobre el fuego, calentándola bajo el sol ardiente o sumergiendo dentro de una vasija llena de agua algún metal o hierro caliente.

2.2.9 Tipos de Tratamientos

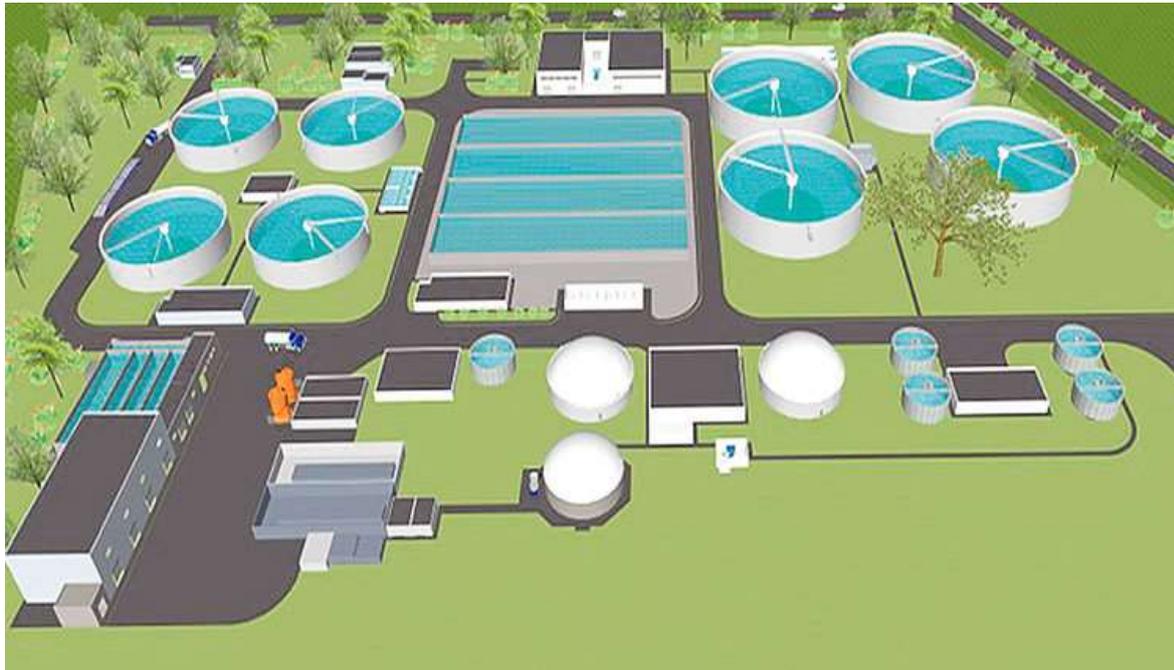
2.2.9.1 Tratamientos Primarios de Aguas Residuales.

De acuerdo con Carril et al., (2020), el tratamiento de aguas residuales comprende procesos físicos, químicos y biológicos diseñados para mejorar las condiciones del agua a través de etapas preliminares primarias (como coagulación y floculación), secundarias (incluyendo análisis microbiológicos), y avanzadas (como la biorremediación), con el fin de cumplir con normativas establecidas.

La autora además agregó que la recuperación de aguas residuales no busca esterilizar el agua eliminando todas las especies microbianas, sino reducir microorganismos perjudiciales para usos industriales o riego. Estos tratamientos

emplean tecnologías conocidas para mejorar la calidad del agua mediante procesos físico-químicos, a menudo combinados con métodos mecánicos, químicos y biológicos. El objetivo principal es eliminar sólidos, grasas, aceites y otros materiales sedimentables o flotantes, permitiendo que el agua residual pueda ser tratada eficientemente para su reutilización o descarga segura.

Figura 5: Planta de tratamiento de agua potable.



Fuente: CIDHMA, (2020)

Refiriéndose al tratamiento primario la autor dijo que en el tratamiento primario interviene una porción de materiales orgánicos y partículas suspendidas como fase inicial. Por lo general, el tamizado y la sedimentación de las partículas de mayor tamaño se realizan en esta fase. El efluente del tratamiento inicial suele tener DBO bastante alta, lo cual a su vez indica una cantidad considerable de materiales orgánicos. Debe recordarse que aunque el tratamiento primario es, a veces, el único aplicado a las aguas residuales según la caracterización que se le haya dado a estas previamente, este es simplemente un tratamiento anterior al secundario, es decir, siempre debe existir un tratamiento posterior al primario.

El tratamiento de aguas residuales primario, utiliza procesos fisicoquímicos para reducir el contenido de partículas en suspensión, grasas, aceites y materiales grandes en el agua. Entre los tratamientos primarios se encuentran:

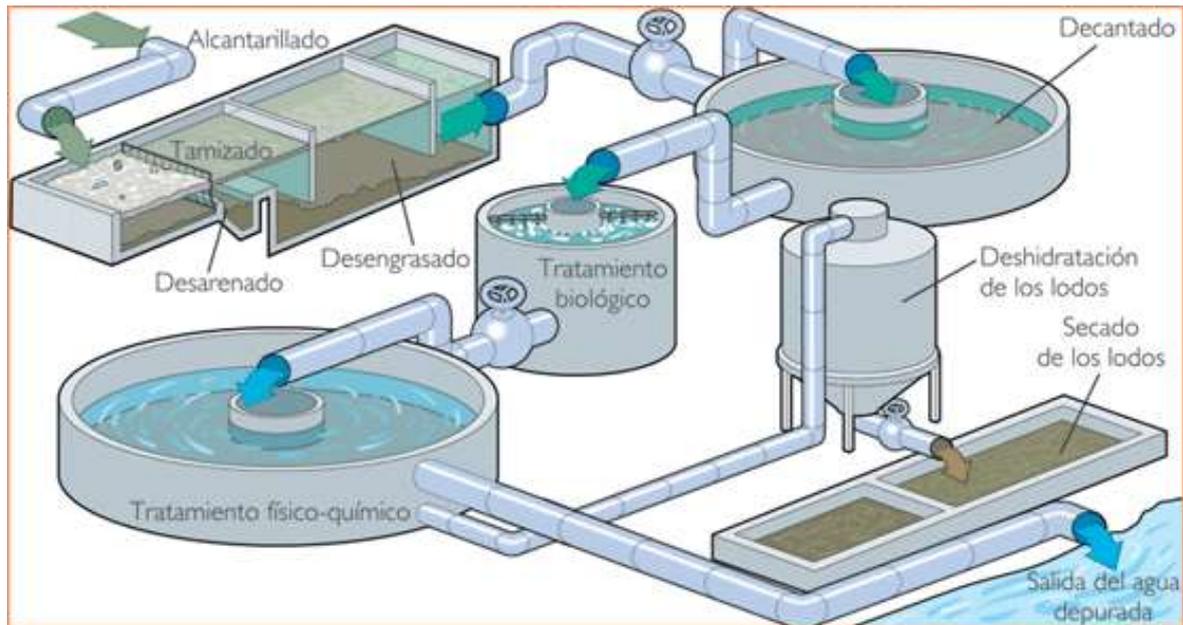
Sedimentación: Las partículas se hunden al fondo por gravedad en tanques decantadores.

Flotación: Contaminantes como espumas, grasas y aceites se eliminan mediante la inyección de aire, que permite que estas partículas menos densas floten en la superficie del agua, con una posible remoción de hasta el 75%.

Neutralización: Se ajusta el pH del agua a un rango de 6-8.5.

Otros procesos: Incluyen métodos adicionales como fosas sépticas, lagunaje, filtros verdes y procesos químicos estandarizados.

Figura 6: Depuración de agua residual.



Fuente: Medina, (2020)

2.2.9.2 Tratamiento Secundario de Agua Residuales

Achuri y Bustos (2021), se enfocaron en un sistema de tratamiento de agua residual doméstica y, en dicho sentido, explicaron que después del pretratamiento y el tratamiento primario, los tratamientos secundarios se emplean como una técnica de purificación para disminuir la cantidad de materiales orgánicos que aún están presentes en las aguas residuales. Dado que las bacterias causan una oxidación de la materia orgánica conocida como biodegradación, los tratamientos biológicos también se conocen como tales. Durante este procedimiento, los sólidos suspendidos y la carga microbiológica contaminante se eliminan del agua.

Los lodos activados son parte de este tipo de tratamiento y consisten en una masa de microorganismos vivos que se asienta sobre los desechos orgánicos y se activa el proceso de degradación orgánica. Luego, los sedimentadores secundarios se utilizan para separar las aguas residuales después de que se haya tratado con este lodo.

La biomasa adherida es también parte del tratamiento secundario en donde para estabilizar la carga orgánica de aguas residuales y disminuir la cantidad de material biodegradable, los microorganismos son fijados sobre un soporte de material plástico o sustancia inerte.

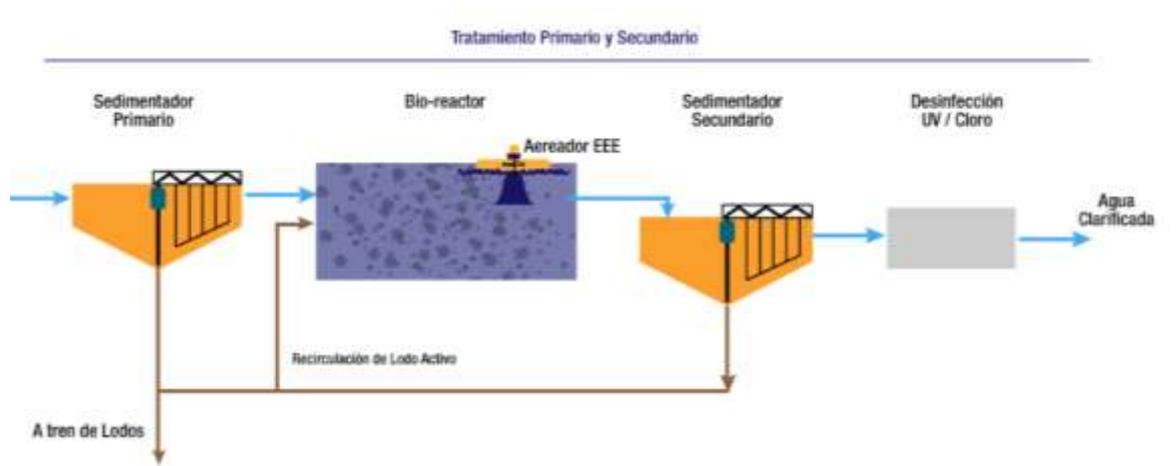
Los tratamientos secundarios de aguas residuales se enfocan en la conversión biológica de sólidos disueltos y compuestos orgánicos en biomasa, que luego se elimina por sedimentación. Este proceso es llevado a cabo por microorganismos presentes en los sólidos suspendidos. Existen dos métodos principales para el contacto entre bacterias y compuestos orgánicos:

Suspensión de biomasa en el agua residual: El método más común es el de "lodos activados", que requiere la recirculación de una porción de biomasa para mejorar la reducción biológica.

Adherencia de biomasa en superficies sólidas: Incluye mecanismos como los filtros percoladores, donde la biomasa madura se despega de la superficie y se dirige al clarificador secundario, y los filtros de membrana o reactores de lecho fluidizado móvil, que cuentan con una alta área superficial para el tratamiento.

Estos métodos permiten la conversión efectiva de contaminantes orgánicos en biomasa y su posterior eliminación.

Figura 7: Tratamiento secundario.



Fuente: Mendoza, (2021)

2.2.9.3 Tratamientos Terciarios De Aguas Residuales.

El tratamiento terciario, o tratamiento avanzado, busca mejorar la calidad del efluente más allá de lo que se logra con el tratamiento secundario convencional.

Aunque muchos procesos de esta etapa no se utilizan ampliamente en el tratamiento actual, se espera que su aplicación aumente en el futuro debido a las crecientes demandas de calidad del efluente. Entre los procesos comunes, se encuentran:

Eliminación de sólidos en suspensión: Se realiza mediante micro tamizado, filtración y coagulación para eliminar los sólidos que no fueron removidos en etapas anteriores.

Adsorción en carbón activado: El soluto se concentra en la superficie del carbón activado debido al desequilibrio de fuerzas superficiales, dependiendo de la superficie total del adsorbente.

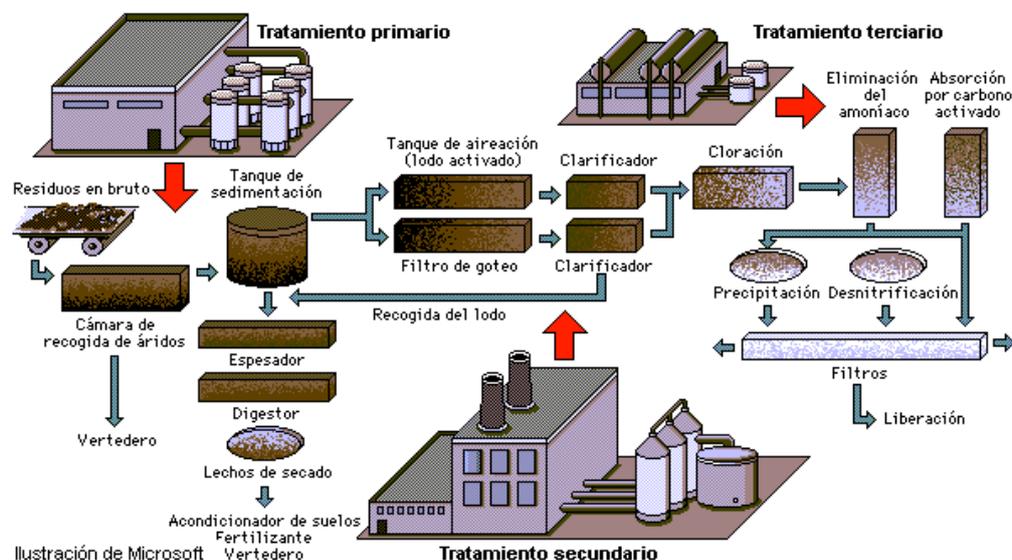
Intercambio iónico: Se utilizan membranas con radicales cargados electrostáticamente para intercambiar iones.

Ósmosis inversa: También conocida como hiper filtración, aplica presión superior a la osmótica para forzar el paso del agua a través de una membrana semi permeable, separando las sales del agua.

Electrodialisis: Elimina alrededor del 99% de sólidos disueltos utilizando cargas eléctricas.

Oxidación química: Utiliza cloro para desinfectar y eliminar cianuros y reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y ozono para reducir metales disueltos y eliminar materia orgánica debido a su alto poder oxidante.

Figura 8: Esquema de los procesos presentes en una PTAR.



Fuente: Espinoza, (2019)

Estos procesos avanzados permiten alcanzar niveles de calidad del efluente que cumplen con los estándares más exigentes.

2.2.9.4 Tratamiento Biológico de Aguas Residuales.

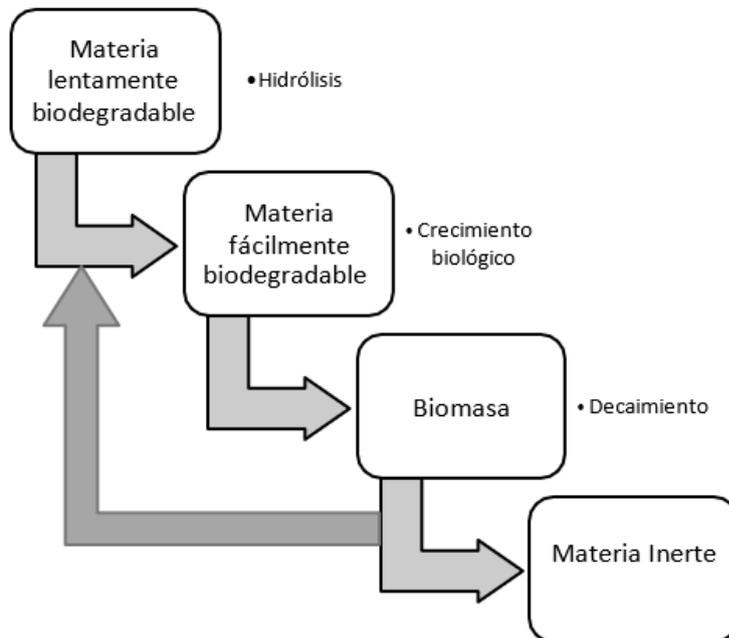
El objetivo principal del tratamiento biológico de aguas residuales es la eliminación de materia orgánica. En los últimos años, se han incorporado procesos adicionales como nitrificación, desnitrificación y eliminación de fósforo. Estos procesos dependen de reacciones microbianas, donde los microorganismos utilizan los contaminantes del agua como fuente de carbono y energía. Estos contaminantes se transforman en biomasa, dióxido de carbono y compuestos inocuos.

2.2.9.5 Procesos del Tratamiento Biológico.

Los tratamientos biológicos de aguas residuales siguen un proceso estructurado y crucial, que incluye:

- Crecimiento biológico: Los microorganismos utilizan moléculas simples como ácido acético, metano, etanol, amonio y glucosa para su crecimiento.
- Hidrólisis: Las moléculas grandes se descomponen en moléculas pequeñas y degradables mediante enzimas extracelulares producidas por los organismos. Este proceso puede ser limitante debido al tiempo que requiere en comparación con el crecimiento.
- Desaparición de biomasa (decaimiento): Incluye varios subprocesos:
 - Mantenimiento: Requiere energía para procesos celulares. Cuando la energía aportada disminuye, las células utilizan la energía almacenada y, una vez agotada, mueren.
 - Predación: Organismos superiores consumen organismos más bajos.
 - Muerte y lisis: La ruptura de la pared celular y el citoplasma convierte las células en sustrato para otros organismos. Los materiales complejos restantes se convierten en residuos orgánicos inertes llamados debris.

Figura 9: Procesos del tratamiento biológico.



Fuente: Montero, (2018)

2.2.9.6 Reactores de Biopelícula de Lecho Móvil (MBBR).

Los reactores de biopelícula de lecho fluidizado móvil (MBBR) utilizan medios de soporte con alta área superficial específica y densidad cercana a la del agua. La biomasa en estos reactores se mantiene en suspensión con poca energía, mediante aireación o mezclado mecánico. A diferencia de los sistemas tradicionales que requieren recirculación de lodos, los MBBR pueden operar sin esta recirculación, ya que la biomasa se retiene en los medios de soporte y el tiempo de retención es limitado.

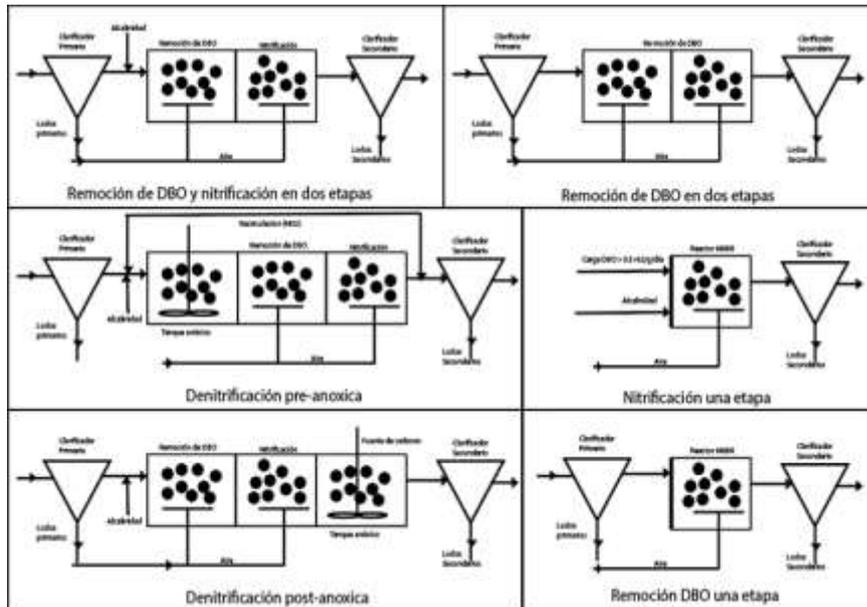
Los procesos anteriores con lecho fijo enfrentaban problemas de obstrucción por la acumulación de biomasa, lo que requería limpieza periódica. El lecho móvil en MBBR facilita el desprendimiento automático de biopelículas, eliminando la necesidad de recirculación de lodos y simplificando el proceso.

La clave del MBBR son los soportes plásticos, que, debido a su geometría, tamaño y materiales, maximizan la eficiencia del tratamiento en comparación con los sistemas de lodos activados. Estos reactores permiten ajustar el volumen del reactor mediante la variación del diseño de los soportes plásticos, ofreciendo flexibilidad para futuras mejoras en plantas existentes sin necesidad de construcciones adicionales.

Los MBBR son eficientes para manejar altas cargas y variaciones en las aguas residuales en volúmenes relativamente pequeños.

Existen diferentes alternativas de proceso de tratamiento de aguas residuales a partir del MBBR, que se explican en la siguiente figura:

Figura 10 : Remoción de partículas con el sistema MBBR.



Fuente: Rodríguez, (2020)

Según Mayta et al., (2023), la contaminación del agua ha aumentado debido al vertimiento de compuestos orgánicos e inorgánicos, alcanzando concentraciones que hacen el agua no apta para su uso. En particular, las aguas residuales de los camales, que contienen grandes cantidades de materia orgánica como sangre, heces y grasas, son altamente contaminantes. Este problema se agrava por la falta de tratamiento adecuado por parte de las administraciones municipales, lo que puede llevar a eutrofización y problemas de salud pública. La OMS estima que alrededor del 10% de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales. En Perú, hasta 2018, solo el 79.2% de las aguas residuales eran tratadas, y en 2019 hubo solo 49 autorizaciones para el reuso y vertimiento de aguas residuales industriales. La creciente demanda de carne contribuye a una mayor contaminación.

Para enfrentar esta problemática, se están utilizando tecnologías como los reactores de lecho móvil (MBBR), que son eficientes para tratar aguas residuales al incorporar microorganismos en un medio de soporte. Aunque esta tecnología ha sido exitosa a nivel mundial, no se ha patentado en Perú para el tratamiento de aguas

residuales de camales. Para ello, el proyecto de investigación propuesto buscó diseñar un sistema experimental utilizando tecnología MBBR para tratar las aguas residuales del Camal Municipal de Cotahuasi, un distrito con una población de 2925 habitantes y una alta demanda de carne.

La tecnología MBBR (Reactor de Lecho Móvil) utiliza soportes plásticos con alta superficie específica para el crecimiento de biomasa, mejorando la eficiencia en comparación con sistemas convencionales. El proceso suele realizarse en un solo tanque, aunque a veces se requieren tanques adicionales para homogeneización y desnitrificación, especialmente con altos contenidos de nitratos.

El proceso implica la filtración inicial del agua para retener sólidos, seguida del tratamiento en el tanque MBBR donde los carriers, que albergan microorganismos, se mantienen en movimiento mediante aireación. Este método permite la remoción continua de contaminantes y es más eficiente y compacto.

En investigaciones previas, se utilizaron carriers con alta área específica, logrando remociones de DQO (77.17%) y DBO5 (90.50%). En contraste, el proyecto actual utilizó carriers con menor área específica, pero con mejores resultados: DQO (85.97%) y DBO5 (97.70%). Aunque los carriers más grandes requieren más aire para su funcionamiento, lo que puede ser una desventaja.

Comparado con investigaciones anteriores, este proyecto mostró tiempos de estabilización del reactor más largos y mejores resultados en remoción de DBO, SST y aceites y grasas. La temperatura promedio de 18°C y un pH de 8 fueron óptimos para el crecimiento de microorganismos. Además, la tecnología MBBR demostró mayor eficiencia en la reducción de coliformes termotolerantes en comparación con el método de lodos activados. El volumen de carriers también influyó en la eficacia del tratamiento, con el 30% del volumen total de carriers en la cámara 2 mostrando mejores resultados en remoción comparado con el 50% utilizado en investigaciones previas.

2.2.9.7 Ventajas de tratamiento MBBR.

El sistema MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) ofrece varias ventajas en comparación con los procesos convencionales de tratamiento biológico. Requiere un menor volumen de tanque debido a su alta superficie específica proporcionada por los soportes plásticos. Estos reactores son flexibles: se puede aumentar el área

superficial añadiendo más soportes plásticos o utilizando materiales diferentes, y se recomienda no llenar el reactor por encima del 70%.

A diferencia de los sistemas tradicionales, el MBBR no necesita recirculación de lodos, lo que simplifica su operación. Además, el mantenimiento es relativamente fácil porque no se requiere purga de fangos ni limpieza periódica. En caso de alta carga de contaminantes, la biomasa tiene una capacidad de regeneración rápida, afectando solo las capas superficiales de la biopelícula, mientras que las capas cercanas a los soportes continúan realizando el tratamiento eficaz de las aguas.

Además, los resultados de Reyes (2020), indicaron que, antes de la instalación de biocarriers y la expansión del caudal en un 40%, las concentraciones de todos los parámetros en el afluente y efluente estaban muy por debajo de los límites máximos permitidos (LMP), con eficiencias de remoción que variaban del 79.59% para la Demanda Química de Oxígeno (DQO) al 99.97% para Coliformes Fecales (CF). Para el uso del efluente en riego, se debe lograr que las concentraciones sean menores a 1000 NMP/100 ml para cultivos que se consumen crudos, aunque no hay recomendaciones específicas para la DBO en riego agrícola.

Tras la instalación de biocarriers y la ampliación del caudal, la calidad del efluente mejoró, con eficiencias de remoción que ahora oscilan del 82.31% al 99.97%. El valor límite para el uso en riego se está acercando a los 1000 NMP/100 ml recomendados por la OMS. La mejora continua sugiere que la adición de más biocarriers podría aumentar aún más la eficiencia. Los caudales del efluente en las fechas analizadas se aproximaron al caudal teórico deseado, variando entre 277 y 288 m³/d.

2.2.9.8 Desventajas del Tratamiento.

Aunque la tecnología MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) es relativamente nueva y ya se utiliza en unas 800 plantas de tratamiento en todo el mundo, se han identificado algunas desventajas operativas. Estas incluyen un mayor consumo energético debido a la necesidad de aeración y un costo de instalación más alto, ya que los insumos como los soportes plásticos son relativamente caros por metro cúbico.

2.2.10 Costos Implícitos

Arciniega y Salazar (2021), compartieron en su trabajo algunas cifras referidas al costo del tratamiento tomando los costos unitarios contenidos en APUs (análisis de precios unitarios) provistos por la empresa de agua potable de la ciudad de Quito. De esta forma los autores dejaron como resultados las siguientes tablas de precios referenciales.

Tabla 7: Costo referencial de construcción.

Unidad de tratamiento	Volumen de estructura (m ³)	Costo de hormigón (USD/m ³)	Costo referencial (USD)
Canal de ingreso	0,60	145,98	87,59
Trampa de grasas	3,34	145,98	487,57
Sedimentador primario	7,78	145,98	1.135,72
Sedimentador secundario	11,38	145,98	1.661,25
Tanque de cloración	2,03	145,98	296,34
Tanque aireador	22,86	145,98	3.337,10
Lecho de secado	0,99	145,98	144,52
Total			7.150,10

Fuente: Arciniega y Salazar, (2021)

Tabla 8: Costo referencial de equipos.

Cantidad	Equipo	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
2	Blower 5 HP	1200	2400
55	Aireadores	60	3300
1	Bomba sumergible	3900	3900
Total			9600

Fuente: Arciniega y Salazar, (2021)

Otro aspecto muy importante referente al costo del tratamiento, son los precios que se tienen que cancelar en la fase operativa de una planta, es decir, los valores monetarios por operación y mantenimiento. Al respecto, los autores también proporcionaron cifras de costos en parte gracias a las referencias de la empresa pública proveedora del servicio eléctrico.

Tabla 9: Costo referencial por consumo de energía eléctrica.

Equipo	Potencia (kw)	Funcionamiento (hr)	Consumo (kwhr)	Costo (USD)
Blower 5 HP	3,7	24	88,80	7,99
Bomba sumergible	2,2	0,5	1,10	0,10

Fuente: Arciniega y Salazar, (2021)

Tabla 10: Costo operativo.

Cantidad	Descripción	Costo Fijo (USD/mes)	Costo Variable (USD/mes)	Costo Total (USD/mes)
2	Operador	400	-	800
1	Técnico	700	-	700
	Consumo Energético	-	242,73	242,73
Costo Total de Operación				1742,73

Fuente: Arciniega y Salazar, (2021)

Finalmente, y no menos importante, fue la ecuación que encontraron los autores para poder formular los resultados de costos en unidades de agua tratada. Esta ecuación pudo bien generalizarse por su simplicidad a muchos otros ámbitos de aplicación sobre el tratamiento de aguas residuales, pero los autores tomaron énfasis en su estudio y por lo tanto, la cifra monetaria estimada fue de 0.18 USD/m³.

Ecuación 1: Fórmula para estimación de costo por metro cúbico de agua tratada.

$$\text{Costo por metro cubico de AR tratada} = \frac{\text{Costo Operativo}}{\text{Volumen de AR tratada}}$$

Fuente: Arciniega y Salazar, (2021)

Ferro et al., (2021), trataron varios aspectos relacionados con el costo en el contexto de la gestión de residuos en la industria de curtiembres. Al respecto dijeron que, el costo de disposición final del lodo generado en el tratamiento de aguas residuales presenta un desafío significativo en términos de manejo, tiempo de procesamiento y costo. Por ello, se evaluó un sistema de centrifugación con diferentes tipos de telas filtrantes con el objetivo de reducir el tiempo de tratamiento y el costo, además de buscar beneficios ambientales.

Al respecto del costo de operación dijeron que la la eliminación del lodo es una parte integral de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y su costo

generalmente representa más de la mitad del costo total de operación. Por lo tanto, para lograr una obtención óptima y significativa de la reducción de costos se realizó la deshidratación del lodo. Esta deshidratación del lodo resultó esencial para reducir el costo de procesamiento final. El análisis de diferentes materiales filtrantes buscaba identificar cuál permitía retirar agua en el menor tiempo, reduciendo así el consumo de energía y el costo de secado del lodo.

El trabajo de investigación de estos autores permitió sentar las bases reales en cuanto a tratamientos de aguas residuales se trata. El costo es un factor crítico en la disposición final del lodo, la operación de los sistemas de tratamiento y la deshidratación del lodo, siendo esta última clave para la reducción efectiva de los costos.

Córdova et al., (2021), recalcaron la creciente necesidad de sostenibilidad ambiental en el siglo XXI, especialmente en relación con la gestión de los recursos hídricos. Desde la Revolución Industrial, la demanda de agua ha aumentado significativamente, lo que ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas como la desalinización y el reúso de aguas residuales tratadas. La industria textil, especialmente en sus procesos de teñido y acabado, es una de las mayores consumidoras de agua y productos químicos, generando aguas residuales con alto impacto ambiental.

El texto analiza la importancia del diseño de sistemas tarifarios óptimos para financiar los servicios de agua en las próximas décadas. En la industria, el enfoque principal es reducir el consumo de agua, idealmente reciclando toda el agua utilizada para minimizar los costos. El reciclaje de aguas residuales industriales ha ganado relevancia, especialmente en países en desarrollo, y requiere comprender el sistema de recolección, tratamiento y reutilización. La investigación evaluó la recirculación del agua residual industrial y su impacto en los costos, utilizando el software MATLAB para simular el costo de reúso del proceso en una empresa de curtiduría.

El estudio también investigó el costo de la recirculación del agua residual en una empresa de curtiduría, estableciendo tres puntos de monitoreo con coordenadas específicas en la provincia de Pisco, Región de Ica. Se realizaron pruebas experimentales en tres fechas distintas, a saber, 14 de octubre, 17 de noviembre y 15

de diciembre del 2020 para evaluar el proceso de recirculación del agua residual y su impacto en el costo total del reúso.

Los parámetros analizados incluyeron el porcentaje de reciclaje del agua, la concentración y el caudal de entrada y pérdida de agua, así como la carga de contaminantes y el costo del agua de suministro. La investigación utilizó el software MATLAB para desarrollar un algoritmo que calculó el costo total del reúso del proceso. Los resultados indicaron que el porcentaje de reciclaje del agua residual en la planta varió entre 0.6 y 0.75, influyendo en el costo total del proceso. Este enfoque proporcionó una visión integral sobre cómo la recirculación afecta los costos operativos en la planta de curtiduría.

Este estudio sobre la recirculación de agua residual industrial en una empresa de curtiduría reveló que el costo de reúso del proceso se ve afectado significativamente por la relación entre el porcentaje de carga de retiro y el porcentaje de reciclaje del agua residual. Se concluyó que la hipótesis alternativa, que establece una relación funcional específica entre estos parámetros, es válida con un 95% de confianza, rechazando la hipótesis nula.

Los resultados mostraron que el costo operativo para tratar 10 m³ de aguas residuales contaminadas es de 2.06 s/m³. La investigación utilizó técnicas estadísticas avanzadas, como el diseño factorial y el análisis de varianza (ANOVA), para evaluar la eficiencia del proceso y determinar los efectos significativos de diferentes variables. La recirculación del agua también contribuye a reducir la contaminación del efluente crudo cuando se descarga a la red de alcantarillado.

El estudio destacó la importancia de la recirculación en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, especialmente el objetivo 6 sobre la calidad del agua y el saneamiento. Se subraya la necesidad de adoptar enfoques sostenibles para enfrentar los problemas de escasez y calidad del agua.

De acuerdo con Galvez (2024), la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) denominada "La Chira" en Lima, contexto peruano, con una capacidad promedio de 6.3 m³/s y máxima de 11.3 m³/s, atiende a aproximadamente 2.5 millones de personas. Por otro lado, la PTAR "Taboada", situada en el distrito del Callao, se construyó para abordar el problema del vertido de aguas residuales sin tratar al mar desde Lima Metropolitana y Callao. Su caudal máximo es de 20.3 m³/s y su velocidad

total es de 2.03 m/s. Ambas plantas tratan el 80% de las aguas contaminadas de estas áreas.

Fue crucial realizar un análisis de costo de inversión para evaluar la relación entre la inversión realizada y el caudal de tratamiento. Los costos de inversión en estas infraestructuras suelen ser proporcionales al caudal, lo que implica mayores costos con mayores capacidades de tratamiento.

La planta de tratamiento de aguas residuales "Chira" tiene un costo de capital de \$79 millones y maneja un caudal promedio de 6.3 m³/s. En contraste, la planta "Taboada" tiene un costo de capital de \$148 millones y procesa un caudal promedio de 14 m³/s. La PTAR de Taboada está financiada por PROINVERSION y el Estado, con un costo de inversión de \$148 millones, y está bajo supervisión de la Municipalidad del Callao y la empresa Sedapal.

El costo per cápita de Taboada muestra variabilidad debido a fluctuaciones en materiales, equipos y obras. Ambos costos de inversión son proporcionales a los caudales de diseño, pero Taboada enfrenta problemas en la calidad del agua residual entrante, con errores en la fiscalización detectados por la contraloría. A diferencia de Taboada, la PTAR "Chira" cumple con los estándares de calidad, brindando beneficios ambientales significativos a la región.

Además, el crecimiento económico sostenido de Perú desde 1999 hasta 2017, con un PIB actual de \$210,013 millones y un PIB per cápita de \$6,872, ha contribuido a la reducción de la pobreza y el desempleo. La tasa de inflación ha sido variable, con un promedio del 4.3% en 2021, lo cual afecta los costos de proyectos de infraestructura.

2.3 Marco Legal

La investigación tuvo como base legal un estricto cumplimiento de las regulaciones y normativas dispuestas por las distintas autoridades tanto del ámbito constructivo como del ámbito sanitario y ambiental. Se considerará la importancia a las normativas nacionales como internacionales vinculadas con el tratamiento de aguas residuales, específicamente a las normativas asociadas con el Sistema MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor).

El diseño de la planta de tratamiento y la integración del sistema MBBR cumplen con la normativa ambiental específica del Ecuador. La primera parte está enfocada en el análisis de las leyes ambientales vigentes en el país y la determinación de requisitos y normas que inciden directamente en el tratamiento de aguas residuales. Una comprensión detallada de estas regulaciones es esencial para garantizar el cumplimiento legal en todas las etapas del proyecto.

En relación con Ecuador, se están revisando a nivel regional y local requisitos específicos que pueden afectar el diseño y operación de plantas de tratamiento. Esto incluye regulaciones emitidas por las autoridades locales y la adaptación de diseños para adaptarse a las condiciones geográficas y ambientales específicas del área donde se construirá la instalación. La consideración de estos aspectos es esencial para asegurar la aceptación y aprobación de las autoridades locales.

Esta sección aborda cuestiones legales específicas relacionadas con la tecnología MBBR. Se encuentran en revisión patentes, derechos de propiedad intelectual y todos los demás aspectos legales relacionados con la introducción de esta tecnología en el Ecuador. Comprender estos aspectos puede ayudar a evitar posibles conflictos legales y garantizar el uso adecuado de la tecnología en el contexto ecuatoriano.

Finalmente, los factores socioambientales son abordados en el marco legal ecuatoriano. Esto incluye la participación y consulta pública, así como la incorporación de aportes de la comunidad local al proceso de desarrollo. La incorporación de estas consideraciones no solo cumple con los requisitos legales, sino que también promueve un enfoque sostenible y socialmente responsable para implementar plantas de tratamiento de aguas residuales con sistemas MBBR en Ecuador.

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador

Para la presente investigación se consideraron a las leyes y normativas ecuatorianas fundamentales para el ámbito social, técnico y operativo para el diseño de una planta de tratamiento. De esta forma, se tomará los artículos de la última constitución vigente.

Manteniendo el concepto del derecho al buen vivir el artículo 12 indica que “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida” (Asamblea Constituyente, 2008).

Mientras tanto el artículo 14 declaró “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*” (Asamblea Constituyente, 2008). Este artículo combinó bajo una declaración, un ambiente sano y las aguas residuales ya que ambos conceptos están estrechamente relacionados y son importantes porque la gestión inadecuada o adecuada de las aguas residuales tiene un impacto directo en la calidad ambiental, lo que a su vez afecta la salud y el bienestar de la población.

Además, los contaminantes como sustancias dañinas, infecciones, exceso de nutrientes y otra basura pueden contaminar ríos, lagos y agua subterránea cuando están presentes en aguas residuales tratadas ineficazmente. Las fuentes de agua dulce pueden volverse no aptas para el consumo humano y otros usos debido a la contaminación del agua, que también tiene un impacto en la biodiversidad terrestre y acuática.

La relación que enmarcó el artículo se ha visto mayormente acentuada por la propagación de enfermedades transmitidas por el agua, incluidas el cólera, la disentería y otras infecciones gastrointestinales, se detiene mediante el tratamiento adecuado de aguas residuales. Las aguas residuales no creadas pueden estar contaminadas con virus, bacterias y parásitos que representan una gran amenaza para la salud del público en general.

El párrafo primero del artículo 15 estableció que:

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 (Asamblea Constituyente, 2008).

Este artículo sirvió para definir una base legal que sustente la relación entre la energía limpia y las plantas de tratamiento de aguas residuales. Esta relación resulta importante y multifacética, ya que la integración de energías limpias en estas plantas puede mejorar su sostenibilidad, eficiencia y reducir su impacto ambiental.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden volverse más autosuficientes energéticamente mediante la adopción de tecnologías de energía

limpia. Por ejemplo, la instalación de paneles solares en las instalaciones puede proporcionar una fuente de energía renovable y constante.

Algunas plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan procesos que permiten la recuperación de energía. Por ejemplo:

Digestión Anaeróbica: Este proceso convierte los lodos residuales en biogás, que puede ser utilizado para generar electricidad y calor.

Microturbinas: Pueden ser instaladas en el flujo de agua tratada para generar energía hidroeléctrica.

El artículo 73 expresó:

El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. (Asamblea Constituyente, 2008)

Este artículo expresó de forma intrínseca la necesidad de las PTAR y permitió reafirmar el propósito con el que estas fueron creadas dado que el tratamiento de aguas residuales es crucial para la prevención de la destrucción de ecosistemas debido a varios factores clave como la prevención de la contaminación del agua. En dicho sentido, las aguas residuales no tratadas contienen una gran cantidad de contaminantes, incluyendo metales pesados, nutrientes excesivos como nitrógeno y fósforo, patógenos, productos químicos tóxicos y residuos orgánicos. Al tratar estas aguas, se eliminan o reducen significativamente estos contaminantes, previniendo su liberación en cuerpos de agua naturales como ríos, lagos y océanos, lo que protege la calidad del agua y la salud de los ecosistemas acuáticos.

Otro factor clave es protección de la vida acuática puesto que, los contaminantes en las aguas residuales pueden ser extremadamente dañinos para la vida acuática dado que, por ejemplo, los nutrientes excesivos como el exceso de nitrógeno y fósforo puede causar eutrofización, un proceso que conduce a la proliferación de algas, disminuyendo los niveles de oxígeno en el agua y causando la muerte de peces y otros organismos acuáticos. También la toxicidad directa proveniente de metales pesados y productos químicos tóxicos pueden envenenar a los organismos acuáticos, afectando su salud, reproducción y supervivencia.

Por su parte el artículo 83 en su literal 6 promulgó:

Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y los ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible. (Asamblea Constituyente, 2008)

Este artículo permitió evidencia que el respeto a la naturaleza está intrínsecamente relacionado con el manejo adecuado de las aguas residuales. Este respeto se manifiesta en la forma en que se tratan y gestionan las aguas residuales para minimizar el impacto ambiental, preservar la salud de los ecosistemas y las comunidades humanas.

El respeto a la naturaleza implica proteger los ecosistemas acuáticos de la contaminación. Las aguas residuales no tratadas pueden introducir sustancias tóxicas, nutrientes en exceso y patógenos en ríos, lagos y océanos, lo que puede llevar a la pérdida de biodiversidad y daños a la vida acuática. El tratamiento adecuado de las aguas residuales ayuda a prevenir estos efectos negativos, protegiendo la integridad y la salud de los ecosistemas acuáticos.

El artículo 395 en su numeral primero hizo mención importante al modelo de desarrollo donde el tratamiento de las aguas residuales tiene un papel preponderante para formar las bases de un urbanismo correcto, planificado y ambientalmente sostenible. El artículo expresó:

La constitución reconoce los siguientes principios:

1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras. (Asamblea Constituyente, 2008)

El desarrollo sostenible y el tratamiento de aguas residuales están estrechamente relacionados, ya que un manejo adecuado de las aguas residuales es crucial para la salud del medio ambiente, la economía y la sociedad

Artículo 276, numeral 4. En este apartado se abordó la recuperación de la naturaleza. El artículo expresó:

El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural. (Asamblea Constituyente, 2008)

El tratamiento de aguas residuales desempeña un papel preponderante en la recuperación y conservación de la naturaleza. Al gestionar adecuadamente estas aguas, no solo se protege el medio ambiente de contaminantes dañinos, sino que también se pueden implementar estrategias para restaurar y mejorar los ecosistemas naturales.

Ejemplos contemporáneos de recuperación de la naturaleza a través del tratamiento de aguas residuales están en las propias tecnologías de tratamiento, como los humedales construidos, no solo tratan las aguas residuales, sino que también proporcionan hábitats para la fauna y la flora. Estos sistemas naturales pueden filtrar contaminantes y mejorar la biodiversidad, creando refugios para aves, insectos y plantas acuáticas.

El artículo 397, numeral 2 fue muy importante para comprender el aspecto jurídico en materia de la gestión de la contaminación una vez que ha ocurrido y no ha podido ser evitada. En ese aspecto el artículo estableció:

En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales. (Asamblea Constituyente, 2008)

Este artículo fue importante desde el punto de vista de gestión de la contaminación. Por ello, se encontró relacionado directamente con el problema puesto que, la contaminación de las aguas residuales es un problema crítico que afecta la salud humana, el medio ambiente y la sostenibilidad de los recursos hídricos. Las aguas residuales, que incluyen desechos domésticos, industriales y agrícolas, contienen una variedad de contaminantes que pueden causar graves impactos negativos si no se gestionan adecuadamente.

Se pudo concluir de este artículo promulgó la obligatoriedad del estado para gestionar la contaminación existente. Esto ha sido de gran impulso para la presente investigación dado que las plantas de tratamiento de aguas residuales forman parte del gran contingente de recursos para la descontaminación que se encuentran actualmente disponibles en la sociedad.

2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua

Basándose en el estricto cumplimiento de la ley y sus entidades reguladoras, se han identificado artículos dentro de lo que es la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua de 2014 que aportaron para el caso de estudio.

Empezando en el artículo 10 el cual proveyó una importante lista de incisos que generaron una referencia jurídica para el ámbito de aplicación de la ley:

Dominio hídrico público. El dominio hídrico público está constituido por los siguientes elementos naturales:

- a) Los ríos, lagos, lagunas, humedales, nevados, glaciares y caídas naturales;
- b) El agua subterránea;
- c) Los acuíferos a los efectos de protección y disposición de los recursos hídricos;
- d) Las fuentes de agua, entendiéndose por tales las nacientes de los ríos y de sus afluentes, manantial o naciente natural en el que brota a la superficie el agua subterránea o aquella que se recoge en su inicio de la esorrentía;
- e) Los álveos o cauces naturales de una corriente continua o discontinua que son los terrenos cubiertos por las aguas en las máximas crecidas ordinarias;
- f) Los lechos y subsuelos de los ríos, lagos, lagunas y embalses superficiales en cauces naturales;

- g) Las riberas que son las fajas naturales de los cauces situadas por encima del nivel de aguas bajas;
- h) La conformación geomorfológica de las cuencas hidrográficas, y de sus desembocaduras;
- i) Los humedales marinos costeros y aguas costeras; y,
- j) Las aguas procedentes de la desalinización de agua de mar. Las obras o infraestructura hidráulica de titularidad pública y sus zonas de protección hidráulica se consideran parte integrante del dominio hídrico público. (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014)

Las aguas residuales generadas por hogares, industrias y servicios públicos deben cumplir con estándares específicos antes de ser descargadas en cuerpos de agua superficiales o subterráneos como aquellos citados en este último artículo. Esto obviamente incluye el uso de sistemas de tratamiento como plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Las empresas e industrias también pueden ser responsables de la gestión interna de sus aguas residuales, asegurando que cumplan con los estándares legales antes de la descarga o reutilización.

El artículo 11 abordó la infraestructura hidráulica desde la perspectiva jurídica tomando en cuenta el propósito técnico de interés nacional:

Infraestructura hidráulica. Se consideran obras o infraestructura hidráulica las destinadas a la captación, extracción, almacenamiento, regulación, conducción, control y aprovechamiento de las aguas así como al saneamiento, depuración, tratamiento y reutilización de las aguas aprovechadas y las que tengan como objeto la recarga artificial de acuíferos, la actuación sobre cauces, corrección del régimen de corrientes, protección frente a avenidas o crecientes, tales como presas, embalses, canales, conducciones, depósitos de abastecimiento a poblaciones, alcantarillado, colectores de aguas pluviales y residuales, instalaciones de saneamiento, depuración y tratamiento, estaciones de aforo, piezómetros, redes de control de calidad así como todas las obras y equipamientos necesarios para la protección del dominio hídrico público.

Las obras o infraestructura hidráulica podrán ser de titularidad pública, privada o comunitaria, según quien las haya construido y financiado, aunque su uso es de interés público y se rigen por esta Ley. (Ley

Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014)

El artículo tuvo su relevancia para la investigación puesto que, la infraestructura de una PTAR incluye la construcción de edificios, tanques de sedimentación, clarificadores, reactores biológicos, y sistemas de filtración. Todos, sistemas hidráulicos de infraestructura. También se deben considerar en esta categoría las redes de tuberías para el transporte de aguas residuales y efluentes tratados, así como sistemas de bombeo y estaciones elevadoras.

El artículo 18 entró en un plano político que no menos importante, consideró la responsabilidad de los entes gubernamentales a cargo de la gestión de saneamiento. En este particular, el artículo declaró:

Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua. Las competencias son:

l) Establecer mecanismos de coordinación y complementariedad con los Gobiernos Autónomos Descentralizados en lo referente a la prestación de servicios públicos de riego y drenaje, potable, alcantarillado, saneamiento, depuración de aguas residuales y otros que establezca la ley;

m) Emitir informe técnico de viabilidad para la ejecución de los proyectos de agua potable, saneamiento, riego y drenaje. (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014)

El Estado juega un papel crucial en la gestión de las aguas residuales, asegurando que se trate y se disponga de manera que se proteja la salud pública y el medio ambiente. A través de una combinación de legislación, supervisión, gestión, educación, investigación y sanciones, el Estado puede garantizar que las aguas residuales se manejen de manera sostenible y responsable.

El artículo 21 estableció de forma específica la dependencia gubernamental a cargo del control y la regulación de la gestión de aguas residuales, aunque sin especificar textualmente a las aguas residuales, mencionó a los recursos hídricos y los servicios públicos, categorías en las que se posicionan las aguas residuales. Al respecto, el artículo dijo en su párrafo segundo:

Agencia de Regulación y Control del Agua. La Agencia de Regulación y Control del Agua, ejercerá la regulación y control de la gestión integral e integrada de los recursos hídricos, de la cantidad y calidad de agua en sus fuentes y zonas de recarga, calidad de los servicios públicos relacionados al sector agua y en todos los usos, aprovechamientos y destinos del agua. (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014)

ARCA por sus siglas, es la agencia que menciona el artículo y con ello se le asignan labores intrínsecas como la elaboración de normativas y legislación, supervisión y monitoreo, licencias y permisos. Sanciones y multas, promoción de tecnologías limpias, educación y concienciación, coordinación interinstitucional y, por supuesto, investigación y desarrollo.

El artículo 37 incorporó todo el sistema de saneamiento en la definición propia del saneamiento al expresar:

El saneamiento ambiental en relación con el agua comprende las siguientes actividades:

1. Alcantarillado sanitario: recolección y conducción, tratamiento y disposición final de aguas residuales y derivados del proceso de depuración; y,
2. Alcantarillado pluvial: recolección, conducción y disposición final de aguas lluvia. El alcantarillado pluvial y el sanitario constituyen sistemas independientes sin interconexión posible, los gobiernos autónomos descentralizados municipales exigirán la implementación de estos sistemas en la infraestructura urbanística. (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014)

Este artículo fue de vital importancia para lograr tener una definición desde la perspectiva jurídica e incluir en un mismo conjunto a los distintos sistemas e infraestructuras que comprenden el saneamiento como tal.

El artículo 38, por su parte, realizó una exhortación a la autoridad del agua con respecto a una regulación prohibitiva para expedir permisos bajo las condiciones mencionadas:

Prohibición de autorización del uso o aprovechamiento de aguas residuales. La Autoridad Única del Agua no expedirá autorización de uso y aprovechamiento de aguas residuales en los casos que obstruyan, limiten o afecten la ejecución de proyectos de saneamiento público o cuando incumplan con los parámetros en la normativa para cada uso. (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014)

Según este artículo, el aprovechamiento de las aguas residuales en otros usos posibles tiene un orden de prioridad inferior sobre los proyectos de saneamiento cuando estos últimos se vieran afectados por dicho aprovechamiento de las aguas residuales. En pocas palabras, el aprovechamiento de estas aguas está sujeto legalmente a la previa autorización de la autoridad del agua, de la cual se espera que realizare los estudios adecuados para emitir una negación de aprovechamiento. Esto, considerando que existen usos para el agua residual que pudieren ser beneficiosos para la sociedad como el riego en el agro ecuatoriano luego de un proceso de tratamiento adecuado para el efecto de la agricultura.

El artículo 80 vio su gran importancia en la estipulación de un concepto en sus dos primeros párrafos y que está sujeto a medidas regulaciones por su posible afectación al delicado equilibrio ecológico de sistemas acuáticos. Este concepto son los vertidos y al respecto dijo:

Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental. (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua, 2014)

2.3.3 Anexo 1 de Calidad de Agua del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente

Esta norma, que tuvo como objetivo fundamental el control y la prevención de la contaminación ambiental relacionada con el agua, buscaba proteger la calidad del

agua para salvaguardar y preservar sus usos asignados, la integridad de las personas, los ecosistemas y sus interrelaciones, así como el ambiente en general. Las acciones para preservar, conservar o recuperar la calidad del agua deben realizarse conforme a lo establecido en esta norma. Por ello, fue importante conocer la sección 5.1.1 de este cuerpo normativo, mismo que declaró lo siguiente:

5.1.1 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico.

5.1.1.1 Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que es obtenida de cuerpos de agua, superficiales o subterráneas, y que luego de ser tratada será empleada por individuos o comunidades en actividades como:

a. Bebida y preparación de alimentos para consumo humano,

b. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios. (Ministerio de Ambiente, 2015)

2.3.3 Instituto Ecuatoriano de Normalización

Las normas INEN en Ecuador son estándares desarrollados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Estas normas abarcan una amplia variedad de sectores y temas, incluyendo la calidad del agua, la gestión de aguas residuales, la construcción, la manufactura, la seguridad alimentaria, entre otros.

Se lograron identificar dentro de lo que es la norma INEN 1986 algunos parámetros y criterios de diseños sanitarios que comprende al desarrollo eficiente del sistema de AASS. Además, es de suma importancia analizar los diferentes criterios y normativas de las demás entidades públicas para lograr un funcionamiento satisfactorio al servicio de la comunidad y profesionales.

5. DISPOSICIONES ESPECIFICAS

5.2.6 Zonas para diferentes obras de los sistemas:

5.2.6.2 Para la planta de tratamiento, estación de bombeo, tanque de almacenamiento, se hará el levantamiento de una zona cuya extensión esté de acuerdo con la magnitud de la obra. Dicho levantamiento podrá ser realizado con perfiles transversales, a estadía o según indicación de la SAPYSB. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986)

5.18 Manejo y disposición de lodos. La necesidad de reducir al mínimo el impacto ambiental negativo que causa una planta potabilizadora de agua en la cual no se realice la disposición adecuada del agua residual y los lodos que se generan en el proceso de tratamiento, se considera importante incluir dentro de las instalaciones de la misma, los procesos unitarios que permitan manejar de forma correcta, disponer sin causar contaminación, y si es del caso, recuperar las sustancias aprovechables de estos lodos. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1986)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de esta investigación se definió como de tipo mixto. Esto dada la naturaleza de las técnicas de investigación con las cuales se determinó realizar el estudio. En dicho sentido, la investigación contó con técnicas de tipo cualitativo y cuantitativo. La técnica cualitativa fue el **análisis documental** que se planificó para cumplir el primer objetivo específico. El segundo y tercer objetivo específico contaron con técnicas tales como **ensayos de calidad de agua** y **sondeo de proveedores** respectivamente.

Para Clauso (1993), el Análisis Documental es un conjunto de operaciones destinadas a representar el contenido y la forma de un documento para facilitar su consulta o recuperación, o para crear un producto que lo sustituya. Existen dos enfoques principales sobre su concepción. El primero considera que el análisis documental incluye varias fases, siendo la descripción bibliográfica una de ellas. Este enfoque distingue entre análisis formal (centrado en la forma del documento) y análisis de contenido (centrado en el contenido del documento).

Por otro lado, el segundo enfoque, sostiene que el análisis documental debe enfocarse exclusivamente en el análisis del contenido. Este análisis incluye operaciones como la indización y el resumen, con el objetivo de representar el documento de manera condensada y diferente a la original para facilitar su recuperación y consulta.

El Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente (MMA, 2004), explicó que la descripción y evaluación de la **calidad del agua** es una tarea compleja y controvertida debido a las diferentes metodologías y definiciones del concepto de calidad del agua. Esta puede entenderse desde diversos enfoques:

Funcional: Cuando se analiza la capacidad del agua para satisfacer los usos previstos.

Ambiental: Para garantizar las condiciones necesarias para mantener un ecosistema equilibrado y cumplir con ciertos objetivos de calidad ecológica, según la normativa vigente.

Características intrínsecas: Cuando se analizan propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

El texto propuso estudiar la calidad del agua en el país desde estos diferentes enfoques, integrándolos en una visión global.

Narvaez (s.f.), sostuvo que un sondeo de mercado es una herramienta de investigación que permite analizar un mercado para conocer el potencial de compra y los atributos del público objetivo de un producto o servicio. Esta herramienta estudia características del gasto y el poder adquisitivo del consumidor, así como el perfil y comportamiento de clientes potenciales. Sin embargo, puede también ser aplicado con fines presupuestarios y establecer montos económicos de referencia.

3.2 Alcance de la Investigación

El objeto de estudio, aunque poco implementado en el contexto ecuatoriano, se trató de un tipo de biorreactor aerobio del cual existen estudios previos, un desarrollo de producto como tal y se encuentra vigente en el mercado ecuatoriano. Por ello, la investigación se orientó hacia un **alcance descriptivo** en el cual el principio básico gestaba un análisis de características, así como la presentación descriptiva de sus ventajas como una técnica de depuración de aguas residuales.

Para Condori (2020), la investigación con alcance descriptivo se enfoca en conocer, identificar y describir las características de un fenómeno o situación en un contexto temporal y espacial específico. Concretamente, este tipo de alcance en una investigación responde a las siguientes preguntas: ¿Qué es?, ¿Cómo es?, ¿Dónde está?, ¿De qué está hecho?, ¿Cómo están sus partes?, ¿Cuántos? ante lo cual, según el autor, se puede determinar respectivamente que busca correlatos, identifica propiedades o características, localiza lugares, determina la composición del fenómeno, examina la configuración y determina cantidad e intensidad. Esta investigación permite una comprensión detallada del fenómeno bajo estudio, proporcionando información específica y contextualizada.

3.3 Técnica e Instrumentos para Obtener los Datos

3.3.1 Operacionalización de la Variable

El presente diseño de investigación se definió como de tipo no experimental al tener en cuenta que no se planificó manipular ninguna variable. Más bien, los objetivos fueron orientados al estudio y acopio de datos de tal forma que se puedan evidenciar las ideas y conceptos fundamentales que se definen para realizar un diseño conceptual. En ese sentido, uno de los conceptos más importantes dentro del tratamiento de aguas residuales y que constituyó la variable de investigación fue el de eficiencia, es decir, cuánto porcentaje de depuración y recuperación de las propiedades naturales del agua se obtiene de acuerdo con el tipo de tratamiento utilizado.

En base a lo planteado, la operacionalización de la variable fue la herramienta a través de la cual se pudo gestionar adecuadamente la asignación de las técnicas de investigación para recopilar los datos.

Tabla 11: Operacionalización de la variable.

Variable	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumento
Eficiencia	Capacidad esperada de depuración de agua residual con el mínimo de recursos	Tipo de tratamiento	- Beneficios y perjuicios de tratamiento aerobio	- Análisis documental
			- Calidad del agua	- Ensayos de calidad del agua
			- Costos	- Sondeo de mercado

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

3.3.2 Análisis Documental

El análisis documental fue una técnica cualitativa que se planteó para cumplir el primer objetivo específico y consistió en la búsqueda de trabajos investigativos que mostraran en sus resultados las ventajas y desventajas de sistemas de tratamiento de aguas residuales en el contexto de la provincia del Guayas. Para ello, se plantearon criterios de búsqueda de ambos tipos de sistema, tanto aerobio como anaerobio.

Posteriormente, se discriminó aquellos trabajos que estuvieran enclaustrados en el territorio de la provincia del Guayas. Luego, se procedió a realizar una división en los dos grupos de interés que fueron sistemas con reactores a base de oxígeno

ambiental o sin este. Una vez analizados los resultados, se presentaron en forma de cuadro comparativo.

Peña y Pirela (2007), realizaron una publicación en la que mostraron que el análisis documental es un tema complejo debido a que involucra la interacción entre documentos, sujetos y procesos, lo que genera una red de relaciones influenciadas por las características de cada componente. A pesar de su complejidad, el análisis documental es cada vez más valorado debido al aumento de la información y el uso masivo de las TIC, que han facilitado el manejo de grandes volúmenes de documentos.

Sin embargo, los procesos de análisis documental siguen dependiendo de la capacidad y método de los analistas de información, quienes deben descubrir la información implícita en los documentos. Se necesitan metodologías que permitan conocer lo esencial de los documentos en diversos formatos y áreas del conocimiento para impactar positivamente en el aprendizaje y formación integral de las personas.

3.3.3 Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio aportarán al conocimiento e interpretación de datos acerca del sistema MBBR en su accionar al agua residual. Para la obtención de estos datos se llevará a cabo un estudio de las muestras y posterior a ello, analizar sus DBO (demanda Bioquímica de oxígeno) y DQO (demanda de química oxígeno) con el fin de evaluar el desempeño que obtendrá la PTAR.

Figura 11: Examinación de una muestra de agua.



Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

3.3.4 Sondeo de Precios Referenciales

Con la finalidad de dar cumplimiento al objetivo número tres, se realizó un sondeo de costos para la implementación del sistema MBBR. Este sondeo fue ejecutado mediante el acceso público que se le otorga a la ciudadanía a proyectos de obra civil con presupuesto del Estado. Por ello, el sondeo consistió en analizar las necesidades institucionales con referencia al tratamiento de aguas residuales en el Sistema Nacional de Compras Públicas (SERCOP).

De forma genérica, las necesidades institucionales se suben al sistema SERCOP y con ello la ciudadanía tiene acceso al proceso de contratación en sus diferentes fases. Esto usualmente va acompañado de una serie de documentos de respaldo tanto jurídico como técnico y económico. Para el caso presente, la información que se sondeaba era la de tipo económico referida a la implementación de sistemas tratadores de aguas residuales. De forma específica, uno de los documentos que constituye el núcleo de la información económica del proyecto es la partida presupuestaria, la cual es una certificación oficial por parte del ente solicitante de la factibilidad, veracidad y legitimidad de los fondos destinados para suplir la necesidad institucional.

3.4 Población y Muestra

3.4.1 Población

El grupo o conjunto que fue designado como población fue aquella agrupación de afluentes a la ciudad de Milagro y particularmente lugares de alta actividad humana dentro de la circunscripción territorial de la ciudad de Milagro. Este conjunto fue designado como tal puesto que, la ciudad de Milagro forma parte de aquel conjunto universo para el cual se planificó proveer los datos de resultado y para el cual se prevé generalizar los datos de resultados.

Arias et al., (2016), definieron la población de estudio como un conjunto definido, limitado y accesible de casos que cumple con ciertos criterios predeterminados y sirve como base para la elección de la muestra. No se refiere exclusivamente a seres humanos, sino también a animales, muestras biológicas, expedientes, hospitales, objetos, familias, organizaciones, etc., siendo más adecuado en estos casos el término "universo de estudio". Es crucial especificar la población de estudio para poder generalizar o extrapolar los resultados obtenidos. Por ejemplo, en

un estudio sobre concentraciones séricas de IgE en niños menores de 2 años con alergia alimentaria, la población de estudio serían los pacientes pediátricos con alergia alimentaria atendidos en un hospital específico. La población o universo debe identificarse desde los objetivos del estudio, considerando aspectos clínicos, geográficos, sociales, económicos, entre otros.

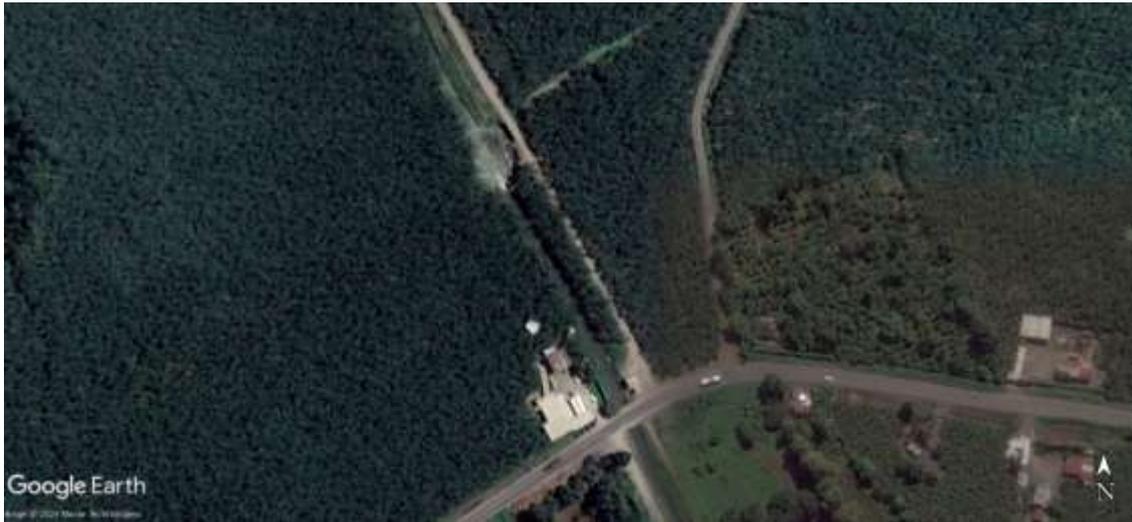
3.42 Muestra

El conjunto muestral por su parte fue constituido por las aguas una de las zonas agrícolas las cuales tienen efluentes a un canal común y de donde se ha podido detectar que se encuentra con contaminación presente. Este elemento fue definido gracias al muestreo por conveniencia que permite al investigador generar una muestra basado en su criterio y en muchas ocasiones por su capacidad de acceso. En este caso, las aguas residuales de este sector forman parte de los intereses de los investigadores ya que, conforman un área bastante importante para la ciudad en general.

Al respecto de la muestra, Arias et al., (2016), dijeron que en estudios exploratorios, el muestreo probabilístico puede ser demasiado costoso, por lo que se utilizan métodos no probabilísticos, a pesar de que no permiten generalizaciones debido a la falta de representatividad de la muestra. En estos casos, los sujetos se seleccionan siguiendo criterios específicos.

Prosiguieron que, el muestreo intencional o de conveniencia es un método no aleatorio que selecciona una muestra con características similares a la población objetivo. El investigador elige directamente a los individuos, a menudo aquellos a los que tiene fácil acceso, como sus propios alumnos o pacientes que acudieron en un periodo determinado. Este método es útil para explorar fenómenos en una población cuando no se define un tamaño muestral específico.

Figura 12: Zona geográfica que contiene las aguas del conjunto muestral.



Fuente: Google Earth, (2024)

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

CAPITULO IV
PROPUESTA O INFORME

4.1 Presentación y Análisis de Resultados

4.1.1 Resultados del Análisis Documental

De acuerdo a la matriz de búsqueda los trabajos investigativos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 12: Matriz de búsqueda.

Criterios de búsqueda	Autores	Año de publicación	Título
	Córdoba, D.	2019	Tratamiento de agua residual industrial de curtiembre por medio de la electrocoagulación
ventajas, tratamiento, agua residual	Campos, M. y Marchán, J.	2021	Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática
	Martínez, P.	2019	Caracterización y propuesta de tratamiento del agua residual doméstica de la localidad de Arcelia, Guerrero

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

En esta tabla se pudieron observar los autores más relevantes para tomar en cuenta de entre una lista de aproximadamente 23 investigaciones consultadas. El criterio que se utilizó para filtrar la relevancia de sus declaraciones estuvo sustentado por las ventajas que estos proponían de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Tabla 13: Primer documento “Tratamiento de agua residual industrial de curtiembre por medio de la electrocoagulación”.

Resultados de Córdoba, D. (2019)	
Ventajas	Desventajas
Menores costos operativos comparado con métodos convencionales.	Necesidad de reemplazar los electrodos de sacrificio.
Maquinaria sencilla, compacta y fácil de operar.	Lodos residuales pueden contener altos niveles de hierro y aluminio.
No requiere almacenamiento ni uso de productos químicos.	Puede ser costoso si la electricidad es cara en la región.
Genera menos lodos, con menor impacto ambiental.	Formación de oxígeno en el ánodo puede reducir la eficiencia al formar una capa que impide la transmisión de electricidad.
Produce flóculos grandes y efectivos en la remoción de contaminantes.	
Facilita la purificación y reciclaje del agua.	
La transmisión de corriente mejora la coagulación al excitar las partículas pequeñas.	
Reduce la contaminación en cuerpos de agua naturales.	
Resulta en agua con menos sólidos disueltos, reduciendo costos de tratamiento para reutilización.	
Puede producir agua potable, incolora e inodora.	
El arrastre por burbujas facilita la eliminación de contaminantes.	
Menor generación de sales y residuos.	

Fuente: Córdoba, (2019)

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Este autor fue enfático en características beneficiosa tanto económica como técnicamente. Se pudo evidenciar que el autor encontró mayores ventajas sobre las desventajas.

El siguiente autor puso su enfoque sobre un aspecto técnico muy importante dentro del contexto del tratamiento de aguas residuales el cual la eficiencia. De manera específica, el autor se centró en los materiales filtrantes y sus características más relevantes.

Tabla 14: Segundo documento “Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática” I.

N°	Tipo de nanomaterial/ Nombre	Tecnología	Tipo de agua residual	Eficiencia	Avances	Ventajas	Desventajas	País	Año
1	* (SWCNT's) * (MWCNT's)	*Filtros de SWCNT's y MWCNT's *Filtro electroquímico a base de MWCNT's *Nanopartículas metálicas	aguas residuales domésticas	75% y 97%	Recientemente, se ha reportado la funcionalización de nanotubos mediante plasma, mostrando ventajas en comparación con el tratamiento químico, ya que la superficie del nanotubo se modifica fácilmente	*Muestran una interesante combinación de propiedades debido a su estructura, las dimensiones, estabilidad química, mecánica y eléctrica. *Inactivación de microorganismos	*Poca dispersión, que dificulta la interacción con moléculas biológicas *Pobre solubilidad en agua y su toxicidad	México	2015
2	Nanotubos de carbono (CNT) y fluoruro de polivinilideno-co-hexafluoropropileno (Pch)	*Membranas de nanofibras por electro hilado	Aguas residuales de tefido	100%, 99,41% y 99,91%.	No menciona	*Alta permeabilidad y difícil humectación *Facilidad de los NTC para mezclarse con las nanofibras	No menciona	China	2021
3	Nano hojas de gC 3 N 4 y nanotubos de TiO2	Malla de nanotubos de TiO2 implantados con nano hojas de g-C3N4	Aguas residuales orgánicas refractarios	0.93	No menciona	Los productos de degradación formados son de baja toxicidad.	No hay muchos estudios en temas similares, ni del grado de toxicidad	China	2020

Fuente: Campos y Marchán, (2021)

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Tabla 15: Segundo documento “Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática” II.

4	nanotubos de carbono de paredes múltiples modificados con trietilentetramina (TETA)	Membranas de nanofiltración de cloruro de polivinilo (PVC)	aguas residuales colorantes	62,2% a 76,1%.	No menciona	*Permite el bloqueo de los poros de la membrana y reduciendo el flujo de colorantes * Mejora de la hidrofiliidad	El tiempo de filtración es lento.	Iran	2019
5	Nanotubos de Carbono	Absorbente	Aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas	No mención a	Para aplicaciones a gran escala, la producción continua de CNT a partir de fuentes de bajo costo ha dado un paso más para superar el problema del alto costo de síntesis.	Tiene mayor capacidad de adsorción hacia compuestos no polares como los hidrocarburos aromáticos policíclicos sirven como absorbentes, nanofiltros y agentes antimicrobianos	*El alto costo es el principal problema que bloquean la aplicación de CNT a mayor escala.	Malasia	2010
6	esqueletos de grafeno tridimensional es o nanomateriales basados en grafeno	Los adsorbentes porosos tridimensionales (3D)	Aguas residuales aceitosas	Alta	Microestructuras de espumas de grafeno 3D y espumas basadas en grafeno 3D y destaca su rendimiento de adsorción de aceites y disolventes orgánicos	Gran área de superficie, alta porosidad, baja densidad, alta estabilidad química / térmica y propiedades mecánicas estables, que permiten diferentes contaminantes para acceder fácilmente y difundir en redes 3D de adsorbentes.	No menciona	China	2021

Fuente: Campos y Marchán, (2021)

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Tabla 16: Segundo documento “Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática” III.

7	nanomateriales biogénicos	Adsorbentes	aguas potables y residuales	No mención a	*Nuevas tendencias que implican el desarrollo de adsorbentes y catalizadores a nano escala bioinspirados para la eliminación y degradación de una amplia gama de contaminantes del agua. Los carbohidratos, proteínas, polímeros, flavonoides, alcaloides y varios antioxidantes obtenidos de plantas, bacterias, hongos y algas han demostrado su eficacia como agentes de cobertura y estabilización durante la fabricación de nanomateriales.	Alta superficie y propiedades mecánicas, mayor reactividad química, menor costo y energía, regeneración eficiente para su reutilización	las rutas convencionales de síntesis de nanomateriales abarcan la participación de sustancias químicas peligrosas y volátiles	India	2019
8	nanomateriales de celulosa	adsorbente y membrana	aguas residuales	Es muy prometedor	No menciona	alta relación de aspecto, alta superficie específica, alta capacidad de retención, ampliamente disponible, se requiere bajo consumo de energía en la fabricación	Elevados costos de producción	Egipto	2019

Fuente: Campos y Marchán, (2021)

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Tabla 17: Segundo documento “Avances, Ventajas y Desventajas de los Nanomateriales en el Tratamiento de Aguas Residuales: Una Revisión Sistemática” IV.

9	Nanotubos de carbono	membranas nanocompuestas	Aguas residuales domésticas	80-90%	Otro material que se ha aplicado como relleno en membranas de nanocompuestos es el dióxido de titanio (TiO ₂)	*Extraordinarias propiedades eléctricas, mecánicas, térmicas y a su actividad antibacteriana parcial *los CNT pueden modificar las propiedades físico-químicas de las membranas, lo que fomenta su potencialidad para diversas aplicaciones	Poca resistencia al ensuciamiento, siendo este factor, el principal factor limitante en aplicaciones a gran escala	Republica Checa	2020
10	nanomateriales de celulosa	membranas para la filtración	aguas residuales industriales	Tienen gran potencia | sin explotar en las tecnologías de tratamiento de agua	No menciona	Tiene alta relación de superficie a volumen, bajo impacto ambiental, alta resistencia, funcionalidad y sostenibilidad	No es aplicable para gran escala	EE.UU	2015
11	nanocompuestos de grafeno C ₃ N ₄	Catalizadores híbridos	aguas residuales de antibióticos	Presenta un excelente rendimiento catalítico o tipo	Hasta la fecha, se han desarrollado numerosas estrategias como el dopaje con heteroátomos y la carga de algunos co-catalizadores para solucionar los inconvenientes intrínsecos	*El nitruro de carbono grafítico (g-C ₃ N ₄), es un nuevo material catalítico libre de metales y de luz visible, ha mostrado de la energía, el almacenamiento y la recuperación del medio	Se ha demostrado que el MnFe ₂ O ₄ solo, es foto catalítico inactivo	China	2017

Fuente: Campos y Marchán, (2021)

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Tabla 18: Tercer documento “Caracterización y propuesta de tratamiento del agua residual doméstica de la localidad de Arcelia, Guerrero”.

Resultados de Martínez, P. (2019)	
Ventajas	Desventajas
Efectividad en un amplio rango de pH y temperatura	Eficacia solo funciona en cierto intervalo de pH
La coagulación con este, es posible en rangos de pH muy bajos, además su flóculo es más pesado que el flóculo formado con sulfato de aluminio	Utilizan un eje metálico que descansa en rodamientos.
Aumentan el tamaño de los coágulos creando flóculos, permitiendo una sedimentación más rápida, sus costos son relativamente bajos y bajo ciertas condiciones pueden minimizar los recursos para la depuración del agua residual.	Las membranas tienen un tiempo de vida útil muy corto y son muy caras, además que requieren procesos de limpieza frecuentes.
Lleva a cabo en un solo tanque, el cual cuenta con dispositivos para proveer aeración, mezclado y sedimentación.	La puesta en marcha es delicada, debido al lento crecimiento de los microorganismos anaeróbicos.
La aireación se lleva a cabo por convección natural, es decir, mediante diferencia de temperaturas entre el ambiente interno y externo el aire fluye a través del empaque.	A largo plazo si se tienen que considerar los costos por la disposición de los lodos acumulados.
La alta calidad de agua que se obtiene (libre de sólidos suspendidos y de microorganismos)	
La producción de poco lodo y la generación de biogás que se puede reutilizar	

Fuente: Martínez, (2019)

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Este autor puso su enfoque en la presentación de las ventajas y desventajas desde una perspectiva más general y clásica sobre el tratamiento de aguas residuales. Tal como el primer autor consultado, logró encontrar más beneficios que perjuicios.

4.1.2 Resultados de los Ensayos de Calidad de Agua

Figura 13: Resultados de calidad de agua.



UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE MATEMATICAS Y FISICA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL



LABORATORIO DE SANTARIA

Fecha: 5-08-2024 INFORME N°: 1 – 12
 Hora: 11 am
 Muestra: Simple

IDENTIFICACIÓN DE LOS ANALISIS

- 1.- Muestra de agua Cruda
- 2.- Muestra Decantada
- 3.- Muestra Bioreator
- 4.- Muestra de Salida

Parámetros	Expresado como	1	2	3	4	TABLA # 12 (TULMA) Limite Permissible
pH	pH	8,69	8,61	8,5	8,5	5 – 9
Temperatura	°C	25	25	25	25	< 35 ° C
Conductividad	us-cm	414	416	404	429	No aplica
Solidos Totales Disueltos	mg/l	260	262	254	270	No aplica
Color	Pt - Co	350	310	360	80	Inapreciable en disolución de 1/20
Turbiedad	NTU	45	40	38	15	No aplica
Aluminio	mg/l	0,232	0,211	0,062	0,062	5
Sulfato	mg/l	46	38	23	23	1000
DQO	mg/l	173	165	42	25	250
DBO ₅	mg/l	103	95	24	15	100

Realizado por

JUDITH ARACELY
CHALEN MEDINA

Ing. Judith Chalen Medina MSc
 Reg.- Prof.- NO5-G-1166

Egr. Paco Sancan Chalen

Los métodos de analisis utilizados corresponden al STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 19 TH Edición 1995 DE LA AMERICA PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF).

Fuente: Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Guayaquil, (2024)

Los resultados de calidad de agua mostraron que la efectividad del tratamiento fue bastante alta dado que cada parámetro se encontró muy por debajo de los límites permitidos.

Una breve consulta de normas vigentes dio como resultado una tabla de límites permisibles para consumo humano de tal forma que fue posible comparar los resultados obtenidos.

Tabla 19: Límites permisibles según norma vigente.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, (2017)

4.1.3 Resultados del Sondeo de Precios Referenciales

Laboratorios acreditados bajo norma vigente para la realización de estudios de calidad de agua. Los resultados obtenidos de las cotizaciones de servicio de por ensayos se muestran a continuación:

Figura 14: ELICROM laboratorio de calidad de agua PARTE I.



OFERTA DE SERVICIO
COTIZACIÓN C-DD-0475-24

Guayaquil - **lunes, 08 de julio de 2024**
Razón Social: SANJAN CHALEN PACO JOSUE
Dirección: GUAYAS / DURAN / EL RECREO / CALLE PRIMARIA VILLA7 Y CALLE SECUNDARIA
RUC: 0928529502001
Atención: JOSUE SANJAN
Teléfono Celular: 0996178296
Email: JOSUESANJAN30@HOTMAIL.COM

A continuación tenemos el agrado de presentar la cotización solicitada, esperando que esta cumpla con sus expectativas

1. Descripción de la oferta

Nº	Locación/punto/muestra	Parametro	Cantidad	Precio	Total
1	Tipo matriz: AMBIENTAL Matriz: ANALISIS DE AGUAS 1. ANTES DEL TRATAMIENTO(1) 2. DESPUES DEL TRATAMIENTO(1) Especificaciones: AM #07-A	<p>Parámetro: DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO Documento de Referencia: "Standard Methods, 5210 B, 23rd 2017 HACH Method 8043, PEE EL 030" Descripción: Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días), por Electrometría, rango (0,37 - 14522) mg/l. Declaración de conformidad: Regla de Decisión (Ver 1 en Anexo 1) Acreditación: Acreditado ISO/IEC 17025:2017 SAE (ENSAYO) y A2LA (CHEMICAL) Precio: 24.9</p> <p>Parámetro: DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO Documento de Referencia: SM 5220 D, HACH 8000, PEE EL 026 Descripción: Determinación de Demanda Química de Oxígeno, por Espectrofotometría, rango (4 - 15015) mg/l. Declaración de conformidad: Regla de Decisión (Ver 1 en Anexo 1) Acreditación: Acreditado ISO/IEC 17025:2017 SAE (ENSAYO) y A2LA (CHEMICAL) Precio: 19.9</p> <p>Parámetro: HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO Documento de Referencia: EPA 8015D, EPA3510 C, EPA 8000 D, PEE EL 034. Descripción: Determinación de Hidrocarburos totales de Petróleo (TPHs C8 – C40), por Cromatografía de Gases (FID), rango (0,286 - 1163,881) mg/l. Declaración de conformidad: Regla de Decisión (Ver 1 en Anexo 1) Acreditación: Acreditado ISO/IEC 17025:2017 SAE (ENSAYO) y A2LA (CHEMICAL) Precio: 32.9</p> <p>Parámetro: TURBEDAD Documento de Referencia: SM 2130 B, Ed. 23 2017, PEE EL 024. Descripción: Determinación de Turbiedad, por Nefelometría, rango (0,7 - 753) NTU. Declaración de conformidad: Regla de Decisión (Ver 1 en Anexo 1) Acreditación: Acreditado ISO/IEC 17025:2017 SAE (ENSAYO) y A2LA (CHEMICAL) Precio: 6.9</p>	2	113.2	226.40

PO-PG-7-1-07 Rev. 02
 Sitio web: www.elicrom.com
 RUC: 093771594001
 Tipo de Contribuyente: Especial
 Dirección: Guayaquil, Guayaquil Mo. 21, Calle Ima, Solar 10, Frente Al Mol Del Sol
 Página 1 de 4

Fuente: Elicrom, (2024)

Figura 15: ELICROM laboratorio de calidad de agua PARTE II.

				
	<p>Parámetro: COLOR VERDADERO Documento de Referencia: SM 2120 C y HACH 8025, PEE EL 033 Descripción: Determinación de Color Verdadero, por Espectrofotometría, rango (6 - 450) unidades Pt-Co Declaración de conformidad: Regla de Decisión (Ver 1 en Anexo 1) Acreditación: Acreditado ISO/IEC 17025:2017 SAE (ENSAYO) y AZLA (CHEMICAL) Precio: 7.9</p> <p>Parámetro: HIERRO Documento de Referencia: SM 3111B, PEE EL 035 Descripción: Determinación de Hierro total, por Absorción Atómica de flama, rango (1,70 - 400,00) mg/l Declaración de conformidad: Regla de Decisión (Ver 1 en Anexo 1) Acreditación: Acreditado ISO/IEC 17025:2017 SAE (ENSAYO) y AZLA (CHEMICAL) Precio: 11.9</p> <p>Parámetro: PH Documento de Referencia: SM 4500 H+ B, NTE #NEN 2325, PEE EL 021 Descripción: Determinación de Potencial de Hidrógeno, por Electrometría, rango (2,01 - 12,50) pH Declaración de conformidad: Regla de Decisión (Ver 2 en Anexo 1) Acreditación: Acreditado ISO/IEC 17025:2017 SAE (ENSAYO) y AZLA (CHEMICAL) Precio: 4.9</p> <p>Parámetro: TEMPERATURA Documento de Referencia: SM 2550 B, PEE EL 022 Descripción: Determinación de Temperatura, por termometría, rango (-9,7 - 110,07) °C Declaración de conformidad: Regla de Decisión (Ver 1 en Anexo 1) Acreditación: Acreditado ISO/IEC 17025:2017 SAE (ENSAYO) y AZLA (CHEMICAL) Precio: 3.9</p>			
2	<p>Nombre: Digestión de la muestra Descripción: Digestión de la muestra Precio: 10.00</p>	1	10.00	10.00
3	<p>Gastos asociados para la realización de lo descrito en los ítems anteriores por concepto de (puede ser todo o parte de lo siguiente): logística, mensajería, alimentación, hospedaje, viáticos, ... Etc. Se ha calculado de acuerdo al tiempo, distancia, equipos y recursos necesarios, según categoría del servicio detallado al inicio de esta oferta.</p>			40.00
				<p>SUBTOTAL 276.40 IVA 15% 41.46 TOTAL 317.86</p>
<p>2.-Condición para realizar el servicio: Para la realización del servicio ofertado es necesario que se apruebe esta cotización vía mail. Si el cliente solicita que se realice verificaciones para comprobar el cumplimiento de equipo o monitoreo, este tendrá un costo adicional de 10 dólares por medición realizada.</p> <p>3.-Fecha de realización: Una vez que tengamos su aprobación y datos requeridos, el personal de la coordinación de logística y/o encargado se contactará con ustedes luego de su aprobación con un máximo de 3 días para definir la fecha del monitoreo.</p> <p>4.-Entrega de Informes y su Validez/Reconocimiento</p>				
<p>FD-PG 7-1-03 Rev. 02 Web: www.elicrom.com RUC: 2000215964001 Tipo de Contribuyente: Especial Dirección: Ciudadela Guayaquil Mz. 21, Calle 3era, Solar 10, Píedra Al Mar Del Sur Página 2 de 4</p>				

Fuente: Elicrom, (2024)

Resultó evidente que, si bien es cierto, Elicrom fue el laboratorio que mejor prestación económica ofreció. Su facilidad de acceso para los investigadores generó que se ponderaran otras opciones. Sumado a que el tiempo de entrega de los resultados era ligeramente más extendido.

Figura 16: Inge-estudios laboratorio de calidad de agua.

		COTIZACIÓN			2024-026	
RUC/C.I.: Sr. (es): Dirección: MILAGRO		RUC: 0992794879001 Validez de la oferta: 30 días Guayaquil, 11 de Julio del 2024				
SERVICIOS DE ANÁLISIS ¹						
PARÁMETRO	MÉTODO	PROCEDIMIENTO	PRECIO/ ANÁLISIS (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)	
TEMPERATURA IN SITU	Método electrométrico, basado en el Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 23th Edition 2550 B	PE 1.24	\$5,00	2	\$10,00	
DBO5**	Método de las diluciones 5210B Método de electrodo 4500-OD	PE 1.3	\$35,00	2	\$70,00	
DQO**	Método HACH 8000.	PE 1.4	\$35,00	2	\$70,00	
Color	ESPECTOFOMETRIA	PE 1.16	\$15,00	2	\$30,00	
HIDROCARBUROS TOTALES DE PETROLEO	EPA 8015D, EPA3510 C, EPA3550 C, EPA 8000 D	PEEEL034.	\$60,00	2	\$120,00	
pH**	Standard Methods for the examination of water and wastewater Edition 23Th, 4500-H+ Electrometric Method	PE 1.1	\$9,00	2	\$18,00	
HIERRO	ESPECTOFOMETRIA	PE 1.30	\$20,00	2	\$40	
OTROS SERVICIOS ²						
DESCRIPCIÓN			PRECIO POR VISITA (USD)	CANTIDAD	TOTAL (USD)	
Toma de muestra Compuesta y servicio de logística varios (envases, transporte y otros)			\$80,00	1	\$80,00	
				Subtotal	\$438,00	
				IVA 15%	\$65,70	
				Total	\$503,70	
Forma de Pago: Anticipo 50%						

Fuente: Inge-estudios, (2024)

En el caso de este proveedor, se consideró que la relación costo-beneficio estaba ligeramente desbalanceada dado que, la parte económica se encontraba por encima del promedio del mercado. Esto considerando la misma calidad y cualidad del trabajo a realizar.

Figura 17: Laboratorio de Sanitaria, Universidad de Guayaquil.

1.- PROFORMA DE LA CARACTERIZACION DE ANALISIS DE AGUA RESIDUALES

Ha pedido del Sr Sancan Chalen, solicita una proforma para la caracterización del agua de pozo.

Caracterización de análisis

Parámetros pH	Costo
	5
Temperatura	5
Color	5
Turbiedad	5
STD	5
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	10
Aluminio	10
DQO	10
DBO5	30
Subtotal	85 \$
X 4 muestras	340 \$
Total	340 \$

Atentamente

Formulario generado por
JUDITH ARACELY CHALEN MEDINA
002045
FONO: 2243480000
0032

Ing. Judith Chalen Medina MSc.
CeL.0984778594

Nota: Solo se cobran los reactivos la asesoría no está incluida

Fuente: Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Guayaquil, (2024)

El laboratorio de sanitaria de la Universidad de Guayaquil demostró tener las mejores condiciones tanto de accesibilidad como relación costo-beneficio. Además, el servicio de este laboratorio contó con una asesoría técnica sin costo dado que, al ser un laboratorio principalmente académico, existió un entendimiento del propósito de los ensayos más allá de una transacción comercial. Además, el tiempo de entrega de los resultados estuvo más acoplado a los plazos del desarrollo de la tesis.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para la evaluación del costo de tratamiento mediante documentos públicos por obras civiles en la rama sanitaria.

Figura 18: Certificación presupuestaria proyecto de construcción de PTAR para la ciudad de Loja.

Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Loja
DIRECCION ADMINISTRATIVA FINANCIERA
DISPONIBILIDAD PRESUPUESTARIA PLURIANUAL
Certificación Presupuestaria Plurianual

Fecha: **21/06/2017**

Nº:	3	Título:	Regeneración urbana
Descripción:	Construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Loja primera etapa.		

BENEFICIARIOS	
Beneficiario	Nombres
	En proceso de contratación

PARTIDAS PRESUPUESTARIAS				
Función	Programa	Partida	Denominación	Valor
3.99.01.004.001	Planta de tratamiento de aguas residuales	7.5.01.03.01.022	Planta de tratamiento de aguas residuales	18,544,952.47
3.99.01.009.001	Plan de manejo ambiental	7.5.01.99.01.056	Plan de manejo ambiental	51,498.34
TOTAL				18,606,450.81


JEFE DE PRESUPUESTO


DIRECTORA FINANCIERA



Fuente: Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Guayaquil, (2024)

Si bien es cierto, se trató de un proyecto de mayor envergadura. El presupuesto referencial aún se encuentra de los límites proporcionales de acuerdo con la población objetivo del tratamiento de aguas residuales.

Figura 19: Certificación presupuestaria proyecto de construcción de PTAR para un barrio de la ciudad de Machala.



EMP PUB.MUN. AGUA POTABLE ALCANTARILLADO DE MACHALA EP

DIRECCION ADMINISTRATIVA FINANCIERA

SIG-AME
Página 1 de 1

CERTIFICACION PRESUPUESTARIA

Certificación : 951	Estado : N
Fecha : martes, julio 10, 2018	Tipo : PROVEEDOR
Beneficiario : AGUAS MACHALA EP	
Identificación : 0760051840001	

Objeto de la Certificación :
 OFICIO No. EPMA-DT-0321-2018. PARA PROYECTO DE CONSTRUCCION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL BARRIO DE EL CISNE, PARROQUIA PUERTO BOLIVAR, CANTON MACHALA, PROVINCIA DE EL ORO

Función	Área	Partida	Denominación	Monto	IVA	CLASIF.
1.4.1	Tecnico	7.5.01.03	De Alcantarillado	1.314.445,70	157.733,48	Bi
Total Monto				1314445.70		

BASE IMPONIBLE :	1.314.445.70
TOTAL IVA :	157.733.48
TOTAL :	1.472.179.18

CERTIFICO :

JEFE DE PRESUPUESTO

VISTO BUENO :



DIRECTOR FINANCIERO

*Recibido
13/Julio/2018
10:00*



10/07/2018 18:48:29

Elaborado : Montero Cabrera Caria Mariana

Fuente: Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Guayaquil, (2024)

El presupuesto referencial, basado en la experiencia de los investigadores, se acercó bastante al promedio natural de este tipo de proyectos. Se consideró la cantidad de pobladores para los cuales estaba destinado el diseño.

4.1.4 Análisis de Resultados

4.1.4.1 Análisis Documental.

El tratamiento de aguas residuales mediante Biofilm de Lecho Móvil (MBBR) ofreció varias ventajas en comparación con los sistemas de tratamiento convencional, según los autores consultados. Existe una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes y también una mayor capacidad de tratamiento puesto que, el sistema MBBR tiene una mayor capacidad para eliminar materia orgánica (DBO, DQO) y nutrientes (nitrógeno y fósforo) debido a la alta superficie específica de los portadores que sustentan una mayor cantidad de biomasa en comparación con los sistemas de lodos activados convencionales.

Se encontró que el sistema MBBR provee un mejor rendimiento en cargas variables, es decir, el MBBR es más resistente a las fluctuaciones de carga y condiciones operativas adversas, lo que lo hace más robusto y eficiente en diferentes escenarios de operación. además, requiere de menor espacio por su diseño compacto. Los reactores MBBR suelen ser más compactos que los tanques de lodos activados, lo que permite un ahorro significativo de espacio y esto es particularmente beneficioso en áreas urbanas o plantas existentes con limitaciones de espacio.

También se evidenció una menor producción de lodos debido a la alta eficiencia en la utilización de la biomasa adherida a los portadores, se genera menos lodo secundario en comparación con los sistemas de lodos activados, reduciendo los costos asociados con el manejo y disposición de lodos. Por ello, tiene una menor necesidad de mantenimiento lo cual genera que su operación y mantenimiento sean simplificados ya que, no requiere recirculación de lodos y no hay problemas de sedimentación, lo que facilita la operación diaria.

No requiere recirculación de biomasa dado que, la biomasa se adhiere a los portadores, eliminando la necesidad de sistemas complejos de recirculación de lodos, como en los sistemas de lodos activados. Esto lo hace especialmente ventajoso por la flexibilidad y facilidad de ampliación que ofrece, es decir, puede integrarse fácilmente en plantas de tratamiento existentes para mejorar su rendimiento o ampliarse simplemente añadiendo más portadores, lo que proporciona una solución flexible para la actualización de infraestructuras de tratamiento de aguas residuales.

Algo enorme importancia fue que el sistema MBBR ofrece una mayor estabilidad del proceso de microbiológico. La biomasa adherida es más estable frente a cambios en la calidad del agua, lo que resulta en una operación más consistente y predecible.

4.1.4.2 Ensayos de Calidad de Agua.

El núcleo de este análisis giró en torno al parámetro indicador sobre el cual se concentró la presente investigación para medir el grado de efectividad del sistema MBBR. En dicho sentido, los ensayos mostraron que la DBO y la DQO, las cuales son los estadísticos asociados al parámetro de oxígeno disuelto, tuvieron un resultado satisfactorio puesto que, de los límites permisibles marcados en el ensayo, para la DQO mostró un índice del 10% del límite establecido. Por su parte, la DBO mostró un índice del 15% por debajo del límite establecido.

Estos resultados fueron alentadores considerando que, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es un estadístico que se utiliza para medir la cantidad de oxígeno disuelto que los microorganismos necesitan para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual. Es un indicador clave de la calidad del agua y del grado de contaminación orgánica. Sin embargo, en términos más sencillos, la DBO se utiliza para evaluar la cantidad de materia orgánica biodegradable en el agua. Cuanto mayor sea la DBO, mayor será la cantidad de materia orgánica presente, lo que generalmente indica un mayor nivel de contaminación.

Por otra parte, la DQO indica la cantidad de oxígeno que sería necesaria para oxidar químicamente toda esa materia orgánica. Proporciona una medida del contenido total de materia orgánica en el agua, que incluye tanto la materia orgánica que puede ser degradada biológicamente como la que no puede serlo.

Fue importante tener en cuenta estos conceptos para comprender el grado de depuración que tuvo el agua residual al obtener un valor tan por debajo del límite permitido.

4.1.4.3 Sondeo de Precios Referenciales.

Para el caso de los ensayos de calidad de agua, si bien es cierto que no se eligió la opción más económica, la alternativa de laboratorio escogida tuvo un balance muy satisfactorio entre precio y accesibilidad. Esto debido a la ubicación y la facilidad de traslado de las muestras.

Por otro lado, las certificaciones presupuestarias de los proyectos constructivos de PTAR dejaron en evidencia un principio que tiene su origen en la técnica del área sanitaria. Para poblaciones mayores como la de la ciudad de Loja la infraestructura sanitaria requiere mayor robustez y, adicionalmente, dimensiones físicas de espacio mucho mayores para albergar contenedores y estructuras hidráulicas de mayor capacidad considerando un afluente mucho mayor que para un barrio como el citado en la certificación presupuestaria de la ciudad de Machala. Sin embargo, existe una proporcionalidad en los precios referenciales y esto pudo interpretarse como una estructuración financiera por módulos, es decir, cada cierto nivel de aumento de población existe un aumento proporcional en el costo de proyecto.

4.2 Propuesta

La propuesta estuvo basada en la provisión a manera de un servicio prestado bajo remuneración económica de los cálculos para que se puedan realizar modelos físicos reducidos de un tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio o planta piloto. Esto fue una excelente manera de evaluar la viabilidad y eficiencia de un sistema antes de su implementación a gran escala. Para ello, fueron necesarias las siguientes consideraciones:

4.2.1 Definición de Objetivos del Tratamiento

Se necesita primero identificar el tipo de aguas residuales a tratar ya sean estas domésticas, industriales o agrícolas, etc. Luego, se determinan los parámetros de calidad, es decir, se determina los parámetros de calidad del agua que se necesitan cumplir, como la reducción de DBO, DQO, sólidos suspendidos, nutrientes como nitrógeno y fósforo y otros contaminantes específicos. Posteriormente, se define el tamaño del sistema a escala, que puede variar según el volumen de agua que se desea tratar en el laboratorio o planta piloto.

4.2.2 Selección del Sistema de Tratamiento

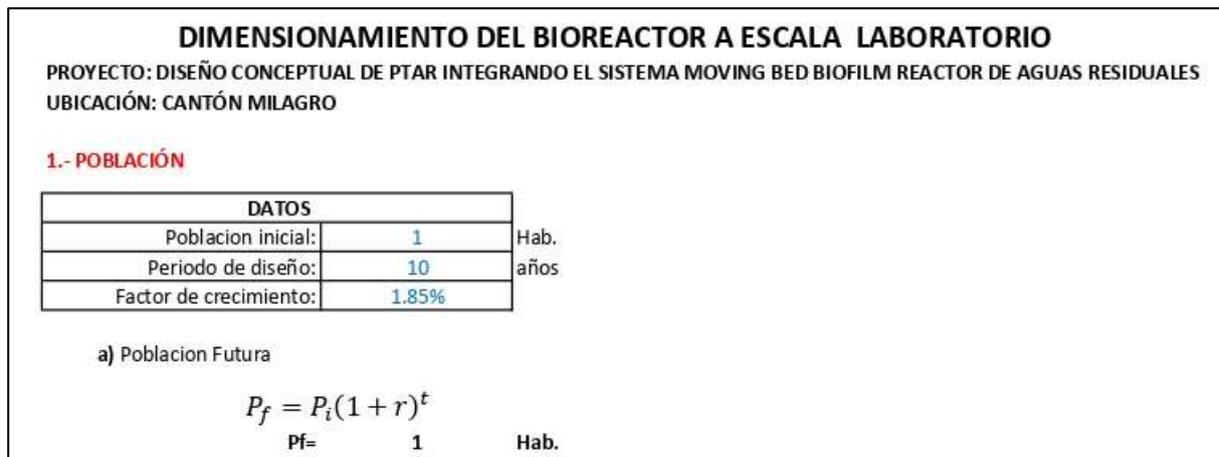
Se definen los tipos de tratamiento necesarios como, por ejemplo, en el tratamiento primario se diseña un tanque de sedimentación primario para remover sólidos grandes y aceites. Se puede usar un tanque cilíndrico o rectangular con una relación adecuada entre el tiempo de retención y el caudal. Por ejemplo, un tanque

de 10 litros con un tiempo de retención de 1-2 horas podría ser adecuado para una escala de laboratorio.

En el tratamiento secundario se implementa un reactor aeróbico de lodos activados, que incluye un tanque de aireación y un clarificador secundario. Se usaría un compresor de aire o difusores de burbuja fina para mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto. También sería necesario diseñar un sistema para recircular los lodos desde el clarificador al tanque de aireación, manteniendo una relación F/M adecuada. En este caso, un tanque de 5 a 10 litros con un tiempo de retención hidráulico de 4-8 horas puede ser suficiente a escala de laboratorio.

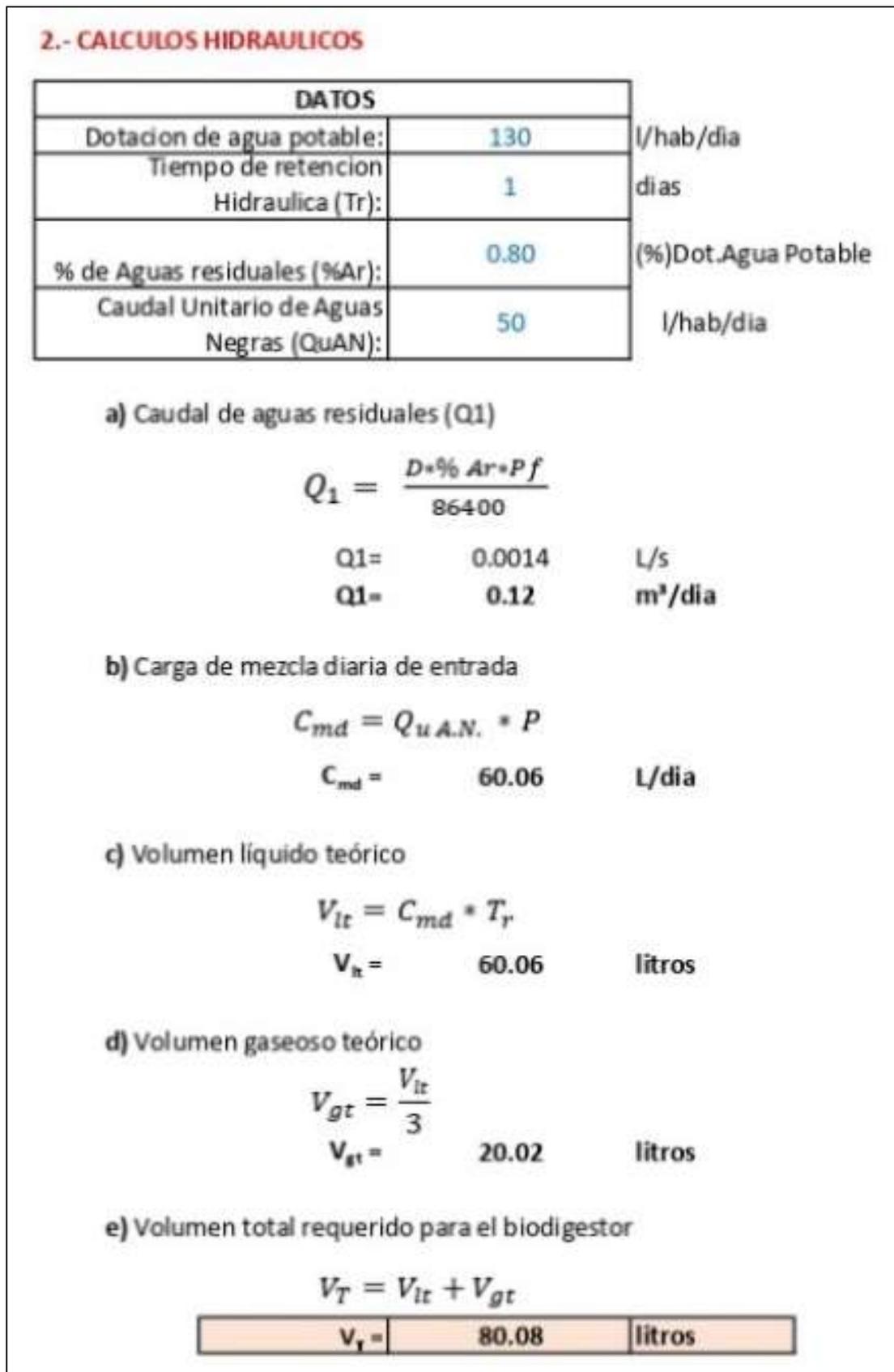
Por otra parte, de ser requerido un tratamiento terciario se debe pensar primero en la filtración. Se instala un filtro de arena o carbón activado para la remoción adicional de sólidos suspendidos y contaminantes disueltos. Posteriormente, la desinfección en donde se considera un sistema de desinfección UV o dosificación de cloro para asegurar la eliminación de patógenos.

Figura 20: Dimensionamiento del biorreactor – Parte I.



Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Figura 21: Dimensionamiento del biorreactor – Parte II.



Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Figura 22: Dimensionamiento del biorreactor – Parte III.

3.- DIMENSIONAMIENTO DEL BIOREACTOR

Capacidad del tanque (V_T): 80.08 litros

a) Volumen líquido
 $V_l = 75\% V_T$
V_l = 60.0593099 litros

b) Volumen gaseoso
 $V_g = 25\% V_T$
V_g = 20.01976997 litros

b) Tiempo de retención hidráulico
$$T_r = \frac{V_l}{C_{md}}$$

T_r = 1.0 días
$$T_r > T_{r\ min}$$

1 > 1

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Figura 23: Dosificación del biodigestor INDIGO-parte 1.

Dosificación de producto bioquímico "biodigestor INDIGO"

PROYECTO: DISEÑO CONCEPTUAL DE PTAR INTEGRANDO EL SISTEMA MOVING BED BIOFILM REACTOR DE AGUAS RESIDUALES
UBICACIÓN: MILAGRO

DATOS	
Litros de INDIGO:	1 L
Litros de Agua:	80 L
m ³ RECOMENDACIÓN:	20 m ³
m ³ material a descomponer:	0.08 m ³

a) Dosificación a usar

$$X = \frac{m^3 \text{ material a descomponer} \cdot \text{Litros de INDIGO}}{m^3 \text{ RECOMENDACIÓN}}$$

X= 0.004 L
X= 4.000 mL

Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

Figura 24: Dosificación del biodigestor INDIGO-parte 2.



Elaborado por: Barzola y Sancán, (2024)

CONCLUSIONES

- Con respecto al cumplimiento del objetivo específico número uno, se logró identificar las ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, particularmente en la región del Guayas, a través de la consulta exhaustiva (aproximadamente 23 autores) de textos en el área temática. Para ello, fue muy importante comprender las características y el funcionamiento de cada sistema, así como considerar las condiciones locales y los tipos de aguas residuales que se tratarían. Esto fue particularmente útil a la consecución del objetivo general dado que para justificar el reemplazo de sistemas existentes normalmente se requiere una base fundamentada en las ventajas que un nuevo sistema pueda proveer. Adicionalmente, se requiere también conocer las desventajas para contextualizar el cambio requerido.
- Para el segundo objetivo específico, se pudo concretar el análisis de la calidad del agua residual utilizando la escala controlada de laboratorios, la cual fue un enfoque valioso para evaluar la eficacia del proceso antes de su implementación a gran escala. Esto justificó la base de proveedores consultados para el efecto. La utilidad de los ensayos radicó en su naturaleza cuantitativa puesto que, los datos de resultados permitieron generar observaciones objetivas sobre el grado de calidad que se logró otorgar al agua residual, lo cual constituye la base de los propósitos de diseño de PTARs.
- Para el tercer objetivo específico se logró evaluar el costo del tratamiento de agua residual a través de un análisis que implicó la búsqueda detallada de varios factores económicos y operativos. Mismos que fueron encontrados en los proyectos de información de acceso público en el Sistema Nacional de Compras Públicas. Esto aportó significativamente a consolidar una base presupuestaria para tomar en cuenta al momento de diseñar una PTAR de acuerdo con los requerimientos de las condiciones físicas del lugar de emplazamiento y la población objetivo del tratamiento de sus aguas residuales.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda obtener una base de datos de precios de sistemas de tratamiento actualizadas. Sobre todos de los componentes individuales como los reactores aerobios o anaerobios.
- Es recomendable realizar modelos físicos reducidos para dotar a los laboratorios hidráulicos de las universidades de sistemas de tratamiento de aguas residuales a una escala minimalista, pero guardando las proporciones adecuadas.
- Se recomienda implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales en escalas reducidas en sectores agrícolas para la reutilización y recirculación del agua; y su posterior aprovechamiento.
- Se recomiendan realizar ensayos de calidad de agua en el Laboratorio de Sanitaria de la Universidad de Guayaquil dado que, la centralidad de su ubicación brinda facilidades de acceso, el tiempo de obtención de resultados es mucho menor y el costo está balanceado frente a los existentes en el mercado.
- Se recomienda la generación de estudios para el aprovechamiento del efluente depurado de ser el caso que se implementen sistemas MBBR en el sector agrícola objeto de estudio de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Achuri Vargas, S., y Bustos Castro, S. M. (2021). *Propuesta de un diseño de un sistema individual de tratamiento de agua residual doméstica para una unidad habitacional de la zona rural en Colombia*. Lumieres - Repositorio Institucional Universidad de América: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8438>
- Aguilar Moreno, J. A. (2020). *Tratamiento de aguas residuales con el uso de microalgas*. Universidad Científica: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1417>
- Alfárez Rivas, L. E., y Nieves Pimiento, N. (2019). *Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR): Impacto ambiental esperado e impacto ambiental provocado*. Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9104802>
- Ancalle Espeza, C., y Ledesma Giraldez, W. (2020). *Caracterización de las aguas residuales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yauli - Huancavelica*. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Huancavelica: <https://repositorio.unh.edu.pe/items/f6029b85-d92b-4a6a-bcbc-eea124aea4c9>
- Arciniega Tenemaza, A. E., y Salazar Chacha, J. P. (2021). *Diseño de la planta de tratamiento de agua residual mediante lodos activados para la Comunidad de Pesillo, parroquia Olmedo*. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19898>
- Arias Gómez, J., Villasís Keever, A., y Miranda Novales, M. G. (2016). *El protocolo de investigación III: la población de estudio*. <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755023011.pdf>
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitucion de la República del Ecuador*. Montecristi. https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Bastidas Chávez, P. I., Malacatus Cobos, P. N., y Chuquitarco Moreno, P. A. (2019). *Análisis químico y de peligrosidad de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria de palma*. SciELO: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2602-84842019000200030&script=sci_arttext

- Carril Flores , A. O., Gómez García, Y. J., y Vásquez Mendoza, H. (2020). *Efecto coagulante - floculante del cladodio de tuna (Opuntia ficus indica) y del endospermo de Moringa (Moringa oleífera lam) en el tratamiento primario de aguas residuales domésticas de la PTAR del Sector 9, Distrito de Manantay 2018*. Repositorio Institucional - Universidad Nacional de Ucayali: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4605>
- Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Medio Ambiente. (2004). *Libro blanco del agua*.
- Clauso García, A. (1993). *Análisis documental: el análisis formal*. CORE: <https://core.ac.uk/download/pdf/38822611.pdf>
- Condori Ojeda, P. (2020). *Niveles de investigación*. Academia: <https://www.aacademica.org/cporfirio/17.pdf>
- Coral Jamanca, J. C. (2023). *Repositorio de Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5779>
- Córdova Mendoza, P., Barrios Mendoza, T. O., Córdova Barrios, I. C., y Calderón Huamaní, D. F. (2021). *La recirculación del agua residual industrial en el costo de reúso del proceso*. SciELO: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2664-09022021000300172&script=sci_arttext
- Ferro Rodríguez, D. E., Castiblanco Rocha, J. C., Agudelo Valencia, R. N., y Ruíz Martínez, L. E. (2021). *Evaluación de un sistema de centrifugación para el secado de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales en la curtiembre El Escorpión del municipio de Villapinzón, Cundinamarca*. Revista Vínculos: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/vinculos/article/view/15188>
- Galvez Rojas, L. A. (2024). *Análisis comparativo del costo de inversión de Ptar en Perú*. Repositorio de Tesis USAT: <https://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/7149>
- García Ortiz, J. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la variación de oxígeno disuelto, temperatura, y remoción de sólidos suspendidos totales, en Celendín - Cajamarca*. DSpace Universidad Nacional de Cajamarca: <http://190.116.36.86/handle/20.500.14074/3378>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (20 de mayo de 1986). *NTE INEN*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://inmobiliariadja.files.word

press.com/2016/09/normas_disec3b1o_cpe_inen_5_parte_9-1_1992-mas-de-1000-hab.pdf

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Uso y Aprovechamiento del Agua. (06 de Agosto de 2014). *regulacion agua. regulacion agua*: <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>

Martínez Orgániz, A., Garza Ramos, U., Sampedro Rosas, M., González González, J., Nava Faustino, G., y Toribio Jiménez, J. (2020). *Patotipos y resistencia a antibióticos de Escherichia coli en agua residual*. SciELO: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992020000400957&script=sci_arttext

Mayta Ccapa, T. P., Quispe Yucra, R. G., y Tito Luque, A. F. (2023). *Diseño experimental del tratamiento secundario con tecnología MBBR para aguas residuales provenientes del camal Municipal de Cotahuasi - La Unión - Arequipa 2022*. Repositorio Institucional Continental: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/13873>

Meneses Barroso, Y. M., Patiño Mantilla, P. A., y Betancour, J. F. (2019). *Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de spirulina SP, sedimentación primaria y precipitación química*. Revista de Investigación Agraria y Ambiental: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/2326>

Narvaez, M. (s.f.). *¿Qué es un sondeo de mercado?* QuestionPro: <https://www.questionpro.com/blog/es/que-es-un-sondeo-de-mercado/>

Osorio Rivera, M. A., Carrillo Barahona, W. E., Negrete Costales, J. H., Llor Lalvay, X. A., y Riera Guachichullca, E. J. (2021). *La calidad de las aguas residuales domésticas*. Dialnet: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>

Peña Vera, T., y Pirela Morillo, J. (2007). *La complejidad del análisis documental*. SciELO: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-17402007000100004&script=sci_arttext

Pilamunga Hurtado, W. J., y Toro Apolo, E. C. (2024). *Evaluación de la incidencia del oxígeno disuelto en la concentración de nutrientes en el río Pachanlica de la*

- provincia de Tungurahua. DSpace ESPOCH:
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22177>
- Reyes Araujo, W. (JUNIO de 2020). *Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del Sistema MBBR - Caylloma - Aquafil*. Repositorio Institucional - UNMSM:
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/18047>
- Ríos Garay, J. G., y Cisneros Pariona, L. Z. (2019). *Eficiencia de un Biodigestor en el Tratamiento de Agua Residual Domestica a nivel familiar en la Asociación "los Víquez" Carapongo - Lurigancho Chosica-Lima*. Repositorio de Tesis - Universidad Peruana Unión:
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1815>
- Rodríguez Narváez, D. L. (2020). *Evaluación de la toxicidad residual en el tratamiento de contaminantes emergentes presentes en aguas residuales y si posible impacto en los ecosistemas*. Pontificia Universidad Javeriana de Bogotá:
<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/52063>
- Sánchez Sánchez , J. A. (Octubre de 2022). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la reutilización del agua para reducir su consumo en Servientrega S.A.* Repositorio de Universidad de Guayaquil:
<http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/64585>
- Torres. (2020). *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*.
<http://hdl.handle.net/20.500.12013/2249>
- Vela Huaman , F., Revoredo Cornejo, J. A., y Manco Cueva, O. E. (2023). *Repositorio Universidad del Callao*. <https://hdl.handle.net/20.500.12952/7890>
- Vela, R. y. (2023).
- Zúñiga, M. G., Izurieta, C., y Arellano, A. (2023). *Análisis comparativo entre los consumos de agua potable históricos y los de la Pandemia COVID-19 en Ecuador*. SciELO: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2631-26542023000200046&script=sci_arttext

ANEXOS

ANEXO 1



ANEXO 2



ANEXO 3



ANEXO 4



ANEXO 5



ANEXO 6



ANEXO 7



ANEXO 8



ANEXO 9



ANEXO 10



ANEXO 11



ANEXO 12



ANEXO 13



ANEXO 14



ANEXO 15



ANEXO 16



ANEXO 17



ANEXO 18



ANEXO 19



ANEXO 20



ANEXO 21



ANEXO 22



ANEXO 23



ANEXO 24



ANEXO 25



ANEXO 26

