



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

UNIDAD DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Proyecto de Investigación previa la
obtención del Grado Académico de
Magíster en Gestión Ambiental.

TEMA

DEPURACIÓN BIOLÓGICA Y SU EFECTO EN LA DESCONTAMINACIÓN DE
LAS AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS EN LAS PISCINAS DE
OXIDACIÓN DEL CANTÓN PEDRO CARBO, AÑO 2017.

AUTORA

ING. EUFELIA MARGARITA VÁSQUEZ SEGURA

DIRECTORA

ING. EMMA TORRES NAVARRETE MSc.

QUEVEDO – ECUADOR

2018

CERTIFICACIÓN DE LA TUTORA DE INVESTIGACIÓN

En mi calidad de Tutora del Trabajo de Titulación para obtener el título del Grado Académico de Magíster en Gestión Ambiental de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Certifico que: He dirigido y revisado el trabajo de titulación presentado por la **Ing. Agro. Margarita Vásquez Segura**, con C.I. **0915540421**.

Cuyo tema del trabajo de titulación es **“Depuración Biológica y su efecto en la descontaminación de las aguas residuales descargadas en las piscinas de oxidación del cantón Pedro Carbo”**.

Revisado, corregido, y aprobado en su totalidad, lo certifico:

Ing. Emma Torres Navarrete. MSc.
DIRECTORA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Bajo la solemnidad del juramento, declaro que las investigaciones, resultados, conclusiones y recomendaciones del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor y la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Eufelia Margarita Vásquez Segura

Teléf.: 042706345-0999511880

emargarita.vasquez@gmail.com

DEDICATORIA

A:

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi Sr. Padre, José Alcides Vásquez Parrales (+), quien desde el cielo es mi protector y guía para alcanzar mis metas propuestas.

A mi amada madre, Delicia Segura Candelario, por su amor incondicional, su paciencia, sus valores, sus sabios consejos.

A mis adoradas hijas Melissa Merchán Vásquez y Nicole Espinoza Vásquez, quienes son mi fortaleza, fuente de inspiración y motivación para seguir adelante; y, con todo mi amor la dedicatoria en especial para mi nieto Maykel Aguilar Merchán, a quien le deseo que en el futuro pueda llegar tan lejos como se lo proponga.

A mis hermanos: Nury María, José Alejandro, Carlos Julio, Franklin Luis, Patricia Juliana y Alexander Antony Vásquez Segura, con quienes he compartido todas las etapas de mi vida y como muestra de manifiesto de siempre continuar la lucha para conseguir lo que se quiere.

A todos mis compañeros y amigos quienes estuvieron apoyándome para hacer de este sueño realidad.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al ser supremo “DIOS” por las bendiciones y oportunidades que me da cada día y por las experiencias vividas dentro de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, misma que me abrió sus puertas para continuar con esta profesión que me apasiona, gracias a cada facilitador que fue parte de este proceso de formación, quienes permitieron expandir sus conocimientos para el cumplimiento de nuestras expectativas.

Mis agradecimientos a mi Asesora de investigación Ing. Emma Torres Navarrete MsC. Por proporcionarme sus conocimientos científicos, por ser guía incondicional durante todo el desarrollo de investigación.

Mi eterna gratitud al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Pedro Carbo, Sr. Alcalde Ing. Ignacio Figueroa Gonzales, periodo 2014 - 2019, por creer en mí y en mi capacidad de realizar el estudio en uno de los espacios municipales, a mis compañeros de labores que gracias a su apoyo y colaboración logre cumplir con esta meta.

Finalmente me complace agradecer a mis compañeros maestrantes, ya que gracias a su amistad y apoyo moral aportaron en un alto porcentaje a mis ganas a seguir adelante en mi maestría.

A tod@s muchas gracias.

PRÓLOGO

En el presente trabajo de Titulación denominado “Depuración Biológica y su efecto en la descontaminación de las Aguas Residuales descargadas en las piscinas de oxidación del cantón Pedro Carbo, se estudia y analiza la calidad del agua que llega a las lagunas de oxidación mediante los análisis físicos y químicos, los cuales indican los porcentajes y resultados de cada muestra de agua, aplicando métodos de depuración con viabilidad técnica, económica y ambiental. El estudio está dividido en cinco capítulos: el primero consta de la problemática y antecedentes de la investigación en base a la descarga de las aguas residuales hacia las lagunas de oxidación y los efectos al medio ambiente, en el segundo capítulo es una revisión bibliográfica sobre los conceptos y teorías referente al tema de investigación, para el tercer capítulo se describe el tipo, método y objeto de la investigación, la recolección de la información y el desarrollo del análisis estadístico, en el cuarto capítulo se aprecia los resultados y discusión del proceso de tratamiento biológico mediante evaluación en base al diseño completamente al azar con el uso de tres especies de plantas acuáticas: Lenteja de agua (*Lemna minor*), Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y el Helecho de agua (*Azolla Lam*), obteniendo el análisis de varianza, corroborando la inexistencia de diferencia significativa entre los tres tratamientos aplicados y que con la aplicación del tratamiento biológico con la Lenteja de agua (*Lemna minor*) se notó una importante reducción del contenido de DBO5, DQO y Cloruros. En el quinto y último capítulo se detalla las conclusiones y recomendaciones del autor del proyecto investigativo que deben ser considerados para que estas alternativas de biorremediación sean mayormente promovidas al mínimo la generación de aguas servidas altamente contaminantes, con lo cual se promovería el ahorro de

costos de tratamiento.

Esta investigación contiene en la parte final una lista bibliográfica de los libros y artículos utilizados, un anexo documental de imágenes y reportes de análisis de laboratorio acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriana, como medio de verificación del proyecto realizado.

Ing. Freddy Sánchez Villacrés

Director de Gestión de Planificación y Proyectos

GAD Municipal del cantón Pedro Carbo

RESUMEN

El estudio tuvo como finalidad evaluar los efectos de tres tratamientos biológicos (plantas acuáticas) en la descontaminación de aguas residuales descargadas en las piscinas de oxidación, del cantón Pedro Carbo en la provincia del Guayas-Ecuador. En una primera fase se estudiaron las aguas residuales mediante análisis físico-químico de muestras tomadas en las piscinas de oxidación y como segunda fase se determinó el efecto biorremediador en el agua residual (AR) de tres plantas acuáticas en un estudio experimental con tres tratamientos (*Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Azolla Lam*), un testigo y tres repeticiones, bajo un DCA, realizando dos monitoreos, y analizando 34 parámetros, entre los principales: pH, T°, Conductividad Eléctrica, DBO, DQO, Fósforo Total, Nitritos, Nitratos, Amoniacó. Los resultados indican que no hubo diferencias significativas entre los tres tratamientos evaluados, pero de acuerdo al programa estadístico utilizado (Infostat) hubo mayor porcentaje de reducción de contenidos en las variables DBO5, DQO y Cloruros por el tratamiento aplicado con la *Lemna minor*, más aún considerando que esta especie recientemente ha tomado una gran relevancia a nivel global en la descontaminación de efluentes residuales. Se recomienda verificar constantemente que los parámetros de calidad estén en el máximo permitido por la normativa ambiental y valorar los beneficios ambientales y económicos producidos por el uso de agentes biológicos.

Palabras claves: plantas acuáticas, laguna de oxidación, descontaminación.

ABSTRACT

The purpose of the study was to evaluate the effects of three biological treatments (aquatic plants) on the decontamination of wastewater discharged into the oxidation pools of the Pedro Carbo canton in the province of Guayas-Ecuador. In a first phase wastewater was studied by physical-chemical analysis of samples taken in the oxidation pools and as a second phase the bioremediation effect in the wastewater (RA) of three aquatic plants was determined in an experimental study with three treatments (Lemna minor, Eichhornia crassipes and Azolla Lam), one witness and three repetitions, under one DCA, performing two monitoring, and analyzing 34 parameters, among the main ones: pH, T °, Electric Conductivity, BOD, COD, Total Phosphorus, Nitrites, Nitrates, Ammonia. The results indicate that there were no significant differences between the three treatments evaluated, but according to the statistical program used (Infostat) there was a higher percentage of content reduction in the variables BOD5, COD and Chlorides by the treatment applied with the Lemna minor, moreover considering that this species has recently taken on a global relevance in the decontamination of residual effluents. It is recommended to constantly verify that the quality parameters are at the maximum allowed by environmental regulations and to assess the environmental and economic benefits produced by the use of biological agents.

Keywords: aquatic plants, oxidation lagoon, decontamination.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICADO DE LA TUTORA DE INVESTIGACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
PRÓLOGO.....	vi
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE TABLA	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
INTRODUCCIÓN	xvii
CAPÍTULO I. MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	2
1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA	3
1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	4
1.3.1 Problema General.....	4
1.3.2 Problemas derivados	4
1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.5 OBJETIVOS	5
1.5.1 General	5
1.5.2 Específicos	6
1.6 JUSTIFICACIÓN	6

2.3.5	Acuerdo Ministerial N° 028: En el Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (2015).	31
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		35
3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
3.1.1	Investigación descriptiva	36
3.1.2	Investigación experimental	36
3.2	Métodos utilizados en la investigación	36
3.2.1	Observación	36
3.2.2	Inductivo	36
3.2.3	Deductivo	36
3.3	Construcción metodológica del objeto de investigación	37
3.3.1	Población y muestra	37
3.3.2	Técnicas de investigación	37
3.3.3	Instrumentos de investigación	38
3.4	Elaboración del marco teórico	39
3.5	Recolección de la información	39
3.5.1	Caracterización del efluente residual	39
3.5.2	Identificación de contaminantes del agua residual	40
3.5.3	Proceso de tratamientos biológicos	42
3.5.4	Viabilidad económica, técnica y ambiental del tratamiento seleccionado	48
3.6	Procesamiento y análisis	49
3.6.1	Estadística descriptiva	49
3.6.2	Estadística inferencial	49
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		50
4.1	Caracterización del efluente residual	51

4.2	Identificación de contaminantes del agua residual.....	52
4.3	Tratamientos biológicos para descontaminar aguas residuales.....	57
4.3.1	Efectos de plantas biológicas sobre los parámetros físicos: Temperatura	57
4.3.2	Efectos de plantas biológicas sobre los parámetros químicos: Sólidos y M.O ...	57
4.3.3	Efectos de plantas biológicas sobre los parámetros biológicos: Coliformes fecales.....	63
4.4	Tratamiento óptimo para depurar AR en términos técnicos, económicos y ambientales.....	65
4.4.1	Factibilidad Técnica y Económica	65
4.4.2	Factibilidad ambiental	69
4.5	Discusión de resultados.....	70
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		73
5.1	Conclusiones	74
5.2	Recomendaciones.....	75
BIBLIOGRAFÍA		75
ANEXOS		89

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Localización de las Piscinas de Oxidación dentro del área de influencia.	2
Tabla 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce	32
Tabla3. Esquema del experimento	37
Tabla 4. Sitios y frecuencias de monitoreo	41
Tabla 5. Parámetros físico-químicos analizados	42
Tabla 6. Análisis de la varianza	47
Tabla 7. Características del efluente residual	51
Tabla 8. Parámetros físico-químicos del agua residual de las estaciones de bombeo.....	52
Tabla 9. Parámetros físico-químicos del agua residual de la laguna facultativa “A”	53
Tabla 10. Parámetros físico-químicos del agua residual de la laguna “D”	54
Tabla 11. Parámetros físico-químicos del agua residual de la laguna “D”	55
Tabla 12. Parámetros físico-químicos del efluente residual final	56
Tabla 13. Temperatura (°C)	60
Tabla 14. Sólidos Suspendidos Totales (mg/l).....	62
Tabla 15. Sólidos Totales (mg/l).....	64
Tabla 16. DBO5 (mg/l)	59
Tabla 17 DQO (mg/l).....	59
Tabla 18. Amoníaco (mg/l).....	61
Tabla 19. Fósforo total (mg/l)	61
Tabla 20. pH a 25 °C	58
Tabla 21. Cloruros (mg/l).....	58
Tabla 22. Sulfatos (mg/l).....	62
Tabla 23. Sulfuros (mg/l)	63
Tabla 24. Coliformes fecales (MN/NMP).....	63
Tabla 25. Contrastes y comparaciones ortogonales establecidas en base a las medias de los tratamientos en base a plantas acuáticas y el testigo absoluto.	64
Tabla 26. Matriz de Leopold	69
Tabla 27. Nivel de afectación de impactos ambientales	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Unidades experimentales usadas en el ensayo.....	43
Figura 2. Labores de dimensionamiento del área del ensayo.....	43
Figura 3. Excavación de hoyos para los tratamientos	44
Figura 4. Colocación de una cubierta provisional.....	44
Figura 5. Reservorios temporales del agua residual.....	45
Figura 6. Recolección de las muestras de agua residual previo a la aplicación de los tratamientos	45
Figura 7. Siembra de los tratamientos: Lenteja de agua, Jacinto de agua y Helecho de agua. ..	46
Figura 8. Monitoreo del agua residual luego de aplicado los tratamientos.....	47
Figura 9. Ubicaciòn de la Planta de tratamiento	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado URKUND.....	88
Anexo 2. Ubicación de las piscinas de oxidación.....	90
Anexo 3. Predio de las piscinas de oxidación.....	90
Anexo 4. Evidencias fotográficas de la investigación.....	91
Anexo 5. Resultados del análisis físico-químico del agua residual.....	95
Anexo 6. Valores de la eficiencia de los tratamientos biológicos en el agua residual.....	98
Anexo 7. Parámetros físico-químicos de los reservorios de agua residual al inicio del tratamiento.....	99
Anexo 8. Parámetros físico-químicos de los reservorios al final del tratamiento.....	100

INTRODUCCIÓN

Ecuador es de los países más ricos en recursos hídricos de Sudamérica: 43 500 m³/h/año (2,5 mayor promedio mundial). Dispone de 79 cuencas hidrográficas; 72 descargan al Océano Pacífico y las 7 restantes a la cuenca Amazónica. La disponibilidad media del agua por habitante es de 5 200 m³/año en la vertiente Pacífico y de 82 900 m³/año en la vertiente Amazónica. La dotación crítica media mundial que es de 1 700 m³/año/hab., 7,5 de cada diez ecuatorianos tienen acceso al agua potable y 5,5 de cada diez tienen alcantarillado. Pero la desigualdad en el acceso a estos servicios es más honda en las áreas rurales y en los barrios marginales (CEPAL, 2012).

En nuestro país, alrededor del 10% de las aguas residuales tienen algún nivel de tratamiento. Se estima que el 70% del agua de las cuencas hidrográficas situadas por debajo de los 2 800 msnm no es apta para consumo humano directo, debido a la contaminación por microorganismos patógenos, sustancias tóxicas, desechos sólidos, e hidrocarburos. El 80% de las empresas industriales, agroindustriales, de comercio y servicios generan aguas residuales con alta carga orgánica y sustancias tóxicas, las mismas que son descargadas directamente a las redes de alcantarillado público o cauces fluviales y /o marítimos (Sánchez, 2014).

En este proyecto se realizó la caracterización de los efluentes generados por la descarga del sistema de alcantarillado sanitario a las piscinas de oxidación ubicadas en el campamento del GAD Municipal del cantón Pedro Carbo, identificando los contaminantes y los efectos al medio ambiente, buscando el mejor mecanismo para implementar el respectivo tratamiento considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales.

La investigación se encuentra segmentada por capítulos, siendo los siguientes:

En el primer capítulo, consta la problemática, antecedentes de la investigación sobre la descarga de las aguas residuales en las piscinas de oxidación y su efecto al medio ambiente y a los pobladores aledaños a este campamento municipal, ubicado en el sector Durán del cantón Pedro Carbo.

En el segundo capítulo el marco teórico de la investigación consta de dos partes: marco conceptual donde se detalla las principales definiciones referentes al tema de investigación; y, la fundamentación teórica donde se encuentra las teorías sobre la depuración biológica de las aguas residuales.

En el tercer capítulo se describe la metodología, con los tipos de investigación, métodos, población y muestra para la obtención de datos, así como las fuentes y herramientas para la recopilación de información pertinente, además del proceso de tratamiento para la mitigación.

El cuarto capítulo especifica los resultados y discusión de la investigación y el quinto capítulo señala las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I.

MARCO CONTEXTUAL DE LA INVESTIGACIÓN

“Toda el agua que habrá jamás, la
tenemos ahora mismo”

National Geographic

1.1 UBICACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La presente investigación se realizó en el área de influencia de las piscinas de oxidación, ubicada en el campamento municipal del sector Durán, del cantón Pedro Carbo en la provincia del Guayas.

La cabecera cantonal Pedro Carbo está ubicada a 63 kilómetros de la ciudad de Guayaquil. Limita con la cuenca Progreso al suroeste y al norte con la provincia de Manabí, separada por la cordillera Chongón Colonche (Prefectura del Guayas, 2012).

Parte de su territorio está influenciado por el bosque seco tropical, lo que permite que comparta especies del bosque tumbesino, ecosistema de importancia en el contexto internacional por la diversidad de flora y fauna que se encuentra en él (Municipalidad de Pedro Carbo, 2012).

Está asentado a 97 msnm a una temperatura promedio de 27°C y precipitación promedio anual de 793mm (Prefectura del Guayas, 2012).

En el campamento municipal del cantón Pedro Carbo del sector Durán se sitúan las piscinas de oxidación objetos de investigación, cuya extensión y coordenadas de ubicación se especifican en la tabla 1.

Tabla 1. Localización de las Piscinas de Oxidación dentro del área de influencia.

Localidad	Sector	Ha	Coordenadas UTM	
			X	Y
Piscinas de Oxidación	Durán	7,86	586817	9798649

Elaboración: Margarita Vásquez, 2017

1.2 SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROBLEMÁTICA

La red de alcantarillado sanitario del cantón Pedro Carbo recoge las aguas servidas domésticas de los sectores de la cabecera cantonal. Dispone de dos estaciones de bombeo, que conducen los efluentes a un sistema de tratamiento mediante lagunas de oxidación para descargarlas al Estero Dos Bocas. El tratamiento de las aguas servidas consiste en lagunas facultativas, dispuestas en dos series (módulos) paralelas. Cada módulo está conformado por la secuencia laguna primaria – laguna secundaria o de maduración. Las lagunas primarias permitirán la remoción de la materia orgánica, mientras que las secundarias removerán los patógenos. Los linderos del área donde se encuentran las lagunas facultativas, se disponen de sembríos de Neem (*Azadirachta indica*. A. Juss); este árbol tiene las propiedades de absorber olores y repeler plagas (Quintana, 2012).

El problema ambiental principal es la generación de aguas grises, negras y de mantenimiento. Las aguas residuales contienen sólidos en suspensión y solución, los cuales están conformados generalmente por nitrógeno, fósforo, cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, ureas, aminas, aminoácidos, celulosa, grasas y jabones. Además, estas aguas presentan organismos patógenos de origen humano como coliformes totales, coliformes fecales y salmonellas (Clark, 2015).

El vertido de sustancias orgánicas produce disminución del oxígeno disuelto, ya que los microorganismos que degradan la materia orgánica consumen oxígeno para su oxidación. Si la demanda de oxígeno es superior a la aireación por disolución de oxígeno atmosférico, se puede llegar a un ciclo anaerobio en el que se consume oxígeno combinado en lugar de molecular, creándose un ambiente reductor, con la aparición de

amoníaco, nitrógeno y ácido sulfhídrico, y la reducción de sulfatos a sulfuros; el agua se torna oscura y de olor desagradable (Municipalidad de Pedro Carbo, 2012).

Con este proyecto de investigación se busca alternativas para la protección del recurso agua luego de la realización de sus actividades, optando por la implementación del tratamiento biológico de aguas residuales para el sistema de lagunas de oxidación existentes, lo que permitirá prevenir, controlar y reducir la contaminación ambiental.

La presente investigación consiste en la valoración del efecto en el medio ambiente por las descargas de las aguas residuales. Los análisis al agua permitirán determinar el grado de contaminación y proponer el tratamiento efectivo para la depuración.

1.3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.3.1 Problema General

¿Qué tratamiento biológico ayudará a descontaminar las aguas residuales descargadas en las lagunas de oxidación?

1.3.2 Problemas derivados

- ¿Qué características tienen las aguas residuales que se descargan a las lagunas de oxidación?
- ¿Cuál es el caudal de aguas residuales almacenadas en las lagunas facultativas?
- ¿Cómo realizar los tratamientos para el sistema?

1.4 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

El sistema de alcantarillado sanitario del cantón Pedro Carbo, tiene una cobertura del 40% del servicio, ya que la primera etapa cumplió su vida útil, según base de datos de la EMAPAPC se registran a 2 314 usuarios, teniendo una media de 9 256 habitantes del

área urbana que gozan del servicio; este sistema recoge las aguas servidas provenientes de los sectores San Ramón, Santa María, Barrio Guayaquil, Santa Rosa, Sagrado Corazón, Martha Bucarán, Amazonas, 10 de Agosto, Colombia y Cementerio. Cuenta con dos estaciones de bombeo y una red de tuberías con ramales terciarios y colectores secundarios y primarios. Las estaciones de bombeo del sistema de alcantarillado sanitario cuentan con la cobertura de los servicios básicos (Municipalidad de Pedro Carbo, 2012).

En el área de influencia existen centros médicos consultorios particulares de atención ambulatoria, consulta externa y servicios odontológicos. En este sector también se encuentra el Área No. 24 del Ministerio De Salud. Además, existen establecimientos educativos, en su mayoría centros de formación inicial y básica (Figueroa, 2011).

- **Campo:** Ciencias ambientales
- **Área:** Aguas residuales
- **Aspecto:** Contaminación ambiental
- **Tiempo:** De Octubre de 2017 a Mayo de 2018
- **Línea de investigación:** Evaluación de la calidad del agua, aire y suelo, incluyendo las alternativas de mitigación a los impactos ambientales.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 General

Evaluar los efectos de los tratamientos biológicos para descontaminar las aguas residuales descargadas en piscinas de oxidación del cantón Pedro Carbo, provincia del Guayas.

1.5.2 Específicos

- Caracterizar el efluente del sistema de alcantarillado sanitario.
- Identificar los contaminantes encontrados en las piscinas de oxidación mediante su análisis físico, químico.
- Analizar los efectos de los procesos de tratamientos biológicos para descontaminar las aguas residuales.
- Establecer el tratamiento óptimo para depurar las aguas residuales en términos técnicos, económicos y ambientales.

1.6 JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se justifica en generar un documento que sirva de base para el adecuado manejo técnico y ambiental del recurso agua proveniente del sistema de alcantarillado que se descarga en las piscinas facultativas del cantón Pedro Carbo. El peligro de la contaminación biológica está en el vertido de aguas residuales en general y de los excrementos en particular. Aunado a la posible presencia de compuestos tóxicos que, conjuntamente con los contaminantes biológicos, pueden poner en peligro la salud de las personas cuando éstas se exponen a las aguas residuales no tratadas, ya sea por contacto, inhalación o ingestión. Para preservar la salud pública es necesario aplicar tratamientos orientados a eliminar o disminuir estos riesgos.

Con los resultados del estudio se conoce el tratamiento óptimo para la depuración de las aguas residuales evitando que estas aguas sean la causa mayor de contaminación de cuerpos hídricos superficiales y subterráneos situados en la zona de influencia, preservando la flora y fauna, garantizando el aprovechamiento responsable de este recurso hídrico, recuperándola y devolviéndola con menor deterioro a su medio natural.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

“El nuevo paradigma de este siglo
es pasar del agua residual al agua
reutilizable”

Fernando del Amo

2.1 FUNDAMENTACIÓN CONCEPTUAL

2.1.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales también conocidas como aguas servidas o efluentes, son un conjunto de aguas que han sufrido alteraciones en sus características físicas, químicas y biológicas por la agregación de materias extrañas como residuos sólidos, microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos. Estas materias deterioran su calidad y la hacen inútil para usos posteriores pretendidos, afectando los ecosistemas acuáticos y su entorno (WWAP-UNESCO, 2017).

2.1.2 Alcantarillado sanitario

Es una red de tuberías, a través de la cual se evacuan en forma rápida y segura las aguas residuales municipales (sean estas provenientes de domicilios o establecimientos comerciales) hacia una planta de tratamiento y finalmente a un sitio de vertido donde no produzcan ningún daño medioambiental. Generalmente, se integra por los siguientes elementos: atarjeas, subcolectores, colectores, interceptores, emisores, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, descarga final y obras accesorias (Acosta, 2008).

2.1.3 Contaminación del agua

Es la incorporación al agua de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos (Manahan, 2007). La industria supone un mayor uso de agua, gran generación de residuos, muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluvial y marítimo que son causa de contaminación del agua por petróleo o combustible (Sainz, 2005).

2.1.4 Depuración biológica

Es un proceso biológico utilizado en el tratamiento de aguas residuales convencional. Consiste en el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo en un depósito agitado, aireado y alimentado con agua residual, que es capaz de metabolizar como nutrientes los contaminantes biológicos. El proceso es efectuado por microorganismos, desarrollados sobre la materia orgánica, y con la presencia requerida de nutrientes: nitrógeno, fósforo y otros oligoelementos. Para su desarrollo se necesita de materia orgánica, ya que cantidades excesivas de estos compuestos orgánicos, metales pesados y/o sales pueden inhibirlo o destruirlo; y cantidades reducidas pueden no ser suficientes para mantener el proceso (Trapote, 2013).

2.1.5 Laguna de estabilización

También denominadas lagunas de oxidación, utilizan las algas como fuente de oxígeno para el proceso de tratamiento. El contenido de la laguna se mezcla únicamente por efecto de la acción del viento y de las corrientes térmicas. El tiempo de permanencia hidráulica de estas lagunas oscila entre 20 y 30 días, pudiendo llegar a valores muy superiores a estos; la profundidad normal oscila entre 1,8 y 2,4 m. Solamente la capa superior, de 0,9 a 1,2 m, permanece aerobia (Arellano, 2002). Son frecuentemente utilizados por pequeños municipios y también por algunas industrias, en la creencia, errónea por cierto, de que funcionan con muy poco mantenimiento (Contreras & Molero, 2011).

2.1.6 Laguna facultativa

En el tratamiento de las aguas servidas, se denomina así a las lagunas que operan, en su estrato superior como lagunas aeróbicas, en su estrato inferior como lagunas anaerobias,

y en el estrato intermedio, con la presencia de bacterias facultativas se crea un estrato particular llamada zona facultativa. A pesar de ser un sistema simple y sencillo de tratamiento, son de naturaleza muy compleja desde el punto de vista de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos responsables de su eficiencia (ACODAL, 2005).

2.1.7 Tratamiento de agua

Se denomina así, al conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico, físico-químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas, bien sean naturales, de abastecimiento, de proceso o residuales —llamadas, en el caso de las urbanas, aguas negras—. Su propósito es obtener aguas con las características idóneas para el uso que se demande, por lo que la combinación y naturaleza exacta de los procesos varía en función tanto de las propiedades de las aguas de partida como de su destino final (Koppen, Smits, Moriarty, De Vries, Mikhail, & Boelee, 2009).

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 Características del agua residual

El agua residual se caracteriza por poseer tres tipos de cualidades: físicas, químicas y microbiológicas. Seguidamente se brinda una descripción detallada de las mismas.

2.2.1.1 Parámetros físicos

De acuerdo con Rodríguez, *et al*, (2008), el agua residual puede disponer de cuatro características principales:

1. Temperatura: Varía en función de la estación del año, pero suele ser ligeramente más alta que la del agua corriente. Tiene efecto sobre la actividad microbiana, la

solubilidad de los gases y la viscosidad.

2. Color: El agua residual presenta un color gris claro, pero se oscurece con el paso de los días o en condiciones de septicidad. Cualquier otro color que presente el agua es debido a la presencia de determinados compuestos como los tintes, la sangre, el cromo, los derivados lácticos, etc.
3. Olor: El agua residual fresca se caracteriza por un olor ligeramente desagradable que denota la presencia de aceites y detergentes. Cuando envejece, aparecen olores de podredumbre resultantes de la descomposición de la materia orgánica y otros productos más complejos.
4. Turbidez: Ausencia de transparencia debida a la presencia de una amplia variedad de sólidos en suspensión en el agua residual.

2.2.1.2 Parámetros químicos

Según lo expresado por Cuenca, *et al*, (2007), las aguas residuales poseen características químicas muy difíciles de tratar, entre las cuales tenemos:

1. Sólidos totales (ST):
 - Sedimentables. Fracción de sólidos, orgánicos e inorgánicos que sedimenta en una hora en un cono de Imhoff. Representa aproximadamente el lodo que se puede eliminar en el tanque de sedimentación (mg L^{-1}).
 - En suspensión (SST). Fracción de sólidos, orgánicos e inorgánicos, que no están disueltos. Solamente se pueden eliminar por coagulación o filtración (mg L^{-1}).
 - Fijos. Compuestos minerales o fracción no combustible de los SST (mg L^{-1}).

- Volátiles. Compuestos orgánicos o fracción combustible de los SST (mg L^{-1}).
- Disuelto. Fracción de sólidos, orgánicos e inorgánicos, que no es filtrable. Incluye todos aquellos sólidos inferiores a 1 milimicra ($\text{m}\mu$).
- Fijos. Compuestos minerales o fracción no combustible de los sólidos disueltos totales (mg L^{-1}).
- Volátiles. Compuestos orgánicos o fracción combustible de los sólidos disueltos totales (mg L^{-1}).

2. Materia orgánica

- DBO⁵ (Demanda Bioquímica de Oxígeno). Representa la fracción orgánica biodegradable presente en el agua residual y es una medida del oxígeno disuelto que requieren los microorganismos para consumir esta materia orgánica, en 5 días y a 20°C de temperatura ($\text{mg O}_2\text{L}^{-1}$).
- DQO (Demanda Química de Oxígeno): Medida de la fracción de materia orgánica que es degradable por la acción de agentes químicos oxidantes (dicromato de potasio) en medio ácido. También se mide por la cantidad estequiométrica de oxígeno disuelto requerido para llevar a cabo la reacción ($\text{mg O}_2\text{L}^{-1}$).
- COT (Carbón Orgánico Total): Es el carbono orgánico contenido en la materia orgánica. Se determina mediante la conversión a CO_2 del carbono presente en la muestra, a altas temperaturas y en presencia de un catalizador (mg L^{-1}).

3. Nitrógeno total:

- Nitrógeno orgánico: Incluye el nitrógeno ligado a las proteínas, a los aminoácidos y a la urea (mg L^{-1}).
- Amonio: Primer producto de la descomposición del nitrógeno orgánico (mg L^{-1}).
- Nitrógeno Kjeldahl: Parámetro resultante de la suma de los dos anteriores, el amonio y el nitrógeno orgánico (mg L^{-1}).
- Nitritos y nitratos: Formas más oxidadas del nitrógeno (mg L^{-1}).

4. Fósforo total

- Orgánico: Fracción del fósforo ligado a la materia orgánica (mg L^{-1}).
- Inorgánico: Fracción inorgánica del fósforo que existe como ortofosfatos y polifosfatos (mg L^{-1}).

5. pH: Indicativo de la naturaleza básica o ácida del agua residual.

6. Alcalinidad: Se debe a la presencia de iones bicarbonato, carbonato e hidróxido en el agua residual y ofrece resistencia a los cambios de pH ($\text{mg CaCO}_3\text{L}^{-1}$).

7. Dureza: Principalmente debida a los iones calcio y magnesio disueltos en el agua ($\text{mg CaCO}_3\text{L}^{-1}$).

8. Cloruros: Proporcionan mayor conductividad al agua e incrementan la densidad de la misma (mg L^{-1}).

9. Grasas: Fracción de materia orgánica soluble en hexano. Incluye grasas y aceites de origen animal y vegetal (mg L^{-1}).

2.2.1.3 Parámetros biológicos

Son características relacionadas con microorganismos y organismos pluricelulares. La clasificación de las Aguas Residuales, se realizan de acuerdo a sus características biológicas y los valores permisibles son determinados de acuerdo a lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Hay varios tipos de microorganismos, los más abundantes en el agua residual son bacterias, protozoos y virus (Tineo, 2014).

La remoción de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), la coagulación de sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica, es posible por la acción de una variedad de microorganismos, principalmente bacterias. Los microorganismos utilizan la materia carbonácea disuelta y en suspensión en forma coloidal, para sobrevivir en el ambiente en que se encuentran. Al consumir esta materia cuyo principal componente es el carbono, una parte de ella la convierten en tejido y otra parte es emitida al medio ambiente en forma de gases. Los gases producidos, en su mayor parte, pueden separarse en forma espontánea del agua tratada y el tejido celular formado, se separa también de la masa de agua por sedimentación, por lo que cuando esto ocurre se dice que la materia orgánica ha sido removida del agua tratada (Quiñonez, 2015).

Las características que tienen los microorganismos de completar el ciclo de degradación para su crecimiento y reproducción a partir del material orgánico desechado por los organismos superiores, es la forma en la cual el hombre aplica los microorganismos para limpiar sus aguas residuales (Castro, López, Rodríguez, & Muñoz, 2011).

En este proceso en que los diferentes microorganismos consumen el sustrato en su propio beneficio, remueven el material orgánico presente en las aguas residuales y lo transforman en nuevas células y en gases inocuos que se emiten a la atmósfera, limpiando el agua de la materia orgánica disuelta originalmente presente. Los principales objetivos del tratamiento biológico en aguas residuales, es coagular y remover los sólidos coloidales no sedimentables, y estabilizar la materia orgánica (Tineo, 2014).

2.2.2 Fundamentos de los procesos biológicos

Un proceso biológico de depuración de aguas residuales es un sistema en el cual un cultivo de microorganismos (biomasa) se alimenta de las impurezas del agua residual (sustrato). Estas impurezas son la materia orgánica biodegradable, el amonio, el fosfato y otros contaminantes en menor concentración (Cerezo, 2011).

Una parte de la nueva biomasa se descompone mediante el llamado metabolismo endógeno, generando más gases residuales. El resultado de las condiciones mencionadas es una buena depuración de la materia orgánica biodegradable y, a veces, de otros contaminantes del agua residual. Una condición necesaria para una buena depuración es la separación sólido-líquido, que se obtiene normalmente mediante sedimentación por gravedad, o por la adhesión de los microorganismos formando una película sobre un soporte sólido (Peñuela & Morató, 2017).

2.2.3 Tipos de microorganismos involucrados en la depuración biológica

Diferentes tipos de microorganismos actúan en la depuración biológica: La remoción de carbono es llevada a cabo por los microorganismos heterótrofos. Estos organismos

consiguen el carbono de fuentes orgánicas; hidrolizan la materia orgánica compleja, filtran la materia orgánica simple a través de su membrana, y de ahí la incorporan a sus procesos de síntesis de biomasa. La mayoría de los microorganismos en tratamiento de aguas residuales son heterótrofos, sobre todo bacterias, hongos y protozoos. Los microorganismos autótrofos son aquellos que como fuente de carbono utilizan el CO² atmosférico y el bicarbonato disuelto en el agua. Por lo tanto, no se alimentan de materia orgánica sino de carbono inorgánico. En la depuración biológica son autótrofas las algas, que aportan oxígeno en los sistemas lagunares, y las bacterias nitrificantes, que contribuyen a la remoción biológica de nitrógeno (Peñuela & Morató, 2017).

2.2.4 Diseño de lagunas facultativas

El diseño de una laguna facultativa depende de la carga superficial de DBO aplicada a la laguna, es decir la cantidad de DBO aplicada por unidad de área de superficie de la laguna por día. Las lagunas facultativas son las más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. También se les denomina lagunas de oxidación de agua. Se recomienda mantener un bordo libre de 0,5 a 0,8 m para minimizar los efectos del viento y el oleaje así como absorber temporalmente sobrecargas hidráulicas (Vanegas & Reyes, 2017).

Datos de estudios llevados a cabo en lagunas piloto localizadas en Extrables, Universidad de Paraíba, Brasil, sugieren que a temperaturas del agua de 25 °C en adelante, las cargas orgánicas reducen significativamente la población de algas y por consiguiente la producción de oxígeno, vital para el proceso de tratamiento. Por lo que se propuso la siguiente ecuación, para el diseño de lagunas facultativas en Sudamérica (Suárez, 2010):

$$C_s = 250 (1,085)^{(T-20)}$$

Donde:

T= se considera la temperatura media anual.

C_s= carga de diseño, Kg/m²/día

Para el cálculo de las cargas, removidas, se consideran perdidas por infiltración.

Según el método explicado por Báez & Toscano (2014), el área de una laguna facultativa se puede calcular mediante la ecuación:

$$A = \frac{S_i Q}{C_s}$$

Donde:

S_i= DBO soluble del afluente, g/m³

Q= Caudal de diseño, m³/día

C_s= Carga volumétrica en g DBO/m³/día

Para establecer las dimensiones de largo y ancho en lagunas facultativas se ha establecido una relación:

$$L/An = 5$$

Para establecer la remoción de Coliformes fecales se emplea la siguiente ecuación:

$$C_{FE} = \frac{C_{fa}}{1 + K_{fc} * t}$$

Donde:

Cfe= Remoción de Coliformes fecales, Npm /100 mL

Cfa= Coliformes fecales del afluente, Npm /100 mL

Kfc= constante de remoción de Coliformes fecales la misma que se determina en función de la temperatura media mensual (T), día-1.

$$0,841(1,07)^{T-20}$$

t= tiempo de retención de la laguna, día

Para establecer el tiempo de retención se mantiene una relación con la evaporación (m) empleando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{2^a * h}{2Q - 0,001 Ae}$$

Donde:

t= tiempo de retención, días

A= área de la laguna, m²

h= altura de la laguna, m

Q= caudal de diseño, m³/día

e= tasa de evaporación promedio, mm

Por seguridad de diseño se supone que toda la DBO del afluente es DBO soluble biodegradable y para el efluente se utiliza la DBO soluble (Báez & Toscano, 2014).

Para calcular la remoción de DBO se utiliza la ecuación:

$$S = \frac{S_0}{1 + k * t}$$

Donde:

S= Concentración de DBO remanente (mg/L)

S₀ =DBO del afluente (mg/L)

k = Constante de remoción de DBO (día⁻¹)

t= Tiempo de retención hidráulico.

$$K_t = 0,28 * (1,029)^{T-20}$$

T= temperatura media anual, °C

2.2.5 Mecanismo de depuración biológica

Dentro de este grupo de acciones puede diferenciarse entre las inherentes a las actividades radiculares de las plantas (establecidas en algunas de las modalidades de esta tecnología de tratamiento), y las producidas por los micro-organismos del suelo (Arellano, 2002).

Las raíces de las plantas actúan a modo de bombas aspirantes, extrayendo del suelo el agua y las sales minerales necesarias para su desarrollo. La mayor parte de estos aportes procederá de las aguas residuales a tratar (ACODAL, 2005).

En cuanto a los microorganismos del suelo, las acciones más importantes se deben a

bacterias, hongos, algas y protozoos. Estos microorganismos intervienen tanto en la descomposición de la materia orgánica aportada por el agua residual, como en el reciclaje de los nutrientes (Kwong, Salas, Gutiérrez, & López, 2004).

El principio del tratamiento biológico de las aguas residuales es el mismo que el de purificación espontánea en aguas naturales. Se realiza en reactores diseñados especialmente para mantener los microorganismos bajo condiciones controladas, acelerando el proceso natural de descomposición y neutralización de los residuos, antes de que las aguas sean finalmente vertidas a las masas de aguas receptoras. En el proceso participan distintas reacciones microbiológicas para eliminar o transformar diferentes tipos de materia orgánica, nutrientes y muchos otros elementos químicos tales como el sulfuro y los metales. Estas reacciones pueden ser realizadas bajo condiciones aerobias (presencia de oxígeno disuelto), anòxicas (ausencia de OD, presencia de nitraos) o anaerobias (ausencia de OD y nitratos), dependiendo de la vía de degradación empleada. Así mismo, la biomasa empleada en el tratamiento se puede mantener en suspensión o adherida a un material de soporte (Arellano, 2002).

2.2.6 Fases del tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales se realiza por etapas donde el número de fases depende del tipo de agua residual y los costos. Este proceso se describe a continuación:

2.2.6.1 Etapa preliminar

En esta etapa se remueven sólidos o materiales de gran tamaño (madera, telas materia fecal, entre otros) que pueden taponar tuberías o dañar equipos. Este proceso se realiza al hacer pasar el caudal a través de barras metálicas espaciadas 20-60 mm que cumplen

el papel de un cribado, reduciendo la velocidad de flujo (0.2-0.4 m/s) permitiendo que haya retención de sólidos. Posterior a retirar los materiales de gran tamaño se entra en la Primera etapa del proceso en la cual se busca separar cerca del 70% de los sólidos sedimentables presentes en el agua. Este proceso se realiza en tanques en los que un volumen determinado de agua residual tiene un tiempo de retención hidráulico que permite a los fluidos segregarse y a los materiales diferenciarse por densidad por efecto de la gravedad. Un tanque de sedimentación bien diseñado y con tiempos de retención altos puede llegar a disminuir la DBO en un 40% en forma de sólidos sedimentables. Además de esto, se puede presentar una disminución de los demás parámetros incluyendo los agentes patógenos. Teniendo en cuenta esto, en primer lugar, se hace una remoción de sólidos por medio de rejillas utilizadas para los elementos más grandes; posteriormente, se hace una remoción un escaneo o maceración, con el fin de eliminar las arenas presentes en las aguas residuales; por último, se hace una sedimentación con tanque, tal como ya fue expuesto (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

2.2.6.2 Etapa secundaria

En una Segunda etapa de tratamiento se busca disminuir la DBO y la DQO reduciendo la materia orgánica. En esta etapa se utilizan métodos biológicos como el uso de algas y/o bacterias que usan la materia orgánica. El agente reductor (alga/bacteria) puede ser manejado como una capa que recubre una superficie por la cual se hace recorrer el agua a tratar o se puede tener una mezcla donde se mantiene el agente reductor disperso en el líquido con ayuda de agitadores mecánicos. En esta etapa se puede reducir los agentes patógenos en un 90% pero la remoción de virus es mucho más variable el cual se puede remover de manera exitosa con adsorción (Romero, Colín, Sánchez, & Ortiz, 2009).

2.2.6.3 Etapa terciaria

La última etapa o Etapa terciaria está enfocada en reducir iones orgánicos, los cuales se pueden eliminar por medios químicos o biológicos. Sin embargo, la remediación química es por lo general muy costosa y lleva a una contaminación secundaria por lo cual se tiene preferencia por la remediación biológica. Una etapa terciaria que está diseñada a remover iones amonio, nitratos y fosfatos cuesta cuatro veces más que la etapa primaria y una Cuarta etapa dispuesta a remover metales pesados, compuestos tóxicos y minerales solubles puede costar entre 6 a 8 veces más lo de la primera etapa. En estas dos últimas etapas se tiene preferencia por el uso de remediación biológica y más específicamente las algas las cuales está demostrado pueden reducir esa clase de contaminantes, incluidos metales pesados (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011).

2.2.7 Uso de Plantas acuáticas para depuración de aguas residuales

Las macrófitas flotantes comprenden un amplio y variado grupo de plantas, entre las que se destacan el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), la salvinia (*Salvinia* Spp.), la redondita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*), y algunas especies de lentejas de agua (*Lemna* Spp., *Spirodella* Spp.) (Fernández, 2001).

La morfología de las macrófitas flotantes difiere según la especie. Por ej: el Jacinto de agua (especie predominante en los sistemas de tratamiento) es una planta perenne de agua dulce, con desarrollo ascendente, de tallo vegetativo corto, hojas de color verde brillante y espigas de flores de lavanda. Los pecíolos de las planta son elongados y abultados de aire que contribuye a la flotabilidad de la planta. (manual, 1988).

Según (González et al. 1969), Azolla (*Azolla filiculoides* Lam.) es un helecho acuático que tiene la característica de asociarse con cianobacterias en los cuerpos de agua, especialmente con *Anabaena* (*Anabaena azollae* Strass.) y de esta manera fijar nitrógeno atmosférico, característica que está ubicando a este pequeño organismo en el ojo de varias investigaciones de distinta índole, ya que se lo está probando como alimento para especies animales, también como biorremediador de aguas contaminadas y dentro de la actividad agrícola se lo está experimentando como abono verde, siendo un organismo de fácil propagación y tratamiento, adaptándose a diferentes climas y pisos altitudinales.

En base a estudios de remoción de compuestos tóxicos por plantas acuáticas, se pueden considerar estos sistemas de tratamiento como una alternativa ecológica y económicamente viable, tanto para el tratamiento de los efluentes municipales domésticos como industriales. En la fábrica de Imusa S.A., localizada en el municipio de Rionegro (Antioquia), se tienen operando desde 1988 unos canales sembrados con *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua); se ha comprobado una eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes que alcanza más de 97% en los metales pesados y hasta el 98% en sólidos suspendidos (Roldán y Álvarez, 2002).

Según (Olgún y Hernández, 1998), las características que deben contar las plantas acuáticas usadas para el tratamiento de las aguas residuales son las siguientes: Alta productividad, alta eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes, alta predominancia en condiciones naturales adversas y fácil cosecha. *Lemna* minor cumple con todas estas características y gracias a esto ha sido empleada en sistemas de descontaminación de aguas.

2.2.8 Investigaciones Referenciales sobre Depuración Biológica de Aguas Residuales.

Gavilánez (2015), evaluó los efectos depuradores de la especie acuática *Eichhornia crassipes* y microorganismos eficientes dentro de las instalaciones de la planta de tratamiento de agua residual de la ciudad de Naranjito durante el periodo octubre del 2013. Se empleó un diseño experimental completamente al azar, compuesto de cuatro tratamientos con tres repeticiones, y cada unidad experimental fueron estanques de 1m³ de volumen. Los tratamientos evaluados se definieron Como: *E. crassipes* (T1); bacterias comerciales (T2); microorganismos nativos (T3), capturadas mediante arroz fermentado; y un testigo absoluto (T4). Con tiempos de retención hidráulica de 7 y 14 días, se evaluaron los contaminantes químicos, tales como el sulfuro de hidrógeno, nitrógeno total Kjeldahl, fósforo total y pH; y los contaminantes orgánicos como la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y temperatura. Como resultado se obtuvo que la especie *E. crassipes* fue el tratamiento que reportó los promedios estadísticos más bajos para la gran parte de los parámetros; realizando remociones del 50.0%, 94.8% y 87.6% de H₂S, la DBO₅ y la DQO, respectivamente.

Sierra *et al* (2016), establecieron el crecimiento de las macrófitas *Lemna minor* sp en el tratamiento de efluentes de lagunas de estabilización que tratan aguas residuales municipales; los parámetros analizados fueron biomasa, número de frondas y remoción de materia orgánica. Las macrófitas utilizadas en el experimento fueron tomadas de jagüeyes ubicados en las afueras del municipio de Valledupar-Colombia. El montaje se realizó a escala laboratorio y el sistema utilizado fue un reactor tipo batch (flujo discontinuo). El cual mostró los siguientes resultados: la tasa relativa de crecimiento de

la *Lemna minor* sp fue de -1 aproximadamente 0.1595 d^{-1} . En este experimento se pudo establecer que el crecimiento de las lentejas de agua está determinado por la adaptación de estas al medio y se vio favorecido por la disponibilidad de nutrientes. Por tanto, las *Lemna minor* sp son una buena alternativa para el tratamiento de efluentes de lagunas de oxidación que tratan aguas residuales domésticas.

Poveda (2014), evaluó la exposición de las especies acuáticas flotantes: *Azolla* spp., *Lemna* spp., *Salvinia* spp., *Eichhornia crassipes* y *Limnobium laevigatum* a las muestras de aguas residuales. Se analizó la incidencia de las muestras de agua en las especies acuáticas tomando datos semanales del número de hojas verdes. Para la estimación de la producción de biomasa se tomó datos semanales del peso seco. Los parámetros analizados fueron: pH, conductividad eléctrica, Sólidos totales, Sólidos disueltos, sólidos suspendidos, DQO, DBO₅, Grasas y aceites, detergentes, coliformes fecales, color, turbidez, alcalinidad, dureza, nitratos, nitritos y cloruros. La determinación del tratamiento idóneo se lo efectuó con el estadístico Statgraphics y la prueba de TUKEY al 95% de confianza. Se obtuvo que *Eichhornia crassipes* y *Lemna* spp., son las plantas más promisorias para poner en marcha un proceso de fitorremediación.

Charris & Caselles (2016), evaluaron la eficiencia de eliminación de materia orgánica (DQO), nitrógeno (NH_4^+ , NO_3^-) ortofosfatos, y coliformes totales y fecales en cuatro humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto usando dos especies de plantas locales. Dos sistemas fueron plantados con *Cyperus ligularis* y dos con *Echinochloa colonum*. El experimento constó de un tanque de almacenamiento de 760 litros (tratamiento primario), desde donde se vertió el agua residual, mediante tubería de PVC, al sistema de humedales. Cada humedal fuere llenado con grava

granítica de 8 mm de diámetro y porosidad de 0.4. Una vez al día y durante cuatro meses, se adicionó a los humedales un caudal de 42 l.día⁻¹, para mantener un tiempo de residencia hidráulico de tres días. Las muestras del afluente y efluente fueron recolectadas tres veces por semana para determinar DQO y nutrientes. Una vez por semana se determinó coliformes fecales y totales. La eliminación de DQO, amonio, nitrato y ortofosfatos fue de 93, 65, 71 y 32%, respectivamente, para *C. ligularis*, y de 85, 54, 67 y 57%, respectivamente, para *E. colonum*. La eficiencia de eliminación de bacterias coliformes fue de 99.9% para ambas especies. Los resultados indicaron que hubo una diferencia significativa ($P < 0.05$) en la eliminación de los principales contaminantes en el humedal plantado con *C. ligularis*, indicando una mayor capacidad de esta especie para el tratamiento del agua residual doméstica.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

2.3.1 Constitución Política del Ecuador (2008)

2.3.1.1 Principios Ambientales

Los principios ambientales los podemos encontrar tanto en nuestra Constitución, de la República del Ecuador (2008), como en la, normativa secundaria, ésta es el Acuerdo Ministerial 061 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Partiremos analizando:

Restauración y reparación ambiental: Vinculado con el hecho de que la naturaleza es un sujeto de derecho, a ésta se le da el derecho a la restauración, que implica, como claramente se desprende de su denominación, que todo acto y/o omisión que haya ocasionado alguna afectación ambiental, debe ser remediado.

Es importante definir tanto restauración como reparación. La primera, esto es reparación, es un concepto más general que conlleva la remediación de todas las afectaciones ambientales, incluyendo los colaterales. Mientras que la restauración, se enfoca a los ecosistemas, procurando revertir aquellos efectos nocivos que se han causados, volviendo el sistema al original.

Este principio lo encontramos en los artículos 72 y 396 de nuestra Constitución como en el 2 del Acuerdo Ministerial 061.

Principio de Prevención.- A continuación, analizaremos el principio de prevención y precaución, que a nuestro criterio es el más importante, dado que engloba de forma general la verdadera intención o propósito de la legislación ambiental. En este punto se hizo énfasis de la responsabilidad de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's), de procurar evitar que en su circunscripción territorial se generen afectaciones ambientales.

Este principio como lo dice su nombre, procura que se tomen todas las medidas posibles para prevenir impactos o consecuencias ambientales negativas producto de una acción u omisión. Podemos encontrar su normativa en el artículo 396 de nuestra Constitución como en el artículo 2 del Acuerdo Ministerial 061.

Imprescriptibilidad en materia ambiental.- Nuestra Constitución a su vez consagra en el artículo 396 la imprescriptibilidad de las acciones legales para perseguir y sancionar daños ambientales. En otras palabras, no existe una limitación de tiempo para denunciar alguna afectación ambiental.

2.3.1.2 Competencias Ambientales

Es importante saber diferenciar cuales son las competencias ambientales que corresponden a cada órgano sea este el Estado Central, o a su vez cuales se pueden transferir a los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

La Constitución de la República del Ecuador en su artículo 264 indica lo siguiente:

“Art. 264.-Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley(...)

4. Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley (...)”

2.3.2 Código Orgánico de Organización Territorial (2010)

El Código Orgánico de Organización Territorial (COOTAD), en su artículo 54 literal k, nos indica la función ambiental del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal.

Art. 4.-Fines de los gobiernos autónomos descentralizados.- Dentro de sus respectivas circunscripciones territoriales son fines de los gobiernos autónomos descentralizados: (...)

d) La recuperación y conservación de la naturaleza y el mantenimiento de medioambiente sostenible y sustentable;(…)”

“Art. 54.- Funciones.- Son funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal las siguientes:(...)

k) Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de

manera articulada con las políticas ambientales nacionales;(…)”

Los gobiernos autónomos descentralizados, para poder regular, prevenir o controlar la contaminación deben realizar las ordenanzas necesarias con el fin de que su espacio territorial y la sociedad que la habita puedan gozar de un ambiente sano.

Es obligación del gobierno Municipal, realizar gestiones para poder eliminar los vertidos contaminantes en ríos, lagos, lagunas, quebradas, esteros o mar, aguas residuales provenientes de redes de alcantarillado, público o privado, así como eliminar el vertido en redes de alcantarillado, tal y como estipula el artículo 136 del COOTAD.

2.3.3 Acuerdo Ministerial N° 061: Reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (2015)

Acuerdo Ministerial 061 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente

En la sección III de este acuerdo ministerial establece la calidad de los componentes abióticos, entre ellos el agua.

Art. 209.- De la calidad del agua.- Toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso.

Esto es realizando la gestión preventiva de la seguridad del agua; así como, el monitoreo operativo de las medidas de control del sistema de abastecimiento de agua

que tengan una importancia especial para garantizar su inocuidad.

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

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

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

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

2.3.4 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua (2014)

Art. 37.-Servicios públicos básicos. Para efectos de esta Ley, se considerarán servicios públicos básicos, los de agua potable y saneamiento ambiental relacionados con el agua. La provisión de estos servicios presupone el otorgamiento de una autorización de uso.

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.

Siendo los servicios públicos básicos de responsabilidad de los gobiernos locales en gestionar proyectos para infraestructuras sanitarias, utilizando tecnologías sostenibles, socializando la participación ciudadana para que se integren a las soluciones proyectadas, se tiene que el agua y el saneamiento son temas prioritarios para la conservación de la salud.

2.3.5 Acuerdo Ministerial N° 028: En el Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua (2015).

Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce:

5.2.4.6 En condiciones especiales de ausencia de estudios del cuerpo receptor, falta de definición de usos del agua (como es el caso de pequeñas municipalidades que no pueden afrontar el costo de los estudios), se utilizarán los valores de la Tabla 2 de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce, en forma temporal, con el aval de la Autoridad Ambiental Competente. Las concentraciones corresponden a valores medios diarios.

Tabla 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		¹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

¹Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

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

5.2.4.10 Las aguas residuales que no cumplan, con los parámetros de descarga establecidos en esta Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia.

5.2.4.11 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia los cuerpos receptores, canales de conducción de agua a embalses, canales de riego o canales de drenaje pluvial, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“Lograr una cobertura universal de agua y saneamiento requiere un esfuerzo conjunto de los actores implicados”

José Carrera

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Investigación descriptiva

Fue empleada en la identificación y descripción de los efluentes residuales a través de visitas técnicas al sitio de estudio, y en la determinación del caudal residual; asimismo se la utilizó durante el establecimiento del monitoreo y en la búsqueda información conceptual relativa al problema de investigación.

3.1.2 Investigación experimental

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar, integrado por tres tratamientos correspondientes a la especies: *Lemna minor*, *Eichhornia crassipes* y *Azolla Lam*, y tres repeticiones por cada uno. De esta forma se determinó el efecto biorremediante de tales especies en el agua residual.

3.2 MÉTODOS UTILIZADOS EN LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Observación

Facilitó la recolección de información de campo referente a los sitios de monitoreo y en la caracterización del efluente residual.

3.2.2 Inductivo

Permitió la valoración química del agua residual, a través de la cual se obtuvo la concentración de los distintos contaminantes contenidos en la misma.

3.2.3 Deductivo

Fue usado en la determinación del efecto de biorremediante de las tres especies acuáticas en el agua residual; asimismo en la selección de la especie más eficiente.

3.3 CONSTRUCCIÓN METODOLÓGICA DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 Población y muestra

3.3.1.1 Población

La población la constituye las aguas residuales provenientes de las piscinas de oxidación del cantón Pedro Carbo.

3.3.1.2 Muestra

La recolección de las muestras se la hizo mediante la modalidad de muestreo simple, a través del empleo de envases de vidrio con capacidad de 500 ml en los que se dispuso el agua residual con la ayuda de jarras, en ambos casos los envases utilizados fueron nuevos para impedir la contaminación de la muestra con otros agentes externos y a la vez evitar el contacto directo con el efluente. Se tomó 18 muestras de los reservorios y 6 muestras directamente de las lagunas de oxidación.

3.3.2 Técnicas de investigación

3.3.2.1 Observación directa

Fue utilizada durante los recorridos en el área de estudio, a través de los cuales se pudo recabar la información pertinente al objeto investigado.

3.3.2.2 Monitoreos

Se los empleó durante la recolección de las muestras de agua residual en las lagunas de oxidación y reservorios, y para la determinación del caudal.

3.3.2.3 *Diseño Experimental*

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA), análisis de varianza (ANOVA) y también la prueba estadística de tukey al 95% de probabilidad mediante el programa estadístico InfoStat (versión estudiantil 2018) para determinar la significancia estadística, con tres tratamientos y tres repeticiones mas el testigo (tabla 3).

Tabla3. Esquema del Experimento

Tratamientos	T 1	T 2	T 3	T4
Rep 1	T 3	T 2	T 1	T4
Rep 2	T 2	T 1	T 3	T4
Rep 3	T 1	T 3	T 2	T4

Elaboración: Margarita Vásquez, 2017

Donde:

T 1= Lenteja de agua (25g/m²)

T 2= Jacinto de Agua (25% de la superficie de los reservorios)

T 3= Helecho de agua (25g/m²)

T4= Testigo (agua residual cruda)

3.3.3 **Instrumentos de investigación**

3.3.3.1 *Ficha de observación*

Este instrumento se lo utilizó para el levantamiento de información de campo relativa a las lagunas de oxidación, reservorios y el monitoreo de calidad de agua.

3.3.3.2 *Matriz de Leopold*

Esta matriz dio lugar a la valoración de los impactos ambientales generados por las lagunas de oxidación; se estructuró en función de los factores ambientales y las actividades evaluadas.

3.4 ELABORACIÓN DEL MARCO TEÓRICO

Los fundamentos conceptual, teórico y legal incluyó la revisión de diversas fuentes bibliográficas actualizadas, entre ellas: artículos científicos, ensayos, tesis de grado, informes y normativa legal, todas procedentes de medios digitales. Para la estructuración de cada uno de los marcos se procedió como sigue:

1. Esquematación de los temas, capítulos y/o apartados a consultar.
2. Búsqueda de las temáticas requeridas.
3. Resumen, análisis y parafraseo de la información seleccionada.
4. Registro de la fuente bibliográfica utilizada.

3.5 RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

3.5.1 Caracterización del efluente residual

3.5.1.1 Estimación del caudal

El caudal del efluente residual se lo estimó en base a la cuantía de domicilios conectados al sistema de alcantarillado sanitario público que alimenta las lagunas de tratamiento; información que fue proporcionada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del GAD Municipal de Pedro Carbo.

Para el cálculo del caudal se empleó la siguiente ecuación:

$$CTD = \frac{\left[\left(\begin{array}{c} \text{Cantidad de} \\ \text{viviendas} \\ \text{conectadas al AASS} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Indice de} \\ \text{hacinamiento} \end{array} \right) \left(\begin{array}{c} \text{Consumo de} \\ \text{agua} \\ \text{de población} \end{array} \right) \right]}{1000}$$

Dónde:

**Índice de hacinamiento: 4 hab/vivienda*

**Consumo de agua diaria de la población: 121 l/hab/día*

**Número de viviendas conectadas al sistema de alcantarillado: 2.314 domicilios*

Seguidamente, se efectuó el remplazo de los valores de cada criterio en la ecuación:

$$CTD = \frac{[(2314)(4)(121)]}{1000}$$

$$CTD = \frac{1'119.976}{1000}$$

$$CTD = 1.119,98 \frac{m^3}{dia}$$

3.5.2 Identificación de contaminantes del agua residual



3.5.2.1 Condiciones del muestreo

Las piscinas de oxidación se localizan en el Cantón Pedro Carbo, a 63 kilómetros de la ciudad de Guayaquil con coordenadas geográficas: 586817 (X) y 9798649 (Y). La zona de estudio se asienta a 97msnm, y dispone de una temperatura promedio de 27°C y una precipitación de 793mm/año.

3.5.2.2 Identificación de puntos y frecuencias de muestreo

El monitoreo del agua residual se lo efectuó durante cuatro evaluaciones, las mismas que se distribuyeron de acuerdo al detalle de la tabla 4:

Tabla 4. Sitios y frecuencias de monitoreo

Sitio	N° Monitoreo	Fecha	Figura
Lagunas de oxidación (3)	1°	Oct, 2017	
	2°	Ene, 2018	
Reservorios (9)	1°	May, 2018 (inicios)	
	2°	May, 2018 (finales)	

Elaboración: Margarita Vásquez, 2017

3.5.2.3 Recolección y traslado de muestras

Las muestras recolectadas (18 de reservorios y 6 de las lagunas) fueron trasladadas en condiciones de preservación (Coolers) hasta el Laboratorio LAMBOS Acreditación N° OAE LE C 10-001 ubicado en la ciudad de Guayaquil, para el análisis físico-químico pertinente. Para conservar las muestras se utilizó recipientes de vidrio, procediendo a la filtración de la muestra para que el agua a analizar no lleve residuos de plantas. Se almacenó las muestras en una nevera portátil con una refrigeración de 4° C, cada recipiente se tapó herméticamente rotulando con la identificación, fecha de muestreo y técnico responsable de laboratorio quien tomó las muestras directamente en los puntos identificados, trasladándose inmediatamente a la empresa para su entrega y análisis correspondiente.

3.5.2.4 Análisis físico-químico

Se lo realizó en base los métodos estandarizados de la AWWA APHA, WPCF XXII edición 2012 de los Estados Unidos de América, y las normas de calidad de agua de la OPS e INEN. Los parámetros analizados fueron (tabla 5):

Tabla 5. Parámetros físico-químicos de calidad del agua analizados

Parámetros físico-químicos analizados		
Aceites y grasas <i>mg/l</i>	Fenoles <i>mg/l</i>	Organoclorados totales <i>mg/l</i>
Aluminio <i>mg/l</i>	Cromo Hexavalente <i>mg/l</i>	Organofosforados totales <i>mg/l</i>
Arsénico total <i>mg/l</i>	DQO <i>mg/l</i>	Plomo $\mu\text{g/l}$
Bario <i>mg/l</i>	DBO ₅ <i>mg/l</i>	pH a 25°C unidades
Boro <i>mg/l</i>	Fluoruro <i>mg/l</i>	Sólidos suspendidos totales <i>mg/l</i>
Cadmio $\mu\text{g/l}$	Fósforo total <i>mg/l</i>	Sólidos totales <i>mg/l</i>
Zinc <i>mg/l</i>	Hierro total <i>mg/l</i>	Sulfatos <i>mg/l</i>
Cloro activo <i>mg/l</i>	Hidrocarburos totales de petróleo <i>mg/l</i>	Sulfuros <i>mg/l</i>
Cloruros <i>mg/l</i>	Material flotante	Temperatura °C
Cobre <i>mg/l</i>	Mercurio <i>mg/l</i>	Tensoactivos detergentes <i>mg/l</i>
Coliformes fecales <i>NMP/100ml</i>	Nitrógeno Amoniacal <i>mg/l</i>	
Color $\mu\text{Pt/Co}$	Nitrógeno Total Kjeldahl <i>mg/l</i>	

Fuente: LABMOS, 2017

3.5.3 Proceso de tratamientos biológicos

3.5.3.1 Estructuración del ensayo

La estructuración de ensayo se lo efectuó a partir del mes de febrero del 2018; sus dimensiones fueron: 8.20 m de ancho x 6.40 m de longitud (figura 2), quedando sitiado contiguo a las instalaciones de las lagunas de oxidación (figura 1).

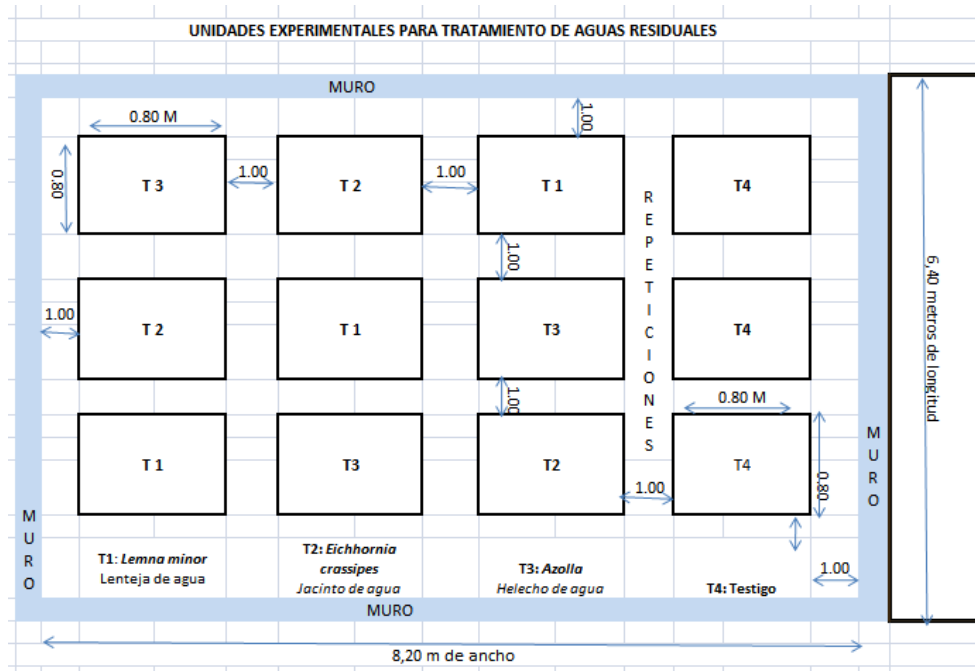


Figura 1. Unidades experimentales usadas en el ensayo



Figura 2. Labores de dimensionamiento del área del ensayo

Posteriormente, se procedió a excavar 9 hoyos de $0.80 \times 0.80 \text{ m}^2$ y una profundidad de 0.60 m , para la aplicación de los tres tratamientos seleccionados y sus respectivas repeticiones (figura 3).



Figura 3. Excavación de hoyos para los tratamientos

A fin de proteger los hoyos excavados de las precipitaciones, se procedió a la colocación de una cubierta de material plástico negro a una altura de 2.50 m por encima del nivel del suelo, a fin de impedir el ingreso de agua a los micro reservorios (figura 4).



Figura 4. Colocación de una cubierta provisional

La extracción del agua residual de las lagunas de oxidación se lo efectuó mediante el uso una bomba de succión y manguera, para seguidamente almacenarla en dos reservorios (tanques) de 2500 l de capacidad durante un lapso de 24 horas (figura 5).



Figura 5.Reservorios temporales del agua residual

Luego, se envió por gravedad a cada reservorio 384 litros de agua residual, quedando listos para dar inicio a la siembra de las plantas acuáticas. Asimismo se hizo la toma de muestras de aguas residuales a las entradas y salidas de las lagunas estabilizadoras, y posteriormente fue enviada a laboratorio contratado para el análisis respectivo (figura 6). Los resultados de este análisis fue útil para establecer una comparación con los tratamientos aplicados.



Figura 6. Recolección de las muestras de agua residual previo a la aplicación de los tratamientos

La siembra de los tres tratamientos en los micro reservorios se lo efectuó a partir del 23 de febrero de 2018 (figura 7), de acuerdo con el siguiente detalle:

1. Tratamiento 1 (T1): Lenteja de agua (*Lemna minor*), 25g/m²; como cada micro reservorio posee 0.64m² correspondió sembrar 16g por cada reservorio.
2. Tratamiento 2 (T2): Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), 25% de la superficie del reservorio, es decir, 0.16m² por cada repetición.
3. Tratamiento 3 (T3): Helecho de agua (*Azolla Lam*), 25g/m², esto es, 16g en cada micro reservorio.



Figura 7. Siembra de los tres tratamientos: Lenteja de agua, Jacinto de agua y Helecho de agua.

Debido a que algunos tratamientos mostraron marchitez en las plantas acuáticas en los primeros 15 días de establecido el ensayo, se procedió durante un mes a observar el crecimiento de las mismas y de esta manera verificar su adaptación, por lo que a partir del 23 de marzo del 2018 se procedió a considerar como la fecha de inicio del ensayo, ya que las plantas mostraron vigor y su color característico, considerándose el primer mes como etapa de adaptación.

El primer monitoreo se efectuó el 05 de mayo del 2018 a fin de recolectar las muestras para los análisis físico-químicos y el segundo monitoreo el 21 de mayo del 2018 (figura 8).



Figura 8. Monitoreo del agua residual luego de aplicado los tratamientos

3.5.3.2 *Análisis estadístico*

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar compuesto de tres tratamientos y un testigo con tres repeticiones, sometidos a un análisis de la varianza, tal y como se describe en la tabla 6:

Tabla 6. Esquema del análisis de varianza

Fuentes de variación		Grados de libertad
Tratamientos	(t-1)	3
Error	t(r-1)	8
Total	t(r-1)	11

3.5.4 Viabilidad económica, técnica y ambiental del tratamiento seleccionado

3.5.4.1 Factibilidad técnica

1. Ubicación (Capacidad operativa de la planta)
2. Calidad de agua tratada (Límite máximo permitido de contaminantes)
3. Rendimiento de tratamientos (Cantidad de agua tratada m³/día)
4. Reutilización del agua (Disposición final del agua tratada)

3.5.4.2 Factibilidad económica

1. Oferta (Capacidad de tratamiento de la planta)
2. Demanda (Cantidad de agua servida generada)
3. Costos de operación (Valor del m³ de agua tratada)
4. Costo de materiales e insumos a emplear en el tratamiento
5. Rata de repago (Tiempo de vida / Periodo de retorno)
6. Valor Presente Neto (Viabilidad económica)

3.5.4.3 Factibilidad ambiental

1. Valoración de impactos ambientales (Matriz de Leopold)
2. Significancia de impactos ambientales (Matriz de significancia)
3. Huella hídrica gris : $HA\ gris = L / (Cmax - Cnat)$

Donde:

HA gris= Huella hídrica gris

L=referido en masa/tiempo

Cmax=concentración máxima aceptable (masa/volumen)

Cnat=expresado en masa/volumen

3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

3.6.1 Estadística descriptiva

Fue utilizada para la presentación en tablas de los datos del análisis de laboratorio, mediante el empleo del software Microsoft Office y su aplicación Excel 2013. La utilización de este programa permitió tabular e interpretar de forma más eficiente el conjunto de datos obtenidos.

3.6.2 Estadística inferencial

Se la utilizó en el análisis de la varianza de los datos derivados de la aplicación de los tratamientos biológicos, para efectos del mismo se hizo uso del software estadístico InfoStat versión 2018. Para determinar las diferencias entre medias de los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey. Previo al ingreso de los datos al programa estadístico, éstos fueron convertidos a raíz cuadrada, con la finalidad de uniformizar los datos, y que los valores reportados con cero no influyan en el análisis estadístico. Así también se realizaron contrastes ortogonales entre testigo y las plantas acuáticas.

Para determinar el incremento o disminución de las diferentes variables estudiadas se procedió a obtener el promedio de los dos muestreos y este valor se lo restó de los datos obtenidos por el testigo mediante el uso de la siguiente fórmula.

$$\% = \frac{\text{PROMEDIO TESTIGO} - \text{PROMEDIO DEL MUESTREO}}{\text{PROMEDIO TESTIGO}} \times 100$$

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

“La idea de que el agua es pública o privada es errónea; igualmente es una responsabilidad compartida”

Aziza Akhmouch

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE RESIDUAL

El efluente residual del sistema de lagunas de oxidación de la ciudad de Pedro Carbo se caracteriza por poseer un caudal de 1.119,98m³/día, el mismo que procede de 2.314,00 domicilios situados en la cabecera cantonal, cuyo índice de hacinamiento corresponde a 4 hab/vivienda; cada habitante consume en promedio alrededor de 121 l/hab/día de agua (tabla 7). El caudal del efluente calculado para la ciudad de Pedro Carbo es relativamente bajo, si lo comparamos con el caudal reportado por Borja (2011, pág. 79) en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Guaranda (86.9702, 40 m³/día), a pesar que la diferencia poblacional entre ambas urbes es de apenas el 17%, siendo Guaranda mucho más poblada que Pedro Carbo; sin embargo, la discrepancia entre caudales se resume en el consumo per cápita de agua de la población, ya que en Guaranda se consumen 334,50 l/hab/día, mientras que en la ciudad de Pedro Carbo dicho consumo es de apenas 121 l/hab/día. Esta divergencia en el consumo de agua de la población da lugar a la generación de un mayor volumen de aguas residuales, y por ende encarece el proceso de tratamiento, requiriendo así de instalaciones de mayor capacidad.

Tabla 7. Características del efluente residual

Variable	Valor
Índice de hacinamiento	4 hab/vivienda
Consumo de agua diaria de la población	121 l/hab/día
Número de viviendas conectadas al sistema de alcantarillado	2.314,00 domicilios
Caudal del efluente	1.119,98 m ³ /día

Fuente: GAD Municipal de Pedro Carbo, 2018

4.2 IDENTIFICACIÓN DE CONTAMINANTES DEL AGUA RESIDUAL

De acuerdo con el análisis físico-químico del agua residual procedente de las estaciones de bombeo de la ciudad de Pedro Carbo, se obtuvo que los parámetros cloruros, coliformes fecales y sólidos totales fueron más representativos en la estación de bombeo # 2 “Cementerio”; así mismo que la DQO y DBO₅ fueron más características en esta misma estación y en cada monitoreo (tabla 8).

Tabla 8. Parámetros físico-químicos del agua residual de las estaciones de bombeo

PARÁMETRO	UNIDAD	MONITOREO 1		MONITOREO 2	
		Estación de Bombeo # 2	Estación de Bombeo #1	Estación de Bombeo #1	Estación de Bombeo #2
Aceites y grasas	mg/l	2.0	1.60	1.20	2.00
Aluminio	mg/l	<0.004	<0.030	<0.004	0.022
Arsénico	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Bario	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Boro	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Cadmio	µg/l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Zinc	mg/l	0.16	0.10	<0.03	0.07
Cloro activo	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Cloruros	mg/l	156.0	56.0	110.0	140.0
Cobre	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes fecales	NMP/100ml	1190.0	840.0	890.0	360.0
Color	µPt/Co	10.0	8.0		Gris
Fenoles	mg/l	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
Cromo Hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
DQO	mg/l	287	110	250	687
DBO ₅	mg/l	138	50	102	259
Fluoruro	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Fósforo total	mg/l	0.17	0.10	0.16	0.30
Hierro total	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Hidrocarburos tot. de petróleo	mg/l	<0.01	<0.01	<3.2	<2.5
Material flotante	-	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
Mercurio	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	0.18	0.08	2.20	1.25
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	0.32	0.18	8.00	5.0
Organoclorados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Organofosforados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Plomo	µg/l	<3	<3.0	<3	<3.0
pH a 25°C unidades	-	7.4	7.5	7.1	7.3
Sólidos suspendidos totales	mg/l	220	182	244	96
Sólidos totales	mg/l	2290	1650	1320	1830
Sulfatos	mg/l	96	94	91	74
Sulfuros	mg/l	32.0	30.0	30.0	24.0
Temperatura	°C	26.0	26	24.0	24
Tensoactivos detergentes mg/l	mg/l	0.126	0.128	<0.100	21.0

Fuente: LABMOS, 2017

Con respecto al análisis físico-químico de la laguna facultativa “A” se registró que los valores de los parámetros analizados fueron menores durante el segundo monitoreo, a diferencia de los aceites y grasas, DBO, DQO₅, nitrógeno amoniacal y total, y detergentes (tabla 9).

Tabla 9. Parámetros físico-químicos del agua residual de la laguna facultativa “A”

PARÁMETRO	UNIDAD	MONITOREO 1		MONITOREO 2	
		Entrada Laguna “A”	Salida Laguna “A”	Entrada Laguna “A”	Salida Laguna “A”
Aceites y grasas	mg/l	0.80	1.40	1.90	4.30
Aluminio	mg/l	<0.004	<0.004	0.050	<0.004
Arsénico	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Bario	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Boro	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Cadmio	µg/l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Zinc	mg/l	0.12	0.06	0.04	0.08
Cloro activo	mg/l	0.00	0.00	0.00	<0.20
Cloruros	mg/l	120.0	160.0	112.0	144.0
Cobre	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Coliformes fecales	NMP/100ml	1250.0	1500.0	160.0	110.0
Color	µPt/Co	10.0	20.0	Verdoso	Verdoso
Fenoles	mg/l	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
Cromo Hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
DQO	mg/l	318	332	528	692
DBO ₅	mg/l	127	206	247	316
Fluoruro	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Fósforo total	mg/l	0.20	0.00	0.26	0.16
Hierro total	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00
Hidrocarburos tot. de petróleo	mg/l	<0.01	<0.01	<2.5	<1.0
Material flotante	-	Presencia	Presencia	Presencia	Presencia
Mercurio	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	0.00	0.08	2.80	3.0
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	0.00	0.15	14.0	18.0
Organoclorados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Organofosforados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Plomo	µg/l	<3	<3.0	<3	<3.0
pH a 25°C unidades	-	7.1	7.4	7.4	7.8
Sólidos suspendidos totales	mg/l	300	280	256	110
Sólidos totales	mg/l	2495	2255	1995	1805
Sulfatos	mg/l	100	102	71	50
Sulfuros	mg/l	33.0	34.0	23.0	16.0
Temperatura	°C	26.0	27	24.0	24
Tensoactivos detergentes mg/l	mg/l	0.010	0.014	18.600	9.60

Fuente: LABMOS, 2017

El análisis físico-químico del agua residual de la laguna “D”, exhibió que los parámetros aceites y grasas, color, DBO, DQO₅, nitrógeno total y sólidos suspendidos totales fueron más evidentes en la salida de dicha laguna (tabla 10).

Tabla 10. Parámetros físico-químicos del agua residual de la laguna “D”

PARÁMETRO	UNIDAD	LAGUNA “D”	
		Entrada	Salida
Aceites y grasas	mg/l	1.50	2.80
Aluminio	mg/l	<0.004	<0.004
Arsénico	mg/l	0.00	0.00
Bario	mg/l	0.00	0.00
Boro	mg/l	0.00	0.00
Cadmio	µg/l	<1.0	<1.0
Zinc	mg/l	0.15	0.12
Cloro activo	mg/l	<0.20	0.00
Cloruros	mg/l	140.0	100.0
Cobre	mg/l	0.00	0.00
Coliformes fecales	NMP/100ml	1880.0	1100.0
Color	µPt/Co	15.0	18.0
Fenoles	mg/l	<0.030	<0.030
Cromo Hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01
DQO	mg/l	277	314
DBO ₅	mg/l	103	169
Fluoruro	mg/l	0.00	0.00
Fósforo total	mg/l	0.13	0.10
Hierro total	mg/l	0.00	0.00
Hidrocarburos tot. de petróleo	mg/l	<0.01	<0.01
Material flotante	-	Presencia	Presencia
Mercurio	mg/l	<0.005	<0.005
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	0.14	0.16
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	0.26	0.30
Organoclorados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2
Organofosforados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2
Plomo	µg/l	<3.0	<3.0
pH a 25°C unidades	-	7.7	7.5
Sólidos suspendidos totales	mg/l	126	188
Sólidos totales	mg/l	2080	1960
Sulfatos	mg/l	97	94
Sulfuros	mg/l	30.0	31.0
Temperatura	°C	26.0	26
Tensoactivos detergentes mg/l	mg/l	0.015	0.115

Fuente: LABMOS, 2017

En la laguna de oxidación - etapa de maduración, los parámetros DQO y sólidos suspendidos totales fueron más representativos en la entrada de la laguna, mientras que los coliformes fecales, sólidos totales y sulfatos se mostraron más ostentosos en la salida de la laguna (tabla 11).

Tabla 11. Parámetros físico-químicos del agua residual de la laguna “D”

PARÁMETRO	UNIDAD	LAGUNA DE OXIDACIÓN	
		Entrada 'Maduración'	Salida 'Maduración'
Aceites y grasas	mg/l	5.30	7.50
Aluminio	mg/l	0.063	<0.004
Arsénico	mg/l	0.00	0.00
Bario	mg/l	0.00	0.00
Boro	mg/l	0.00	0.00
Cadmio	µg/l	<1.0	<1.0
Zinc	mg/l	0.31	0.16
Cloro activo	mg/l	0.00	0.00
Cloruros	mg/l	138.0	140.0
Cobre	mg/l	0.00	0.00
Coliformes fecales	NMP/100ml	510.0	810.0
Color	µPt/Co	Verdoso	Verdoso
Fenoles	mg/l	<0.030	<0.030
Cromo Hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01
DQO	mg/l	638	512
DBO5	mg/l	291	209
Fluoruro	mg/l	0.00	0.00
Fósforo total	mg/l	0.12	0.20
Hierro total	mg/l	0.00	0.20
Hidrocarburos tot. de petróleo	mg/l	<5.0	<5.0
Material flotante	-	Presencia	Presencia
Mercurio	mg/l	<0.005	<0.005
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	8.0	3.0
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	20.0	12.0
Organoclorados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2
Organofosforados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2
Plomo	µg/l	<3.0	<3.0
pH a 25°C unidades	-	7.5	7.4
Sólidos suspendidos totales	mg/l	1680	46
Sólidos totales	mg/l	54	1665
Sulfatos	mg/l	17	65
Sulfuros	mg/l	30	21.0
Temperatura	°C	24	24
Tensoactivos detergentes mg/l	mg/l	13.50	8.70

Fuente: LABMOS, 2017

El análisis físico-químico del efluente final de descarga denota el incumplimiento legal de los parámetros DQO, DBO₅, sólidos totales y sulfuros, ya que transgreden el estándar de calidad estipulado en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente para efluentes residuales; asimismo se registró una disminución importante de los parámetros aceites y grasas, DQO, DBO₅, nitrógeno total y detergentes para el segundo monitoreo de calidad de agua, esto podría ser por las precipitaciones de la etapa lluviosa (tabla 12).

Tabla 12. Parámetros físico-químicos del efluente residual final

PARÁMETRO	UNIDAD	DESCARGA	EFLUENTE	TULSMA
		FINAL (Oct/2017)	FINAL (Ene/2018)	Valores referenciales
Aceites y grasas	mg/l	5.60	2.0	30.0
Aluminio	mg/l	0.030	<0.004	5.0
Arsénico	mg/l	0.00	0.00	0.1
Bario	mg/l	0.00	0.00	2.0
Boro	mg/l	0.00	0.00	2.0
Cadmio	µg/l	<1.0	<1.0	0.02
Zinc	mg/l	0.25	0.18	5.0
Cloro activo	mg/l	0.00	0.00	0.5
Cloruros	mg/l	150.0	152.0	1000
Cobre	mg/l	0.00	0.00	1.0
Coliformes fecales	NMP/100ml	100.0	1720.0	2000
Color	µPt/Co	Marrón	10.0	Inapreciable en dilución 1/20
Fenoles	mg/l	<0.030	<0.030	0.2
Cromo Hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	0.5
DQO	mg/l	567	71	200
DBO ₅	mg/l	222	39	100
Fluoruro	mg/l	0.0	0.00	5.0
Fósforo total	mg/l	0.22	0.10	10.0
Hierro total	mg/l	0.00	0.03	10.0
Hidrocarburos tot. de petróleo	mg/l	<2.5	<0.01	20.0
Material flotante	-	Presencia	Presencia	Ausencia
Mercurio	mg/l	<0.005	<0.005	0.005
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	6.0	0.12	30.0
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	30.30	0.21	50.0
Organoclorados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2	0.05
Organofosforados totales mg/l	mg/l	<0.2	<0.2	0.1
Plomo	µg/l	<3.0	<3.0	0.2
pH a 25°C unidades	-	7.5	7.4	6-9
Sólidos suspendidos totales	mg/l	128	112	130
Sólidos totales	mg/l	1570	2100	1600
Sulfatos	mg/l	57	98	-

Sulfuros	mg/l	18.0	32.0	0.5
Temperatura	°C	24.0	27.0	Condición natural ±3
Tensoactivos detergentes mg/l	mg/l	6.00	0.028	0.5

Fuente: LABMOS, 2017

4.3 TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS PARA DESCONTAMINAR AGUAS RESIDUALES

4.3.1 Efectos de plantas biológicas sobre los parámetros físicos: Temperatura

El parámetro temperatura (Tabla13) se redujo (14,85%) a raíz de la aplicación de los tratamientos a base de plantas macrófitas, sobre todo la especie *Eichhornia crassipes*. Esto coincide con lo identificado por Guerrero (2014), quién reportó una reducción del 3,54% en los niveles de temperatura del agua residual; además, Celis *et al* (2005) determinó que una reducción a 0 °C en los niveles de temperatura inhibe el crecimiento de *E. crassipes*.

Tabla 13. Temperatura (°C)

Tratamiento	I MUESTREO		II MUESTREO	
	Medias	E.E.	Medias	E.E.
<i>Eichhornia crassipes</i>	4,24 A	0,03	4,36 A	0,05
<i>Lemna minor</i>	4,32 A	0,03	4,43 A	0,05
<i>Azolla Lam</i>	4,32 A	0,03	4,40 A	0,05
Testigo	4,90 B	0,06	5,20 B	0,08

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0, 05$)

4.3.2 Efectos de plantas biológicas sobre los parámetros químicos: Sólidos

Totales y materia orgánica.

4.3.2.1 Sólidos Totales

La especie *Eichhornia crassipes* se mostró más incidente en la reducción de Sólidos Suspendidos Totales (Tabla14) en el segundo muestreo, pero de acuerdo al promedio de

los dos muestreos reduce el 30,42%, aunque Ramos & Pineda (2016), determinaron que el uso de *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de efluentes residuales, reduce un 99,6% los niveles de SST. De igual forma Sarango & Sánchez (2016), reportaron una disminución del 96,72% de la concentración de STT en aguas residuales, en la presente investigación se observa una disminución significativa de este parámetros, aunque muy alejada de los valores reportados por dichos autores..

Tabla 14. Sólidos Suspendidos Totales (mg/l)

Tratamiento	I MUESTREO			II MUESTREO		
	Medias		E.E.	Medias		E.E.
<i>Eichhornia crassipes</i>	9,37	A	0,21	9,56	A	0,03
<i>Azolla Lam</i>	9,40	A	0,21	10,53	A	0,03
<i>Lemna minor</i>	10,13	A	0,21	9,95	A	0,03
Testigo	10,49	A	0,36	16,73	B	0,05

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los Sólidos Totales (Tabla15) fueron reducidos en mayor medida por parte del tratamiento con *Azolla Lam* (9,56%), aunque en menor porcentaje que los reportados por Sarango y Sánchez (2016), quienes obtuvieron porcentajes de eliminación de ST de hasta 95,88% por parte de *A. Lam*.

Tabla 15. Sólidos Totales (mg/l)

Tratamiento	I MUESTREO			II MUESTREO		
	Medias		E.E.	Medias		E.E.
<i>Azolla Lam</i>	39,81	A	0,76	41,56	A	1,39
<i>Eichhornia crassipes</i>	40,24	A	0,76	39,57	A	1,39
Testigo	42,49	A	1,32	47,49	A	2,41
<i>Lemna minor</i>	42,78	A	0,76	40,58	A	1,39

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.3.2.2 Materia Orgánica

El parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (Tabla16) fue reducida en mayor medida por parte de *Lemna minor* (75,48%) en el primer monitoreo, mientras que *Eichhornia crassipes* reduce (80,76%) considerablemente en el segundo monitoreo. Este potencial de reducción contrasta con el porcentaje de remoción identificado por Ramos & Pineda (2016) para *L. minor* y *E. crassipes* el cual fue de 98,4%. Sarango & Araujo (2016), identificaron que durante la cuarta semana de aplicado el tratamiento de agua residual con *L. minor* y *E. crassipes* la reducción de la DBO₅ ascendió hasta los 73,36% y 91,96% respectivamente.

Tabla 16. DBO₅ (mg/l)

Tratamiento	I MUESTREO			II MUESTREO		
	Medias		E.E.	Medias		E.E.
<i>Lemna minor</i>	4,36	A	0,07	6,63	A	0,18
<i>Eichhornia crassipes</i>	4,54	A	0,07	2,76	B	0,18
<i>Azolla Lam</i>	6,40	B	0,07	9,39	C	0,18
Testigo	17,78	C	0,13	14,35	D	0,32

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0, 05$)

La especie *Lemna minor* exhibió un mayor poder de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (Tabla17) del agua residual (77,35%); concordando así con Sierra *et al* (2016) quienes demostraron que *L. minor* es capaz de remover hasta 60 mg/l de DQO en agua residual municipal durante los tres primeros días de aplicado el tratamiento. Asimismo, Sarango & Sánchez (2016) identificaron remoción de DQO de hasta 72,57% durante la cuarta semana de tratamiento.

Tabla 17. DQO (mg/l)

Tratamiento	I MUESTREO			II MUESTREO		
	Medias		E.E.	Medias		E.E.
<i>Lemna minor</i>	6,27	A	0,13	3,45	A	0,16
<i>Eichhornia crassipes</i>	6,52	A	0,13	8,71	B	0,16

<i>Azolla Lam</i>	9,38	B	0,13	11,79	C	0,16
Testigo	25,08	C	0,22	17,83	D	0,27

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.3.2.3 Nitrógeno Total

El amoníaco (Tabla18) mostró una reducción representativa del agua residual tratada con plantas acuáticas, siendo la especie *Eichhornia crassipes* la de mayor eficiencia (100% de reducción). En este sentido, Celiset *al* (2005), reportaron que la biorremediación con plantas acuáticas reduce los niveles de amoníaco entre 37% y 95%, ya que contribuye con el establecimiento de comunidades bacterianas desnitrificantes. Asimismo, Sarango & Sánchez (2016) corroboraron la eficiencia de *Eichhornia crassipes* en la reducción de amoníaco en agua residual con respecto a su homólogo *Lemna minor*, cuyos valores de remoción encontrados fueron 70,04 mg/L y 40,4 mg/L respectivamente.

Tabla 18. Amoníaco (mg/l)

Tratamientos	I MUESTREO		II MUESTREO	
	Medias	E.E.	Medias	E.E.
<i>Eichhornia crassipes</i>	0,00 A	0,05	0,00 A	0,07
<i>Azolla Lam</i>	0,07 A	0,05	0,09 A	0,07
<i>Lemna minor</i>	0,11 A	0,05	0,14 A	0,07
Testigo	1,73 B	0,09	1,73 B	0,12

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.3.2.4 Fósforo Total

La disminución de los niveles de fósforo total (Tabla19) para el agua residual fue poco representativa para las tres especies de plantas evaluadas y a la vez fueron muy

similares (alrededor del 18%) en el primer muestreo mientras que en el segundo no hubo reducción. Con respecto a la eliminación de este parámetro en aguas residuales, Valderrama *et al* (2000) obtuvo 92% de remoción de fósforo a los seis días del tratamiento con *Eichhornia crassipes*. Mientras que Sarango & Araujo (2016) obtuvieron el 86,77% de eliminación de fósforo por parte de *Lemna minor* luego de la cuarta semana de aplicado el tratamiento.

Tabla 19. Fósforo total (mg/l)

Tratamiento	I MUESTREO		II MUESTREO	
	Medias	E.E.	Medias	E.E.
<i>Azolla Lam</i>	0,42 A	0,03	0,53 A	0,03
<i>Eichhornia crassipes</i>	0,44 A	0,03	0,45 A	0,03
<i>Lemna minor</i>	0,45 A	0,03	0,54 A	0,03
Testigo	0,51 A	0,05	0,45 A	0,05

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0, 05$)

El pH (Tabla 20) del agua residual mostró una reducción poco representativa para la especie *Azolla Lam* durante el primer monitoreo, a diferencia del segundo monitoreo, en el cual el valor registrado fue superior al del testigo (agua residual no tratada); mientras que para *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* los valores de pH se incrementaron a raíz de la aplicación de dichos tratamientos. Este ínfimo incremento de los valores de pH en el agua residual luego de aplicado los tratamientos con plantas macrófitas puede explicarse según lo expresado por Valderrama (1996), quién encontró que la aplicación de estas plantas pueden significar un aumento progresivo de los niveles de pH, con tendencia a la neutralidad, sobre todo por parte de la especie *E. crassipes*. Asimismo, Rodríguez *et al* (2010) reportó incrementos de pH en el agua residual inducido por *L. minor*, lo cual se justifica debido a las condiciones biológicas propias de la planta.

Tabla 20. pH a 25 °C

Tratamiento	I MUESTREO			II MUESTREO		
	Medias		E.E.	Medias		E.E.
<i>Eichhornia crassipes</i>	2,72	A	0,03	2,86	A	0,03
<i>Azolla Lam</i>	2,73	A	0,03	2,81	A	0,03
<i>Lemna minor</i>	2,79	A	0,06	2,79	A	0,03
Testigo	2,79	A	0,03	2,72	A	0,05

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0, 05$)

Las tres plantas evaluadas redujeron significativamente los niveles de cloruros (Tabla 21) en el agua residual tratada, con predominancia de la especie *Lemna minor* la cual ostento mejores resultados en la disminución de este parámetro (22,06%). Esto a la vez concuerda con Ramos & Pineda (2016), quienes obtuvieron un promedio de reducción de cloruros del 85,8% para aguas residuales procedentes del faenamiento animal.

Tabla 21. Cloruros (mg/l)

Tratamientos	I MUESTREO			II MUESTREO		
	Medias		E.E.	Medias		E.E.
<i>Lemna minor</i>	8,87	A	0,21	9,02	A	0,14
<i>Azolla Lam</i>	9,11	A	0,21	9,69	A	0,14
<i>Eichhornia crassipes</i>	9,25	A	0,21	8,87	A	0,14
Testigo	12,00	B	0,37	10,95	B	0,24

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

El contenido de Sulfatos (Tabla 22) mostró un incremento representativo para los tres tratamientos aplicados, especialmente para la especie *Azolla Lam*. Con respecto a este parámetro León & Lucero (2008) determinaron que las especies *E. crassipes*, *Azolla* spp y *Lemna* spp ostentan un crecimiento acelerado en aguas residuales ricas en sulfatos.

Tabla 22. Sulfatos (mg/l)

Tratamiento	I MUESTREO			II MUESTREO		
	Medias		E.E.	Medias		E.E.
Testigo	7,07	A	0,07	10,10	A	0,18
<i>Eichhornia crassipes</i>	14,41	B	0,07	14,61	B	0,18

<i>Lemna minor</i>	14,98	B	0,07	15,09	B	0,18
<i>Azolla Lam</i>	15,53	B	0,13	15,25	B	0,32

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los niveles de Sulfuros (Tabla 23) mostraron un incremento a raíz de la implementación de los tratamientos con plantas macrófitas, lo cual según León & Lucero (2008) se justifica debido a que las especies *E. crassipes*, *Azolla* spp y *Lemna* spp lo demandan para su crecimiento.

Tabla 23. Sulfuros (mg/l)

Tratamiento	I MUESTREO		II MUESTREO	
	Medias	E.E.	Medias	E.E.
Testigo	4,00 A	0,20	5,83 A	0,32
<i>Eichhornia crassipes</i>	8,42 B	0,12	8,64 B	0,18
<i>Lemna minor</i>	8,46 B	0,12	8,83 B	0,18
<i>Azolla Lam</i>	8,83 B	0,12	8,79 B	0,18

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

4.3.3 Efectos de plantas biológicas sobre los parámetros biológicos: Coliformes

Fecales

El parámetro coliformes fecales fue reducido en mayor medida (42,93%) por parte de las especies *Eichhornia crassipes*, seguido de *Azolla Lam*, a diferencia de *Lemna minor* la misma que mostró ser menos eficiente. (Tabla 24). Según investigación de Valderrama *et al* (2000) la especie *Eichhornia crassipes* reportó un 99% en la remoción de coliformes fecales; de igual forma León & Lucero (2008) reportaron buena capacidad de eliminación del grupo coliforme por parte de *Azolla* spp.

Tabla 24. Coliformes fecales (MN/NMP)

Tratamientos	I MUESTREO			II MUESTREO		
	Medias		E.E.	Medias		E.E.
<i>Eichhornia crassipes</i>	16,96	A	0,26	17,71	A	1,36
<i>Azolla Lam</i>	18,50	A	0,26	18,69	A	1,36
<i>Lemna minor</i>	20,97	B	0,26	19,95	A	1,36
Testigo	22,02	B	0,45	38,73	B	2,36

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Contrastes ortogonales

Los contrastes ortogonales determinaron la tendencia del comportamiento entre las medias analizadas al comparar el tratamiento testigo (agua residual) vs las plantas acuáticas evaluadas. Se estableció que hubo diferencias estadísticas altamente significativas (**) para las variables amoníaco, cloruros, coliformes fecales, DQO, DBO5, sulfatos, sulfuros y temperatura del agua, no así para las variables fósforo total, pH, sólidos suspendidos totales y sólidos totales, presentando los promedios más bajos que el testigo a excepción de las variables sulfatos y sulfuros, donde el tratamiento testigo presentó valores menores que el resto. (Tabla 25). Estos resultados indican que el uso de plantas acuáticas es conveniente para descontaminar aguas residuales, pues mejoran sustancialmente los parámetros que determinan la calidad del agua.

Tabla 25. Contrastes y comparaciones ortogonales establecidas de acuerdo a las medias de los tratamientos en base a plantas acuáticas y el testigo absoluto.

Variables	Contrastes ortogonales				Significación estadística
	I muestreo		II muestreo		
	Testigo	P. acuáticas	Testigo	P. acuáticas	
Amoniaco mg/l	1.73	0.06	1.73	0.08	**
Cloruros mg/l	12.00	9.07	10.95	9.19	**
ColifFec MN/NMP	22.02	18.81	38.73	18.79	**

DQO mg/l	25.08	7.39	17.83	7.99	**
DBO5 mg/l	17.78	5.10	14.35	6.26	**
P Total mg/l	0.51	0.51	0.45	0.44	NS
pH	2.79	2.75	2.72	2.82	NS
Sólidos Sus P Tot. mg/l	10.49	9.63	16.73	10.01	NS
Sólidos totales mg/l	42.49	40.94	47.49	40.57	NS
Sulfatos mg/l	7.07	14.97	10.10	14.99	**
Sulfuros mg/l	4.0	8.57	5.83	8.75	**

4.4 TRATAMIENTO ÓPTIMO PARA DEPURAR AGUAS RESIDUALES EN TÉRMINOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS, Y AMBIENTALES

Debido a que el comportamiento estadístico de los tres tratamientos biológicos evaluados es similar, se decidió optar por la Lenteja de agua (*Lemna minor*) como medio biológico para el tratamiento del agua residual, debido a que recientemente ha tomado una gran relevancia a nivel global en la descontaminación de efluentes residuales, a partir de esta selección se procede a realizar la factibilidad técnica de su uso.

4.4.1 Factibilidad Técnica y Económica

La factibilidad técnica y Económica del proyecto se fundamentó en la consideración de diversos aspectos operativos y financieros, los mismos que seguidamente se detallan:

4.4.1.1 Calidad de agua tratada; Niveles máximos permisibles de contaminantes:

Según el análisis físico-químico realizado al agua residual que ingresa al sistema de lagunas de oxidación facultativas del GAD Municipal de Pedro Cargo, ésta presenta niveles considerables de contaminación orgánica e inorgánica, sobre todo por el incumplimiento legal que exhibieron los siguientes parámetro: DQO, DBO5, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Totales, Sulfuros y Tensoactivos detergentes, los mismos

que exceden el límite máximo permisible establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente.

4.4.1.2 Rendimiento de tratamientos; Cantidad de agua tratada m³/día:

De acuerdo con los datos proporcionados por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado del GAD Municipal de Pedro Carbo, el sistema de lagunas de oxidación facultativas dispone un caudal de tratamiento diario de 1.119,98 m³/día, el mismo que es relativamente adecuado para las dimensiones territoriales y demográficas del cantón.

4.4.1.3 Reutilización del agua; Disposición final del agua tratada:

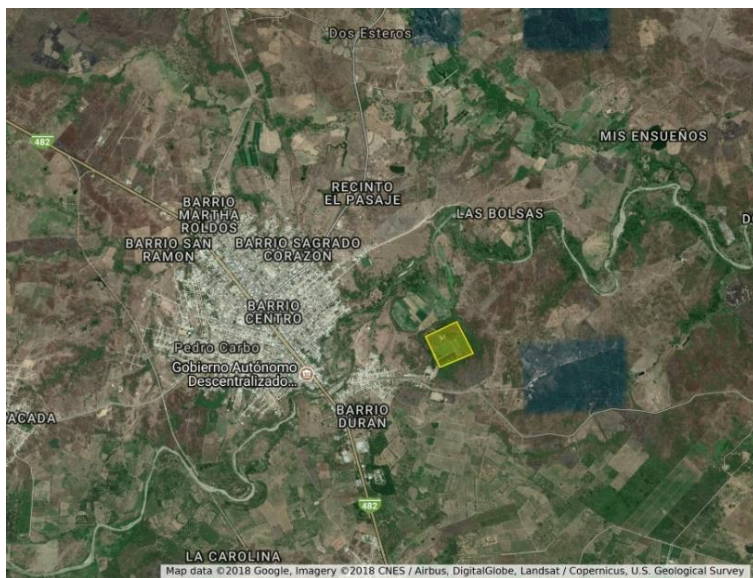
El agua tratada en las lagunas de oxidación facultativas es reinsertada al cauce natural del río de la localidad, siempre y cuando haya cumplido con los estándares de calidad establecidos en la normativa ambiental vigente para aguas tratadas.

Si se aplican medidas más rigurosas en cuanto al control de los parámetros microbiológicos de dichas aguas, éstas podrían ser reutilizadas como insumo para la agricultura desarrollada en la zona.

4.4.1.4 Ubicación de la planta de tratamiento; Capacidad operativa de la planta:

Las lagunas de oxidación facultativas se encuentran dispuestas fuera del área urbana de Pedro Carbo, siendo la infraestructura más próxima a la misma, el Sub-centro de Salud 09D14 situado a una distancia prudencial y reglamentaria de 500m. Además, la planta dispone en sus alrededores de una zona de vegetación que le sirve como zona de amortiguamiento ante posibles afectaciones ambientales (principalmente malos olores y/o vapores). Dispone de vías de acceso para el ingreso a la misma.

Figura 9.Ubicación de la planta de Tratamiento



Fuente: (http://satellites.pro/mapa_de_Pedro_Carbo)

4.4.1.5 Costos de operación; Valor del m³ de agua tratada:

Si consideramos como referencia el costo de inversión (\$12.569,11) utilizado para el desarrollo de este prototipo de tratamiento biológico, en el que se emplearon 3 tipos distintos de tratamiento, y es más tomando en cuenta las dimensiones de las lagunas de oxidación se requerirían en promedio alrededor de \$200 mensuales para la implementación del tratamiento biológico a base de Lenteja de agua (*Lemna minor*). Sumado a esto la remuneración de un salario básico mensual para una persona responsable del manejo de dicho tratamiento.

4.4.1.6 Inversión; Materiales e insumos a emplear en el tratamiento:

- Geomembrana
- Semillas de lenteja de agua
- Reservorios

4.4.2 Factibilidad ambiental

Tabla13. Matriz de Leopold

Factor ambiental		Actividades/acciones										Impactos positivos	Impactos negativos	Agregación de impactos	
		Recolección de aguas de desecho	Conducción del agua cruda	Control de olor	Cribado	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Manejo de desechos sólidos	Tratamiento terciario	Desinfección	Tratamiento de lodos				Evacuación del agua tratada
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J				K
1	Calidad de Aire			-2 / 3		-2 / 2	-1 / 2				-1 / 2		-	4	-14
2	Nivel Sonoro												-	-	-
3	Calidad del suelo		-3 / 2		-2 / 2			-3 / 3			-3 / 3		-	4	-28
4	Calidad de agua	-1 / 2						-2 / 2	-3 / 2		-2 / 3		-	4	-18
5	Cobertura vegetal										-2 / 2		-	1	-4
6	Vertebrados e invertebrados								-3 / 3	-2 / 2	-2 / 2		-	3	-17
7	Paisaje	-3 / 3	-3 / 3		-2 / 2	-1 / 2					-3 / 2	-3 / 2	-	6	-36
8	Salud			-3 / 3	-3 / 2	-3 / 2	-3 / 3	-2 / 2		-2 / 2	-1 / 2		-	7	-40
9	Percepción de la comunidad			-3 / 2									-	1	-6
10	Generación de empleo												-	-	-
Impactos positivos		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
Impactos negativos		2	2	3	3	3	2	2	1	3	6	3		30	
Agregación de impactos		-11	-15	-21	-14	-12	-11	-13	-4	-19	-27	-16			-163

Producto de la valoración de los impactos ambientales generados por el proceso de tratamiento de aguas residuales se obtuvo lo siguiente: el paisaje y la salud humana son los factores ambientales más afectados por la incidencia de los impactos negativos; mientras que el control de olor y el tratamiento de lodos son las actividades de mayor incidencia. En esta misma evaluación se obtuvo un nivel de afectación de 30 unidades (correspondientes a los impactos negativos), los mismos que recayeron en la categoría de poco significativo.

Tabla 14, Nivel de afectación de impactos ambientales

Rango	Símbolo	Significancia
81 - 100	(+) MS	(+) Muy significativo
61 - 80	(+) S	(+) Significativo
41 - 60	(+) MEDS	(+) Medianamente significativo
21 - 40	(+) PS	(+) Poco significativo
0 - 20	(+) NS	(+) No significativo
0 - 20	(-) NS	(-) No significativo
21 - 40	(-) PS	(-) Poco significativo
41 - 60	(-) MEDS	(-) Medianamente significativo
61 - 80	(-) S	(-) Significativo
81 - 100	(-) MS	(-) Muy significativo

4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis físico-químico del agua residual del cantón Pedro Carbo demostró que los parámetros: DQO, DBO₅, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos Totales, Sulfuros y Tensoactivos detergentes exceden el estándar de calidad fijado por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Para el caso del parámetro DQO, este ostentó valores superiores a los 600 mg/l, caso contrario al valor identificado por Charris & Caselles (2016, pág. 97) en aguas residuales industriales no tratadas, el mismo que correspondió a 246 mg/l, siendo así relativamente inferior al reportado en

esta investigación. La DBO₅ registro valores dentro del rango de los 127-316 mg/l, mientras que Hernández *et al* (2012) reportaron un promedio de 52,5 mg/l para aguas residuales en la comunidad de Santa Clara-Cuba. Estos elevados niveles de DQO y DBO₅ en el agua residual del cantón Pedro Carbo denotan la existencia de una alta carga orgánica en el efluente, probablemente derivados de la mezcla del recurso con residuos de origen orgánicos (especialmente residuos de comida).

Los parámetros Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Totales también evidenciaron incumplimiento legal con respecto a la normativa ambiental vigente, esto debido a que ostentaron promedios de 250 y 2000 mg/l, respectivamente. Hernández *et al* (2012) obtuvo valores promedios de Sólidos Suspendidos Totales de 20,75 mg/l, siendo éstos absolutamente inferiores a los identificados en el agua residual de Pedro Carbo, a pesar que ambos efluentes son de procedencia similar.

Con la aplicación del tratamiento biológico de Lenteja de agua (*Lemna minor*) se notó una importante reducción del contenido de DBO₅ en los reservorios de agua residual, pasando de un promedio de 177 mg/l registrados en la fase inicial del tratamiento a un valor de 31,5 mg/l luego de aplicado este tratamiento biológico, lo cual corresponde de acuerdo al análisis estadístico a un 75,48% de reducción. De la misma manera la DQO al inicio registra un valor promedio de 398,78 mg/l pero con el tratamiento con esta planta acuática reduce a 57,76 mg/l lo que concierne a un porcentaje del 77,35%. El parámetro Cloruros también se reduce a un 22,06%. Esto se sustenta con lo reportado por Sierra *et al* (2016) quienes identificaron un elevado potencial de las *Lemna minor* sp en la disminución de materia orgánica y sólidos disueltos, lo cual se explica debido a su rápido crecimiento (0.1560 d^{-1}) en condiciones; dicho crecimiento contribuye a rápido

detrimento de los contaminantes. Tales cualidades de degradación se justifican debido a la eliminación de la gran mayoría de los contaminantes presentes en aguas residuales, es así, que Sierra *et al* (2018), identificaron una óptima eficiencia del género *Lemna* sp en la remoción de nitrógeno y fósforo en aguas residuales domésticas. A esto se suma el criterio de Poveda (2014), quién expresa a través de pruebas de descontaminación de aguas residuales industriales y agrícolas las especies *Lemna* spp. (Lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) evidenciaron resultados positivos muy similares.

La evaluación de los impactos producidos por el manejo de las aguas residuales derivó en la identificación de las actividades que mayor incidencia tienen sobre la calidad ambiental, así como los factores ambientales más vulnerables y/o mayormente afectados; identificándose al factor paisaje y salud humana como los más afectados y las actividades de control de olor y tratamiento de lodos como las acciones más incidentes. En este sentido, Arias & Méndez (2014) expresan que las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden ser muy perjudiciales para la salud humana, sino se ejecutan óptimas labores de manejo, sobre todo cuando existe persistencia en la emisión de malos olores.

CAPÍTULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

“Tomar agua nos da vida. Tomar
conciencia nos dará agua”

Acción Poética, Quito

5.1 CONCLUSIONES

- De la totalidad de parámetros físico-químicos analizados (34) para el agua residual de las lagunas de oxidación facultativas y la estación de bombeo del cantón Pedro Carbo, tan sólo seis mostraron incumplimiento legal con respecto a los estándares de calidad estipulados en el TULSMA.
- Se evidenció respuestas favorables por parte de los tres tratamientos biológicos implementados, sobre todo el correspondiente a la Lenteja de agua (*Lemna minor*) que reduce los contenidos de tres parámetros con un porcentaje considerable, mientras que el Jacinto de agua (*E. crassipes*) disminuye los contenidos de cinco parámetros pero en bajas proporciones a excepción del Amonio (100%); y, con el tratamiento Helecho de agua (*Azolla Lam*) se incrementó los valores de sulfatos y sulfuros, favoreciendo el crecimiento de la especie, pero tiene menor factibilidad de uso para descontaminar AR.
- La lenteja de agua denotó buenas aptitudes biorremediadoras del AR, por lo que redujo en un 75.48% el contenido de la DBO5; 77,35% de la DQO y 22,06% de Cloruros. Existiendo así, una diferencia entre el análisis previo a la implantación del tratamiento, y el análisis posterior al tratamiento.
- El proceso de tratamiento de AR genera diversas afectaciones medioambientales, de entre las cuales la de mayor importancia es la producida sobre el factor aire, debido a la generación de malos olores procedentes de la descomposición de la materia orgánica y la acumulación de lodos; impactos que de no ser manejados adecuadamente pueden repercutir seriamente en la salud

humana.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Establecer programas de monitoreo de la calidad del agua residual en diferentes puntos del sistema de tratamiento, lo cual permita tomar acciones en cuanto a la reducción de la contaminación de este recurso desde su fuente de generación.
2. Verificar que los parámetros de calidad de AR se sitúen dentro del umbral máximo permitido por la normativa ambiental nacional, y aún más, cuando el recurso tratado tiene como destino la reinserción hacia cuerpos de agua natural.
3. Valorar los beneficios ambientales y económicos producidos por el uso de agentes biológicos en la remediación de las aguas residuales, a fin de que estas alternativas de biorremediación sean mayormente promovidas.
4. Continuar con proyectos de investigación con el uso de plantas acuáticas (*Lemna minor*) estableciendo mayor tiempo para el estudio, realizando el análisis de la especie posterior a la descontaminación de las AR, de esta manera conocer el contenido de absorción de contaminantes, siendo esta planta de rápido crecimiento, debe realizarse la remoción periódica o manejo cuidadoso de la cosecha, ya que es hábitat para la proliferación de mosquitos, se recomienda utilizarla como pasto para la nutrición de los animales.
5. Promover el uso de tecnologías más limpias dentro de los recintos industriales, a fin de que se reduzca al mínimo la generación de aguas servidas altamente contaminantes, con lo cual se promovería el ahorro de costos de tratamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, Y. (2012). *Caracterización de Macroinvertebrados Acuáticos*. Madrid, España: Editorial Académica Española.
- ACODAL. (2005). *Bioingeniería de Aguas Residuales*. Bogotá, Colombia.
- Acosta, R. (2008). *Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Adams, J., Bartram, J., Chartier, Y., & Sims, J. (2010). *Normas sobre agua, saneamiento e higiene para escuelas en contextos de escasos recursos*. Norma, Organización Mundial de la Salud, Ginebra-Suiza.
- American Water Works Association. (2012). *Manual de entrenamiento para operadores de sistemas de distribución de agua* (Primera ed.). Estados Unidos de América: American Water Works Association.
- Arellano, J. (2002). *Introducción a la ingeniería ambiental*. Colombia: Alfaomega.
- Arias, D., & Méndez, E. (2014). Remoción de sólidos en aguas residuales de 1 a industria harinera de pescado empleando biopolímeros. *Tecnología y Ciencias del Agua* , 115-123.
- Arias, V. (2012). *Los caudales ecológicos en el Ecuador: análisis institucional y legal*. Análisis, Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental, Quito-Ecuador.
- Arnau, A. (2012). *El secreto del agua: La novela sobre el agua y el cambio climático* (Segunda ed.). Madrid-España: Díaz de Santos.

- Arnedo, C., Azofra, J., & Usón, C. (2012). *III Semana de la ciencia y la tecnología: el agua* (Primera ed.). España: Ministerio de Educación.
- Báez, N., & Toscano, J. (2014). *Diseño de lagunas de oxidación para tratamiento de aguas residuales generadas en el campamento El Coca de la Empresa Triboilgas*. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Baque, R., Simba, L., González, B., Suatunce, P., Díaz, E., & Cadme, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón del Ecuador. *Ciencia Unemi* , 109-117.
- Baroody, T., & Palmisano, R. (2015). *Alcalinizarse y Ionizarse: Para vivir sanos y más tiempo* (Primera ed.). (C. d. S.A.P.I.O., Ed.) México, D.F.: Bis Edizioni.
- Barreto, P. (2010). *Protocolo de monitoreo de agua*. Perú: Laboratorio de calidad ambiental.
- Battaner, E. (2012). *Biomoléculas: Una introducción estructural a la Bioquímica* (Primera ed.). Salamanca-España: Ediciones Universidad de Salamanca.
- BBVA. (2012). *Enseñar y aprender en época de cambios*. Madrid-España: Editorial biblioteca nueva.
- Borderías, M., & Martín, E. (2011). *Medio ambiente urbano*. Madrid, España: UNED.
- Borja, M. (2011). *Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales de la ciudad de Guaranda*. Riobamba: ESPOCH.
- Caballero, I. (2011). Depuración biológica de aguas. *Revista EcoHabitat* .

- CAMAREN. (2013). *La gestión comunitaria del agua para consumo humano y el saneamiento en el Ecuador*. Quito.
- Cárdenas, G., & Cárdenas, J. (2012). *Agricultura, urbanización y agua*. San José, Costa Rica: IICA.
- Castellanos, P. (2015). *Macroinvertebrados acuáticos en un nacimiento de río: En el Páramo de Santurbán, Colombia*. Barcelona, España: Ediciones EAE.
- Castro, J., López, M., Rodríguez, C., & Muñoz, A. (2011). *Sistema de reducción de lodos en tratamientos de aguas residuales*. Madrid, España: EOI.
- Celis, J., Junod, J., & Sandoval, M. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria* , 17-25.
- CEPAL. (2012). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador*. Quito, Ecuador: Naciones Unidas.
- Cerezo, J. (2011). *Estación depuradora de aguas residuales*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Charris, J., & Caselles, A. (2016). Eficiencia de eliminación de contaminantes del agua residual doméstica con humedales construidos experimentales plantados con *colonum* (Poaceae). *Tecnología y Ciencias del Agua* , 93-103.
- Clark, E. (2015). *Determinación de la estructura tarifaria del servicio de agua potable para la sostenibilidad económica del sistema de abastecimiento de agua de la parroquia Valle de la Virgen del cantón Pedro Carbo – provincia del Guayas*. Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.

Contreras, A., & Molero, M. (2011). *Ciencia y tecnología del medio ambiente*. Madrid, España: UNED.

Contreras, A., & Molero, M. (2011). *Ciencia y tecnología del Medioambiente* (Primera ed.). Madrid-España: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Creus, A. (2011). *Instrumentación industrial* (Octava ed.). Barcelona-España: Marcombo, S.A.

Cuenca, I., Salas, J., & Pidre, J. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Centroamérica: Ideasmares.

Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 597- 612.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua.

Domínguez, J., Martín, C., Chao, Y., Delgado, G., & Rodríguez, D. (2012). *Estudio de aguas continentales mediante teledetección* (Primera ed.). Madrid-España : UNED.

Fernández, J. (2001). Filtro autoflotantes de Macrófitas para la depuración de aguas residuales. *dialnet.unirioja.es*, 171–180, 2001. 224, 225, 230, 232.

Finkl, C., & Makowski, C. (2017). *Humedales costeros: alteración y remediación*. Boca Raton: Springer.

Folgueras, J. (2011). *IMFBE Proceeding. IV Latin American Congress on Biomedical*

Engineering. La Habana-Cuba: Springer.

Frutos, L., & Castorena, L. (2011). *Uso y gestión del agua en las zonas semiáridas y áridas*. Murcia, España: EDITUM.

Gamboa, M., Reyes, R., & Arrivillaga, J. (2008). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de salud ambiental. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental* , 109-120.

García, L. (2010). *Teoría de la medición de caudales y volúmenes de agua e instrumental necesario disponible en el mercado*. Madrid, España: Medida y evaluación de las extracciones de agua subterránea - ITGE.

Gavilánez, F. (2015). Influencia de *Eichhornia crassipes* y microorganismos eficientes sobre contaminantes químicos y orgánicos de las aguas residuales de Naranjito, Ecuador. *Revista de Investigación Científica* , 21-29.

González R, L. A. (1969). *Historia Natural*. Barcelona: Tomo III. Botánica. VI Ed. Instituto Gallach.

González, Jorge. (2015). *El acceso al agua potable como derecho humano* (Primera ed.). Alicante - España: ECU.

González, N., Sánchez, S., & Mairena, Á. (2014). Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad de agua del trópico húmedo en las microcuencas de los alrededores de Bluefields, RAAS . *Publicaciones WANI - Bluefields Indian & Caribbean University (BICU)* , 53-63.

Guayasamín, G. (2010). *FÍSICA: Ciencia fundamental* (Primera ed.). United States of

America : Xlibris Corporation.

Guerrero, E. (2014). *Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie acuática Eichhornia Crassipes en una laguna de oxidación secundaria de sector 9, Distrito de Manantay, provincia de Coronel Portillo, Ucayali 2014*. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.

Hereida, J. (2010). *Monitoreo y diagnóstico de las aguas superficiales asociadas a la Cuenca hidrográfica del Río Valdivia*. Valdivia, Chile: Universidad Austral de Chile.

Hernández, J., Pérez, M., & Domínguez, E. (2012). *Humedal subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales: diseño, construcción y evaluación*. Villa Clara: Revista Cubana de Química.

http://satellites.pro/mapa_de_Pedro_Carbo. (s.f.). Recuperado el 08 de Julio de 2018

INCLAM. (2012). *Diagnóstico de la Gestión de los Recursos Hídricos de la Cuenca Chira-Piura: Anexo 6 - Caracterización calidad de las aguas*. Piura, Perú: Control de Calidad.

Instituto Superior del Medio Ambiente. (Octubre de 2017). *Monitoreo de la calidad del agua*. Obtenido de <http://www.ismedioambiente.com/agenda/monitoreo-de-la-calidad-del-agua>

Koppen, V., Smits, S., Moriarty, P., De Vries, F., Mikhail, M., & Boelee, E. (2009). *Ascendiendo la escala del agua: servicios de abastecimiento de agua de usos múltiples para la reducción de la pobreza*. La Haya, Países Bajos: IWMI.

Kwong, E., Salas, N., Gutiérrez, E., & López, F. (2004). *Distribución del oxígeno*

disuelto, ph y temperatura, de la laguna facultativa de la Planta Maracaibo Sur.
Maracaibo, Venezuela.

León, M., & Lucero, A. (2008). *Estudio Eichhornia crassipes, Azolla filiculoides y Lemna gibba, en el tratamiento de aguas residuales domésticas aplicando a sistemas unifamiliares y comunitarios en el cantón Cotacachi - Ecuador.* Ibarra: Escuela de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables.

Linck, A., & Weemaels, N. (2010). *Hacia una agenda sudamericana de agua.* Pucará.

Losada, V. (2010). *EL RIEGO: fundamentos hidráulicos* (Primera ed.). Madrid-España: Mundi-Prensa.

Machucha, M., López, J., Palacios, J., & Martos, S. (2010). *El agua subterránea en el Parque Natural (De la Sierra de Aracena y Picos de Aroche)-Huelva* (Primera ed.). Madrid-España: TIASA.

Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental.* México D.F.: Ediciones Reverte.

manual, E. D. (1988). Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. *US EPA.* <http://yosemite.epa.gov/water/owrccatalog.nsf> , 225, 226, 229, 230, 231, 232, 235.

Méndez, R., San Pedro, L., Castillo, E., & Vázquez, E. (2010). Modelación del tiempo de conservación de muestras biológicas de agua. *Revista internacional de contaminación ambiental* , 327-335.

- Monguilot, I. (2010). *Agua y sostenibilidad: recursos, riesgos y remedios*. Madrid-España: Secretaria General Técnica.
- Mundigo, I., & Candel, J. (2012). *Bilogía* (Primera ed.). Santiago, Chile: Universida Católica de Chile.
- Municipalidad de Pedro Carbo. (2012). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Pedro Carbo*. Guayas, Ecuador: GAD Municipal.
- Navas, E. (2017). *Calidad de aguas: Usos y aprovechamiento*. Málaga, España: Interconsulting Bureau, S.L.
- Nievas, H., Caruso, M., Pizzio, F., Ferri, F., & Pérez, S. (2013). Monitoreo ambiental de aguas superficiales y subterráneas, consideración de áreas sensibles, distrito uranífero Pichiñán Este, departamento Paso de Indios provincia del Chubut. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* , 327-334.
- Olgúin y Hernández. (1998). Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater. *Institute of Ecology, Environmental Biotechnology. Vancouver. Available from: <http://www.idrc.ca/industry/canada>*.
- OMS. (2010). *Guías para la calidad del agua potable: Primer apéndice a la tercera edición*. OMS, Catalogación por la biblioteca de la OMS. Ginebra-Suiza: Organización Mundial de la Salud.
- Ortega, D. (2011). *Diagnóstico sobre la gestión y el uso del agua en el Sector Agropecuario de Nuevo León* (Primera ed.). Monterrey-México: Instituto Del Agua De

N.I.

Pancorbo, F. (2011). *Corrosión, degradación y envejecimiento de los materiales empleados en la edificación* (Primera ed.). Barcelona-España: Marcombo, S.A.

Paré, L., & Gerez, P. (2012). *Al filo del agua: cogestión de la subcuenca del río Pixquiac, Veracruz* (Primera ed.). México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología.

Peñuela, G., & Morató, J. (2017). *Manual de tecnologías sostenibles en tratamiento de aguas*. Barcelona, España: TECSPAR.

Poveda, R. (2014). *Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Prefectura del Guayas. (2012). *Plan de ordenamiento territorial de la provincia del Guayas*. Guayaquil, Ecuador: Gobierno Provincial del Guayas.

Pulido, G., Monks, S., & López, M. (2015). *Estudios en Biodiversidad*. Nebraska: Universidad de Nebraska - Cuerpo Académico de Uso, Manejo y Conservación de la Biodiversidad.

Quintana, Y. (2012). *Estudio de impacto ambiental expost de la red de alcantarillado sanitario, segunda etapa del cantón Pedro Carbo*. Pedro Carbo, Ecuador: Ekopraxis Cía. Ltda.

Quiñonez, J. (2015). *Aplicación de Trichoderma spp en la purificación de aguas residuales, utilizando biorreactores de biopelícula, en la unidad académica de ciencias químicas y de la salud de la universidad técnica de machala, 2014*. Machala, Ecuador:

Universidad Técnica de Machala.

Ramos, G., & Pineda, L. (2016). *Evaluación de eichhornia crassipes (mart.) Solms. Y lemna minor (l.) Griff. Como potenciales especies fitorremediadoras, de aguas contaminadas a causa del faenamiento de ganado vacuno y porcino del camal municipal del barrio la Recta, cantón Pangui.* Zamora: Universidad Nacional de Loja.

Rodríguez, I., Rodas, J., & Poch, M. (2008). *Capítulo III Contaminación del agua: Origen, Control y Monitoreo.* Girona, España.

Rodríguez, J., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México* , 59-68.

Roldán y Álvarez. (2002). Aplicación del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para el tratamiento de aguas residuales y opciones de reuso de la biomasa producida. *Revista Universidad Católica de Oriente.* , 15: 56-71.

Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortiz, M. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental* , 157-167.

Rosales, L., & Sánchez, S. (2013). Uso de Macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de calidad del agua del río Palacagüina, Norte de Nicaragua. *Revista Ciencias Ambientales* , 66-75.

Sainz, J. (2005). *Tecnologías para la sostenibilidad: procesos y operaciones unitarias*

en depuración de aguas residuales. 2007: Fundación EOI.

Sánchez, A. (21 de Octubre de 2014). *Slideshare*. Recuperado el 20 de Mayo de 2017, de Gestión de aguas residuales en Ecuador: <https://es.slideshare.net/CCIFEC/20-gestin-de-aguas-residuales-en-ecuador-senagua>

Sánchez, V. (2014). *EL AGUA QUE BEBEMOS, La necesidad de un nuevo sistema de tarifas en España* (Primera ed.). Madrid-España: Editorial DYKINSON, S.L.

Sarango, O., & Sánchez, J. (2016). *Diseño y construcción de 2 biofiltros con Eichhornia crassipes y Lemna minor para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la Extractora Río Manso Exa S.A. "Planta La Comuna" Quinindé*. Riobamba: ESPOCH.

Sierra, L., Hernández, R., & Rodríguez, J. (2016). Determinación de la tasa relativa de crecimiento de la lemna minor sp en el tratamiento de efluentes de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista de Investigaciones* , 91-97.

Sigler, A., & Bauder, J. (2012). *Nitrato y Nitrito* . Boletín, Universidad Estatal de Montana, Estados Unidos.

Soriano, A., & Pancorbo, F. (2012). *Suministro, distribución y evacuación interior de agua sanitaria*. Barcelona, España: Marcombo, S.A.

Soriano, A., & Pancorbo, J. (2012). *Suministro, distribución y evaluación interior de agua sanitaria* (Primera ed.). Barcelona-España: Marcombo, S.A.

Suárez, C. (2010). *Tratamiento de aguas residuales municipales en el Valle del Cauca*. Colombia: SWITCH.

Tineo, P. (2014). *Propuesta de Restauración Ambiental mediante el proceso de bioremediación, como tratamiento de aguas servidas del Recreo Turístico el Rancho Morales*. Tarapotó, Perú : Universidad Nacional de San Martín.

Trani, G., Chávez, J., Oropeza, J., & Hernández, G. (2013). Propuesta de plan de manejo de agua en la zona baja de la subcuenca hidrográfica Armería. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* , 3-16.

Trapote, A. (2013). *Depuración y regeneración de aguas residuales urbanas*. Alicante, España: Universidad de Alicante.

Trayectoria histórica del cantón Pedro Carbo 2011 Pedro Carbo

Tuesca, R., Ávila, H., Sisa, A., & Pardo, D. (2015). *Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano*. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte.

Uche, J. (2013). *La energía del agua*. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.

Valderrama, L., Campos, C., Velandia, S., & Zapata, N. (2000). Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. crassipes*, *Lemna sp.* y *L. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas. *Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales* (págs. 193-201). Colombia: Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental - Universidad Javeriana.

Valencia, C. (2011). *Química del hierro y manganeso en el agua, Métodos de remoción*. Monografía, Universidad de Cuenca, Escuela de Ingeniería Civil, Cuenca-Ecuador.

Vanegas, C., & Reyes, R. (2017). Carga superficial máxima en lagunas de estabilización

facultativas de Nicaragua. *Nexo* , 1-18.

Varó, P., & Segura, M. (2012). *Curso de manipulador de agua de consumo humano*. Alicante-España: Publicaciones UA.

WWAP-UNESCO. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado*. París, Francia: UNESCO Publishing.

ANEXOS

Anexo 1. Certificado URKUND

ANEXOS

Anexo 1. Certificado URKUND

Quevedo, 7 de julio del 2018

Señor Ingeniero
Roque Vivas Moreira, M.Sc.
DIRECTOR DE POSTGRADO UTEQ
Presente.-

De mis consideraciones:

En calidad de Tutora del proyecto de investigación "**DEPURACIÓN BIOLÓGICA Y SU EFECTO EN LA DESCONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS EN LAS PISCINAS DE OXIDACIÓN DEL CANTÓN PEDRO CARBO, AÑO 2017**", me permito manifestar a usted y por su intermedio a los miembros del tribunal: Que, la Ingeniera **EUFELIA MARGARITA VÁSQUEZ SEGURA**, egresada de la Maestría en Desarrollo y Medio Ambiente, ha cumplido con las correcciones de su proyecto de investigación de acuerdo al reglamento de Graduación de Postgrado de la UTEQ, y se ha subido su proyecto de grado al sistema URKUND. En este sentido, tengo a bien certificar la información reflejada en el sistema, con un porcentaje del 5%.


URKUND

Urkund Analysis Result

Analysed Document:	Margarita Vasquez.docx (D40518944)
Submitted:	7/6/2018 5:10:00 PM
Submitted By:	etorres@uteq.edu.ec
Significance:	5 %

Sources included in the report:

TESIS 1.pdf (D9551989)
TESIS MARITA.pdf (D11436615)
TRABAJO DE INVESTIGACION LAGUNA DE OXIDACION DE FANCA.docx (D15084734)


Ing. Emma Torres Navarrete
Directora de Proyecto de Investigación

Anexo 2. Ubicación de las piscinas de oxidación



Fuente: GAD Municipal Pedro Carbo. 2018

Anexo 3. Predio de las piscinas de oxidación



Fuente: GAD Municipal Pedro Carbo. 2018

Anexo 4. Evidencias fotográficas de la investigación

A.- Labores de dimensionamiento del área del ensayo.



B.- Excavación de hoyos para los tratamientos.



C.- Colocación de una cubierta provisional.



D.- Reservorios temporales del agua residual.



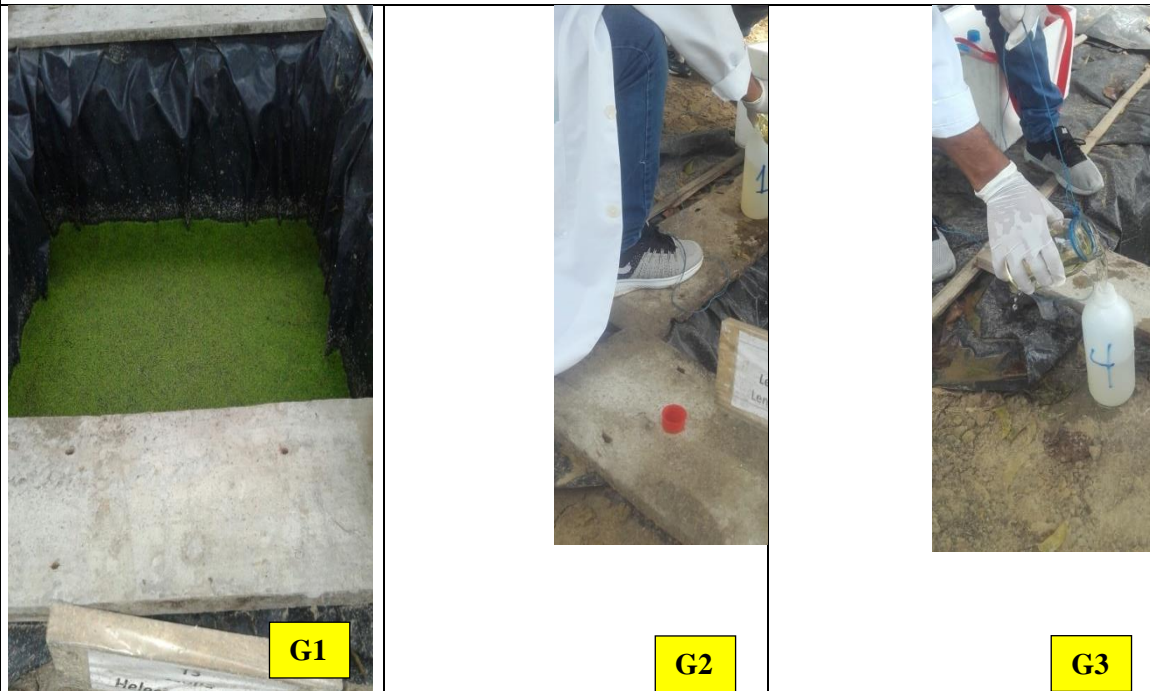
E.- Recolección de las muestras de agua residual previa a la aplicación de los tratamientos.



F.- Siembra de los tres tratamientos: Lenteja de agua, Jacinto de agua y Helecho de agua.



G.- Monitoreo del agua residual luego de aplicado los tratamientos.



H.- Distribución de las lagunas de oxidación de la ciudad de Pedro Carbo.

AREA DE LAGUNAS PEDRO CARBO

LAGUNA	LARGO	ANCHO	PUNTOS DE MUESTREO
A	195m	98m	P1
B	195m	58m	P2
C	47m	164m	P3
D	77m	104m	P4
E	75m	125m	P5
F	56m	125m	



Fuente: GAD Municipal Pedro Carbo. 2018

I.- Ficha de registro de datos de campo.

LabMos

TOMA DE MUESTRA

Nº DE REGISTRO

Nombre de la Empresa:
 Dirección:
 Fecha: 2/05/2018
 Responsable del muestreo:

Fecha del muestreo	Lugar del muestreo	Tipo de muestra	Volumen	Identificación # Lote	Temperatura	Observaciones (Análisis especiales)
11-15	Tratamiento 1 Amara muna	Repeticion 1	1 L	Proceso 1		
11-16	Tratamiento 2 Elichorno cascadas	Rep 1	1 L	Proceso 2		
11-19	Tratamiento 3 Paldalora	Rep 1	1 L	Proceso 3		
11-20	Tratamiento 3 Paldalora	Repeticion 2	1 L	Proceso 4		
11-21	Tratamiento 1 Amara muna	Repeticion 2	1 L	Proceso 5		
11-22	Tratamiento 2 Elichorno cascadas	Rep 2	1 L	Proceso 6		
11-24	Tratamiento 2 Elichorno cascadas	Repeticion 3	1 L	Proceso 7		
11-25	Tratamiento 3 Paldalora	Repeticion 3	1 L	Proceso 8		
11-26	Tratamiento 1 Amara muna	Repeticion 3	1 L	Proceso 9		

II

Anexo 5. Resultados del análisis físico-químico del agua residual

A.- Análisis físico-químico de las lagunas de oxidación

LabMos <small>Análisis de Aguas y Suelos para Propósitos Múltiples</small>		<small>Asociación N. 0461 E.C. Q. 001</small> LABORATORIO DE ENSAYOS	
INFORME DE RESULTADOS		Lab. No. 1023-17	
INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Empresa	: G.A.D. MUNICIPAL DEL CANTÓN PEDRO CARBO		
Dirección	: Av. 9 de Octubre y Daule		
Solicitud por	: Sr. Ing. Ignacio Figueroa González		
DATOS DEL MUESTREO		Responsable Muestreo : LABMOS	
Tipo de Muestra	: Agua Residual	Hora	: 11H:35
Lugar de Toma	: Entrada laguna de oxidación - facultativa		
Fecha de Toma	: Octubre 18-2017	Fecha de Recibo:	: Octubre 18-2017
CONDICIONES DEL ANÁLISIS			
Inicio del Análisis	: Octubre 18-2017	T°C	: 28 °C
Final del Análisis	: Noviembre 13-2017	%H	: 37%
Parámetros	Métodos	Resultados	TULSMA Tabla IX
*Aceites y Grasas mg/l	5520-A 3500-A1 B PEE-LABMOS-15	1,90 0,050	30,0 5,0
*Aluminio mg/l	—	0,00	0,1
*Arsénico Total mg/l	—	0,00	0,0
*Bario mg/l	3111-D	0,00	0,0
*Boro mg/l	3500-B	0,00	0,0
Cadmio µg/l	HACH 8017 PEE-LABMOS-13	<1,0	0,0
Zinc mg/l	HACH 8009 PEE-LABMOS-10	0,04	0,0
*Cloro Activo mg/l	4500	0,00	0,0
*Cloruros mg/l	4500-Cl-B	112,00	100
*Cobre mg/l	3500-Cu B	0,00	0,0
*Coliformes Fecales NMP/100 ml	9221-B	160,00	300
*Color aPt/Cu	2120-B	Verdoso	120
Fenoles mg/l	HACH 8045 PEE-LABMOS-12	<0,030	0,2
Cromo Hexavalente mg/l	HACH 8023 PEE-LABMOS-11	<0,01	0,5
Demanda Química de Oxígeno DQO mg/l	5220-D	528	300
Demanda Bioquímica Oxígeno DBO ₅ mg/l	5210-A PEE-LABMOS-02	247	300

LabMos <small>Análisis de Aguas y Suelos para Propósitos Múltiples</small>				<small>Asociación N. 0461 E.C. Q. 001</small> LABORATORIO DE ENSAYOS	
				Lab. No. 1023-17	
*Fluoruro mg/l	4500-F	0,00	0,0	0,0	
*Fósforo Total mg/l	4500-P	0,26	0,0	0,0	
*Hierro Total mg/l	3500-B	0,00	0,0	0,0	
***Hidrocarburos Totales de Petróleo mg/l	EPA-418,1	<2,5	0,0	0,0	
*Material Flotante	—	Presencia	0,000	0,000	
*Mercurio mg/l	4500	<0,005	0,0	0,0	
*Nitrógeno Amomiacal mg/l	4500-N	2,80	0,0	0,0	
***Nitrógeno Total Kjeldahl mg/l	EPA-351,3	14,00	0,0	0,0	
***Organoclorados Totales mg/l	EPA 8081	<0,2	0,0	0,0	
***Organofosforados Totales mg/l	EPA 8141	<0,2	0,0	0,0	
Pbmo µg/l	HACH 8033 PEE-LABMOS-14	<3	0,0	0,0	
pH a 25°C unidades	4500-B PEE-LABMOS-01	7,4	6,4	6,4	
Sólidos Suspendedos Totales mg/l	2540-D PEE-LABMOS-04	256	100	100	
Sólidos Totales mg/l	2540-D PEE-LABMOS-06	1995	1000	1000	
*Sulfatos mg/l	4500-E PEE-LABMOS-17	71	0,0	0,0	
*Sulfuros mg/l	YODOM	23,00	0,0	0,0	
Temperatura °C	2550-B PEE-LABMOS-07	24	Condición Natural	15	
*Tensioactivos - Detergentes mg/l	HACH 8028 PEE-LABMOS-09	18,600	0,5	0,5	

Quayaquil, 13 de noviembre del 2017

Dra. Mónica Mosquera Bolaños
 DIRECTORA LABMOS S.A.
 REG. COMERCIAL N. 1491
 Firma del Director Técnico

NOTAS:

Incertidumbre reportada con E + 2 * Ensayos subcontratados PEE LABMOS-01 PROC. MUESTREO

Los parámetros sin asteriscos se encuentran dentro del alcance de acreditación del OAE.

- Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a los(muestras) sometidos al ensayo.
- Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del OAE
- No se debe reproducir el informe parcial o en su totalidad sin la aprobación escrita del Laboratorio
- Las opiniones, interpretaciones, etc, que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación del OAE
- La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio.

En este estudio se utilizó la más moderna tecnología de los métodos estándares para análisis de aguas de consumo humano y

LabMos
Análisis de Aguas y Suelos para Propósitos Múltiples

Informe de Resultados Lab. No. 0012-18

INFORMACIÓN DEL CLIENTE
 Empresa : G.A.D. MUNICIPAL DEL CANTÓN PEDRO CARBO
 Dirección : Av. 9 de Octubre y Daule
 Solicitado por : Sr. Ing. Ignacio Figueroa González

DATOS DEL MUESTREO
 Responsable Muestreo : LABMOS
 Tipo de Muestra : Agua Residual Hora : 12H26
 Lugar de Toma : Entrada Laguna "A"
 Fecha de Toma : Enero 09-2018 Fecha de Recibo : Enero 09-2018

CONDICIONES DEL ANÁLISIS
 Inicio del Análisis : Enero 09-2018 T°C : 26 °C
 Final del Análisis : Febrero 07-2018 %H : 55%

Parámetros	Métodos	Resultados	TULSMA Tabla IX
*Aceites y Grasas mg/L	5520-A	0,80	30,0
*Aluminio mg/L	3500-AI B PEE-LABMOS-15	<0,004	5,0
*Arsénico Total mg/L	-	0,00	0,1
*Bario mg/L	3111-D	0,00	2,8
*Boro mg/L	3500-B	0,00	2,8
Cadmio µg/L	HACH 8017 PEE-LABMOS-13	<1,0	0,02
Zinc mg/L	HACH 8009 PEE-LABMOS-10	0,12	5,0
*Cloro Activo mg/L	4500	0,00	0,5
*Cloruros mg/L	4500-Cl-B	120,00	1000
*Cobre mg/L	3500-Cu-B	0,00	1,0
*Coliformes Fecales NMP/100 ml	9221-B	1.250,00	2000 Muestreo en efluentes 100
*Color uPt/Co	2120-B	10,00	
Fenoles mg/L	HACH 8045 PEE-LABMOS-12	<0,030	0,2
Cromo Hexavalente mg/L	HACH 8023 PEE-LABMOS-11	<0,01	0,5
Demanda Química de Oxígeno DQO mg/L	5220-D PEE-LABMOS-05	318	200
Demanda Bioquímica Oxígeno DBO ₅ mg/L	5210-A PEE-LABMOS-02	127	100

LabMos
Análisis de Aguas y Suelos para Propósitos Múltiples

Informe de Resultados Lab. No. 0012-18

*Fluoruro mg/L	4500-F	0,00	5,0
*Fósforo Total mg/L	4500-P	0,20	10,0
*Hierro Total mg/L	3500-B	0,00	10,0
***Hidrocarburos Totales de Petróleo mg/L	EPA-418,1	<0,01	10,0
*Material Flotante	-	Presencia	Ausencia
*Mercurio mg/L	4500	<0,005	0,005
*Nitrógeno Amomiacal mg/L	4500-N	0,00	10,0
***Nitrógeno Total Kjeldahl mg/L	EPA-351,3	0,00	10,0
***Organoclorados Totales mg/L	EPA-8081	<0,2	0,05
***Organosulfonados Totales mg/L	EPA-8141	<0,2	0,1
Plomo µg/L	HACH 8033 PEE-LABMOS-14	<3	0,2
pH a 25°C unidades	4500-B PEE-LABMOS-01	7,1	9,5
Sólidos Suspendedos Totales mg/L	2540-D PEE-LABMOS-04	300	100
Sólidos Totales mg/L	2540-D PEE-LABMOS-06	2495	1000
*Sulfatos mg/L	4500-E PEE-LABMOS-17	100	
*Sulfuros mg/L	YODOM	33,00	0,5
Temperatura °C	2550-B PEE-LABMOS-07	26	Condición Natural 15
Tensoactivos - Detergentes mg/L	HACH 8028 PEE-LABMOS-09	0,010	0,5

CP
 Guayaquil, 09 de febrero del 2018

[Firma]
 Firma del Director Técnico
 Dra. Mónica Mosquera Bolaños

NOTAS:
 Incertidumbre reportada con K = 2 * Ensayos subcontratados PEE-LABMOS-01 PROC. MUESTREO
 Los parámetros sin asteriscos se encuentran dentro del alcance de acreditación del QAE.
 1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a las muestras sometidas al ensayo.
 2. Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del QAE.
 3. No se debe reproducir el informe parcial o en su totalidad sin la aprobación escrita del Laboratorio.
 4. Las opiniones, interpretaciones, etc. que se indican a continuación, están fuera del alcance de acreditación del QAE.
 5. La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio.
 En este estudio se utilizó la metodología de los métodos estándares para análisis de aguas de consumo humano y

B.- Análisis físico-químico de las lagunas de oxidación

LabMos
Análisis de Aguas y Suelos para Propósitos Múltiples

Informe de Resultados Lab. No. 0400-18

INFORMACIÓN DEL CLIENTE
 Empresa : G.A.D. MUNICIPAL DEL CANTÓN PEDRO CARBO
 Dirección : Av. 9 de Octubre y Daule
 Solicitado por : Sr. Ing. Ignacio Figueroa González

DATOS DEL MUESTREO
 Responsable Muestreo : LABMOS
 Tipo de Muestra : Agua Residual Hora : 10H24
 Lugar de Toma : Tratamiento 1; Lemna Minus; Repetición 1
 Fecha de Toma : Mayo 04-2018 Fecha de Recibo : Mayo 04-2018

CONDICIONES DEL ANÁLISIS
 Inicio del Análisis : Mayo 04-2018 T°C : 24 °C
 Final del Análisis : Mayo 11-2018 %H : 58%

Parámetros	Métodos	Resultados	TULSMA Tabla IX
*Aceites y Grasas mg/L	5520-A	0,12	30,0
Aluminio mg/L	3500-AI B PEE-LABMOS-15	<0,002	5,0
*Amoníaco mg/L	4500-A	0,00	
*Bario mg/L	3111-D	0,00	2,8
*Boro mg/L	3500-B	0,00	2,8
Cadmio µg/L	HACH 8017 PEE-LABMOS-13	<1,0	0,02
Zinc mg/L	HACH 8009 PEE-LABMOS-10	<0,03	5,0
*Conductividad Eléctrica micromhos/cm	2510-B	145,00	
*Cloruros mg/L	4500-Cl-B	72,00	1000
*Cobre mg/L	3500-Cu-B	0,00	1,0
*Coliformes Fecales NMP/100 ml	9221-B	425,00	2000
Cromo Hexavalente mg/L	HACH 8023 PEE-LABMOS-11	<0,01	0,5
Demanda Química de Oxígeno DQO mg/L	5220-D PEE-LABMOS-05	41	200
Demanda Bioquímica Oxígeno DBO ₅ mg/L	5210-A PEE-LABMOS-02	19	100
*Fluoruro mg/L	4500-F	0,00	5,0
*Fósforo Total mg/L	4500-P	0,18	10,0
*Hierro Total mg/L	3500-B	0,00	10,0

LabMos
Análisis de Aguas y Suelos para Propósitos Múltiples

Informe de Resultados Lab. No. 0400-18

*Manganeso mg/L	3500-A	Presencia	2,0
*Mercurio mg/L	4500	<0,005	0,005
*Nitritos mg/L	4500-NO ₂ -B	0,10	
*Nitratos mg/L	4500-NO ₃ -B	0,08	
Plomo µg/L	HACH 8033 PEE-LABMOS-14	<3	0,2
pH a 25°C unidades	4500-B PEE-LABMOS-01	7,6	9,5
Sólidos Suspendedos Totales mg/L	2540-D PEE-LABMOS-04	98	100
Sólidos Totales mg/L	2540-D PEE-LABMOS-06	1746	1000
Sulfatos mg/L	4500-E PEE-LABMOS-17	220	
*Sulfuros mg/L	YODOM	67,00	0,5
Temperatura °C	2550-B PEE-LABMOS-07	19	Condición Natural 15

CP
 Guayaquil, 15 de mayo del 2018

[Firma]
 Firma del Director Técnico
 Dra. Mónica Mosquera Bolaños

NOTAS:
 Incertidumbre reportada con K = 2 * Ensayos subcontratados PEE-LABMOS-01 PROC. MUESTREO
 Los parámetros sin asteriscos se encuentran dentro del alcance de acreditación del QAE.
 1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a las muestras sometidas al ensayo.
 2. Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación del QAE.
 3. No se debe reproducir el informe parcial o en su totalidad sin la aprobación escrita del Laboratorio.

INFORME DE RESULTADOS Lab. No. 0459-18

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Empresa : G.A.D. MUNICIPAL DEL CANTÓN PEDRO CARBO
Dirección : Av. 9 de Octubre y Donsie
Solicitado por : Sr. Ing. Ignacio Figueroa González

DATOS DEL MUESTREO

Responsable Muestreo : LABMOS

Tipo de Muestra : Agua Residual Hora : 11H15
Lugar de Toma : Tratamiento 1; Lección Mirar; Repetición 1
Fecha de Toma : Mayo 21-2018 Fecha de Recibo : Mayo 21-2018

CONDICIONES DEL ANÁLISIS

Inicio del Análisis : Mayo 21-2018 T°C : 24 °C
Final del Análisis : Mayo 30-2018 %H : 58%

Parámetro	Método	Resultados	TULSMA Tabla IX
*Aceites y Grasas mg/L	5520-A	0,18	30
Aluminio mg/L	3500-AI B PEE-LABMOS-15	<0,002	10
*Amonio mg/L	4500-A	0,00	
*Bario mg/L	3111-D	0,00	10
*Boro mg/L	3500-B	0,00	10
Cadmio µg/l	HACH 8017 PEE-LABMOS-13	<1,0	10
Zinc mg/l	HACH 8009 PEE-LABMOS-10	<0,03	10
*Conductividad Eléctrica micromhos/cm	2510-B	161,00	
*Cianuro mg/L	4500-C3-B	82,00	100
*Cobre mg/l	2500-Cu B	0,00	10
*Coliformes Fecales NMP/100 ml	9221-B	504,00	200
Cromo Hexavalente mg/l	HACH 8023 PEE-LABMOS-11	<0,01	0,5
Demanda Química de Oxígeno DQO mg/L	5220-D PEE-LABMOS-05	80	30
Demanda Biológica Oxígeno DBO ₅ mg/l	5210-A PEE-LABMOS-02	44	10
*Fluoruro mg/L	4500-F	0,00	10
*Fósforo Total mg/l	4500-P	0,23	10
*Hierro Total mg/l	3500-H	0,00	10

Lab. No. 0459-18

*Mercurio mg/L	3500-A	0,00	2,0
*Mercurio mg/L	4500	<0,005	0,500
*Nitrito mg/L	4500-NO ₂ B	0,15	
*Nitro mg/L	4500-NO ₃ B	0,10	
Ploomo µg/l	HACH 8033 PEE-LABMOS-14	<3	10
pH a 25°C unidades	4500-D PEE-LABMOS-01	7,9	9,4
Sólidos Suspensivos Totales mg/L	2540-D PEE-LABMOS-04	112	100
Sólidos Totales mg/L	2540-D PEE-LABMOS-06	1745	100
Sulfatos mg/l	4500-E PEE-LABMOS-17	249	
*Sulfuros mg/l	YODOM	75,00	10
Temperatura °C	2550-B PEE-LABMOS-07	20	Condición Normal 15

Quinque, 01 de junio del 2018


Firma del Director Técnico
Dra. Mónica Mosquera Bolaños

NOTAS:

- **Incertidumbre reportada con E + 2 *** Etapas subcontroladas PEE-LABMOS-01 PROC. MUESTREO
- Los parámetros que aparecen se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
- 1. Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a los muestreos realizados al momento.
- 2. Los etapas marcadas con (?) no están incluidas en el alcance de acreditación del SAE.
- 3. No se debe reproducir el informe parcial o en su totalidad sin la aprobación escrita del Laboratorio.
- 4. Los opiniones, interpretaciones, etc. que se indiquen o comenten, están fuera del alcance de acreditación del SAE.

Anexo 6. Valores de la eficiencia de los tratamientos biológicos en el agua residual

T1 - <i>Lemna minor</i>			T2 - <i>Eichhornia crassipes</i>			T3 - <i>Azolla Lam</i>			
Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3	
0,06	0,07	0,05	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,01	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0,02	0,01	0	0	0	0,03	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	28	27	22	23	22	40	43	49	
10	0	2	17	0	4	2	16	15	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
504	342	358	394	274	280	487	289	289	
425	440	454	310	289	265	350	335	342	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	35	36	32	34	26	56	47	50	
25	27	23	13	14	12	55	41	46	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,05	0,13	0,09	0,03	0,02	0,03	0,27	0,03	0,06	
0	0	0,1	0	0	0,12	0,1	0,08	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,05	0,04	0,04	0,02	0,03	0,02	0,06	0,06	0,03	
0,02	0,01	0,02	0,01	0	0,01	0,06	0,04	0,02	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,2	0,5	
14	2	22	18	10	4	32	32	5	
1	187	360	60	289	80	205	300	65	
29	0	18	21	38	36	47	6	17	
8	10	1	6	2	7	3	3	8	
1	0	2	0	2	1	1	1	0	
Σ	1072,48	1071,67	1303,71	893,6	975,49	737,6	1278,96	1113,45	886,62
\bar{x}	36,98	36,95	44,96	30,81	33,64	25,43	44,10	38,39	30,57

Anexo 7. Parámetros físico-químicos de los reservorios de agua residual al inicio del tratamiento

PARÁMETRO	UNIDAD	TRATAMIENTOS									TULSMA
		T1 - <i>LemnaMinur</i>			T2 - <i>Eichhorniacrassipes</i>			T3 - <i>Azolla Lam</i>			Valores referenciales
		Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3	
Aceites y grasas	mg/l	0.12	0.15	0.10	0.20	0.18	0.16	0.16	0.15	0.13	30.0
Aluminio	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	5.0
Amoniaco	mg/l	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	-
Bario	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.0
Boro	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.0
Cadmio	µg/l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0.02
Zinc	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	5.0
Conductividad eléctrica	µS/cm	145.0	152.0	163.0	151.0	150.0	152.0	138.0	124.0	126.0	-
Cloruros	mg/l	72.0	80.0	84.0	92.0	85.0	80.0	90.0	84.0	75.0	1000
Cobre	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0
Coliformes fecales	NMP/100ml	425.0	440.0	454.0	310.0	289.00	265.0	350.0	335.0	342.0	2000
Cromo Hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.5
DQO	mg/l	41	38	39	46	44	38	91	85	88	200
DBO5	mg/l	19	18	20	22	20	20	43	40	40	100
Fluoruro	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.0
Fósforo total	mg/l	0.18	0.20	0.24	0.20	0.18	0.20	0.23	0.10	0.20	10.0
Hierro total	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.08	0.10	10.0
Manganeso	mg/l	Presencia	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.0
Mercurio	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005
Nitritos	mg/l	0.10	0.10	0.14	0.08	0.03	0.06	0.14	0.12	0.12	-
Nitratos	mg/l	0.08	0.07	0.10	0.05	0.02	0.04	0.10	0.08	0.08	-
Plomo	µg/l	<3.0	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	0.2
pH a 25°C unidades	-	7.6	7.1	7.5	7.3	7.3	7.8	7.4	8.0	8.0	6-9
Sólidos suspendidos totales	mg/l	98	100	110	96	90	78	92	88	85	130
Sólidos totales	mg/l	1746	1845	1900	1760	1645	1460	1670	1540	1545	1600
Sulfatos	mg/l	220	225	228	222	218	184	246	240	238	-
Sulfuros	mg/l	67.0	74.0	74.0	73.0	73.0	67.0	81.0	75.0	78.0	0.5
Temperatura	°C	19	19	18	18	18	18	18	19	19	Condición natural ±3

Anexo 8. Parámetros físico-químicos de los reservorios de agua residual al final del tratamiento

PARÁMETRO	UNIDAD	TRATAMIENTOS									TULSMA	
		T1 - <i>LemnaMinur</i>			T2 - <i>Eichhorniacrassipes</i>			T3 - <i>Azolla Lam</i>				Valores referenciales
		Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3		
Aceites y grasas	mg/l	0.18	0.22	0.15	0.16	0.22	0.18	0.12	0.19	0.14	30.0	
Aluminio	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	5.0	
Amoniaco	mg/l	0.00	0.06	0.03	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	-	
Bario	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.0	
Boro	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.0	
Cadmio	µg/l	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0.02	
Zinc	mg/l	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	5.0	
Conductividad eléctrica	µS/cm	161.0	180.0	190.0	173.0	173.0	174.0	178.0	167.0	175.0	-	
Cloruros	mg/l	82.0	80.0	82.0	75.0	85.0	76.0	92.0	100.0	90.0	1000	
Cobre	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.0	
Coliformes fecales	NMP/100ml	504.0	342.0	358.0	394.0	274.00	280.0	487.0	289.0	289.0	2000	
Cromo Hexavalente	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.5	
DQO	mg/l	80	73	75	14	10	12	147	132	138	200	
DBO5	mg/l	44	45	43	9	6	8	98	81	86	100	
Fluoruro	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.0	
Fósforo total	mg/l	0.23	0.33	0.33	0.17	0.20	0.23	0.50	0.13	0.26	10.0	
Hierro total	mg/l	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.10	10.0	
Manganeso	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.0	
Mercurio	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.005	
Nitritos	mg/l	0.15	0.14	0.18	0.10	0.06	0.08	0.20	0.18	0.15	-	
Nitratos	mg/l	0.10	0.08	0.12	0.06	0.02	0.03	0.16	0.12	0.10	-	
Plomo	µg/l	<3.0	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	<3	0.2	
pH a 25°C unidades	-	7.9	7.5	7.9	7.8	7.7	8.2	7.8	8.2	8.5	6-9	
Sólidos suspendidos totales	mg/l	112	98	88	114	80	82	124	120	90	130	
Sólidos totales	mg/l	1745	1658	1540	1820	1356	1540	1875	1840	1480	1600	
Sulfatos	mg/l	249	225	210	243	180	220	199	246	255	-	
Sulfuros	mg/l	75.0	84.0	75.0	79.0	71.0	74.0	84.0	78.0	70.0	0.5	
Temperatura	°C	20	19	20	18	20	19	19	20	19	Condición natural ±3	