



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**FITORREMEDIACIÓN DEL AGUA DEL ESTERO LA
MATANZA 2 DEL CANTÓN DURÁN CON LA
IMPLEMENTACIÓN DE DOS ESPECIES VEGETATIVAS.
TRABAJO EXPERIMENTAL**

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de

INGENIERA AMBIENTAL

AUTOR

VILLAFUERTE VELASCO SANDY MABEL

TUTOR

ING ARCOS JÁCOME DIEGO

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **“FITORREMEDIACIÓN DEL AGUA DEL ESTERO LA MATANZA 2 DEL CANTÓN DURÁN CON LA IMPLEMENTACIÓN DE DOS ESPECIES VEGETATIVAS”**, “realizado por la estudiante **VILLAFUERTE VELASCO SANDY MABEL**; con cédula de identidad N° **093099098-1** de la carrera **INGENIERÍA AMBIENTAL** Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Firma del Tutor

ING. DIEGO ARCOS JÁCOME.

Guayaquil, 23 de Julio del 2020



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“FITORREMEDIACIÓN DEL AGUA DEL ESTERO LA MATANZA 2 DEL CANTÓN DURÁN CON LA IMPLEMENTACIÓN DE DOS ESPECIES VEGETATIVAS”**, realizado por la estudiante **VILLAFUERTE VELASCO SANDY MABEL**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

**BLGO. RAÚL ARIZAGA GAMBOA
PRESIDENTE**

**ING. WOLFIO RIVADENEIRA ARGUELLO
EXAMINADOR PRINCIPAL**

**ING. XAVIER VÉLEZ GAVILÁNEZ
EXAMINADOR PRINCIPAL**

**ING. DIEGO ARCOS JÁCOME
EXAMINADOR SUPLENTE**

Guayaquil, 20 de Julio del 2020.

Dedicatoria

A mi madre Kathia Velasco Perea, quien gracias a su apoyo incondicional me impulso a seguir adelante, para mí siempre ha sido un ejemplo como madre, mujer y profesional, que me ha enseñado a no rendirme hasta alcanzar mis metas, a mi hija Doménica López Villafuerte, ya que, a pesar de mi ausencia en estos años de estudio, sigo teniendo su amor incondicional.

A ellas dedico este triunfo.

Agradecimiento

Agradezco parte de este triunfo a mi tutor el Ingeniero Diego Arcos Jácome quien ha sido de mucho apoyo institucional ya que fue uno de los maestros que nunca desistió al enseñarme.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo, **VILLAFUERTE VELASCO SANDY MABEL**, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre “**FITORREMEDIACIÓN DEL AGUA DEL ESTERO LA MATANZA 2 DEL CANTÓN DURÁN CON LA IMPLEMENTACIÓN DE DOS ESPECIES VEGETATIVAS**” para optar el título de **INGENIERA AMBIENTAL**, por la presente autorizo a la **UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR**, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, Julio 23 del 2020.

VILLAFUERTE VELASCO SANDY MABEL

C.I. 093099098-1

Índice general

PORTADA.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento.....	5
Autorización de Autoría Intelectual.....	6
PORTADA.....	6
Índice general.....	7
Índice de tablas.....	11
Índice de figuras.....	12
Resumen.....	13
Abstract.....	14
1. Introducción.....	15
1.1 Antecedentes del problema.....	15
1.2 Planteamiento y formulación del problema.....	17
1.2.1 Planteamiento del problema.....	17
1.2.2 Formulación del problema.....	18
1.3 Justificación de la investigación.....	18
1.4 Delimitación de la investigación.....	20
1.5 Objetivo general.....	20
1.6 Objetivos específicos.....	20
1.7 Hipótesis.....	21
2. Marco teórico.....	22
2.1 Estado del arte.....	22

2.2 Bases teóricas	24
2.2.1 Factores contaminantes.	24
2.2.2 Estero.	25
2.2.3 Bioremediación.	25
2.2.4 Fitorremediación.	25
2.2.5 Análisis de la calidad del agua.	26
2.2.5.1 Métodos de análisis físico-químicos.	27
2.2.5.1.1 Parámetros físicos.	27
2.2.5.1.2 Parámetros químicos.	28
2.2.6 Plantas empleadas para la fitorremediación.	28
2.2.6.1 Jacinto de agua (<i>Eichornia crassipes</i>).	28
2.2.6.1.1 Taxonomía del Jacinto de agua	29
2.2.6.2 Lenteja de agua (<i>Lemna minor</i> L.).	29
2.2.6.2.1 Taxonomía de la lenteja de agua	29
2.2.6.2.2 Beneficios de la lenteja de agua	30
2.2.6.2.3 Desventajas de lenteja de agua	30
2.3 Marco legal	31
2.3.1 Constitución de la República del Ecuador.	31
2.3.2 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua	32
2.3.3 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. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua.	34
2.3.4 Código Orgánico del Ambiente.	35
3. Materiales y métodos	36

3.1 Enfoque de la investigación	36
3.1.1 Tipo de investigación.....	36
3.1.2 Diseño de investigación.....	36
3.2 Metodología	37
3.2.1 Variables.....	37
3.2.1.1 Variable independiente.....	37
3.2.1.2 Variable dependiente.....	37
3.2.2 Tratamientos.....	37
3.2.3 Diseño experimental.....	38
3.2.4 Recolección de datos.....	39
3.2.4.1 Recursos.....	39
3.2.4.2 Métodos y técnicas.....	39
3.2.5 Análisis estadístico.....	41
3.2.5.1 Estadística descriptiva.....	42
3.2.5.2 Estadística inferencial.....	42
4. Resultados	44
4.1 Parámetros fisicoquímicos resultantes del análisis de agua del estero La Matanza 2.....	44
4.1.1 Parámetro pH.....	44
4.1.2 Nitratos	45
4.1.3 Sólidos totales	46
4.1.4 Turbidez.....	47
4.1.5 Coliformes fecales	48
4.2 Fitorremediación con especies vegetativas Lenteja de agua (<i>L. minor</i>) y Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	50

	10
4.2.1 Análisis ANOVA.....	50
4.2.2 Análisis Tukey considerando Testigo.	51
4.2.2.1 Parámetro pH.	51
4.2.2.2 Nitratos.	51
4.2.2.3 Sólidos totales.	52
4.2.2.4 Turbidez.	53
4.2.2.5 Coliformes fecales.	53
4.2.3 Eficiencia de los tratamientos.	54
4.2.4 Tratamiento más eficiente.	57
4.3 Comparación del resultado de los tratamientos con los límites máximos permisibles expresados en las normas de criterio de calidad de aguas	58
5. Discusión	60
6. Conclusiones.....	63
7. Recomendaciones	64
8. Bibliografía	65
9. Anexos	74

Índice de tablas

Tabla 1. Tratamientos en estudio	37
Tabla 2. Diseño completamente al azar.	38
Tabla 3. Interpretación del Coeficiente de Variación	42
Tabla 4. Análisis ANDEVA	43
Tabla 5. Estadística descriptiva de pH	44
Tabla 6. Estadística descriptiva de Nitratos (mg/l)	45
Tabla 7. Estadística descriptiva de Sólidos totales (mg/l)	46
Tabla 8. Estadística descriptiva de Turbidez (NTU)	47
Tabla 9. Estadística descriptiva de Coliformes fecales (NPM/100 ml)	48
Tabla 10. Resultados del ANOVA para las variables de estudio.....	50
Tabla 11. Análisis Tukey de pH.....	51
Tabla 12. Análisis Tukey de nitratos.....	52
Tabla 13. Análisis Tukey de sólidos totales.....	52
Tabla 14. Análisis Tukey de turbidez.....	53
Tabla 15. Análisis Tukey de coliformes fecales.....	53
Tabla 16. Análisis del cumplimiento de los criterios de calidad de aguas para riego agrícola	58
Tabla 17. Coordenadas del estero La Matanza 2.....	81
Tabla 18. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios.	81

Índice de figuras

Figura 1. Medias y margen de error de pH.....	45
Figura 2. Medias y margen de error de Nitratos	46
Figura 3. Medias y margen de error de Sólidos totales	47
Figura 4. Medias y margen de error de Turbidez	48
Figura 5. Medias y margen de error de Coliformes fecales.....	49
Figura 6. Comparación de porcentajes de remoción de nitratos	54
Figura 7. Comparación de porcentajes de remoción de sólidos totales	55
Figura 8. Comparación de porcentajes de remoción de turbidez	55
Figura 9. Comparación de porcentajes de remoción coliformes fecales	56
Figura 10. Porcentajes de remoción de contaminantes por tratamiento	57
Figura 11. Muestras listas para análisis	74
Figura 12. Aplicación y rotulación de los tratamientos de fitorremediación	74
Figura 13. Medición de Ph.....	75
Figura 14. Medición de turbidez	75
Figura 15. Medición de coliformes fecales	76
Figura 16. Análisis de varianza de Ph.....	76
Figura 17. Análisis de varianza de nitratos.....	77
Figura 18. Análisis de varianza de turbidez.....	77
Figura 19. Análisis de varianza de sólidos totales.....	78
Figura 20. Análisis de varianza de coliformes fecales.....	78
Figura 21. Comparación con otros autores remoción nitratos	79
Figura 22. Comparación con otros autores remoción de sólidos totales	79
Figura 23. Comparación con otros autores remoción de turbidez	80
Figura 24. Comparación con otros autores remoción de coliformes fecales	80

Resumen

El estero La matanza se ubica en un sector colindante a la ciudadela el Recreo, en el cantón Durán. En la actualidad los habitantes de la zona emplean estas aguas para labores domésticas y no cuentan con información disponible de su caracterización para identificar el grado de riesgo de contaminación ambiental al que se encuentran expuestos. Por ello, la presente investigación tuvo el fin de analizar los parámetros fisicoquímicos del agua del estero La matanza determinando su: pH, turbidez, coliformes fecales, sólidos totales y nitratos; y posterior implementar un método de fitorremediación con especies vegetativas Lenteja de agua (*Lemna minor* L.) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para mejorar la calidad del agua. El estudio se basó en un diseño completamente aleatorio, definiendo cuatro tratamientos más un testigo y para cada tratamiento se establecieron cinco observaciones. Los tratamientos contenían diferentes cantidades de lenteja de agua y jacinto de agua (50 y 100 gramos). Para el análisis de los resultados se aplicó el método estadístico de análisis de la varianza (ANOVA) y la prueba Tukey a un 5% nivel de significancia. Los resultados arrojaron que los parámetros nitratos y sólidos totales del agua procedente del estero La Matanza sobrepasaron el límite permisible. La especie *E. crassipes* presentó la mayor eficiencia de remoción en los parámetros: nitratos con 80%, sólidos totales con 57.78%, turbidez con 68.98% y coliformes fecales con 49.68%. Se concluye que la aplicación de estas especies vegetativas, como tratamiento de aguas, es altamente eficiente en la remoción de contaminantes.

Palabras clave: calidad, eficiencia, fitorremediación, jacinto, lenteja.

Abstract

La Matanza estuary is located in an area adjacent to the El Recreo citadel, in the Durán canton. Actually, the inhabitants of the area use these waters for domestic chores and don't have available information of their characterization to identify the degree of risk of environmental contamination to which they are identified. Therefore, the present investigation was done in order to analyze the physicochemical parameters of the La Matanza estuary water, determining: pH, turbidity, faecal coliforms, total solids and nitrates; and later implement a phytoremediation method with vegetative species Lentil water (*Lemna minor* L.) and Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*) to improve water quality. The study was based on a completely randomized design, defining four treatments and one control treatment, and five observations were established for each treatment. The treatments contained different amounts of Lentil water and water hyacinth (50 and 100 grams). For the analysis of the results, the statistical method of analysis of variance (ANOVA) and the Tukey test were applied at a significance level of 5%. The results showed that the nitrates and total solids parameters of the water derived from the La Matanza estuary exceeded the permissible limit. The *E. crassipes* species found the highest removal efficiency in the parameters: nitrates with 80%, total solids with 57.78%, turbidity with 68.98% and fecal coliforms with 49.68%. It's concluded that the application of these vegetative species, as water treatment, is highly efficient in the removal of contaminants.

Key words: quality, efficiency, phytoremediation, water hyacinth, Lentil water.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

A nivel mundial el agua contaminada se considera un riesgo significativo a la salud, que al contacto con ella se presentan enfermedades como: Diarrea, infecciones y malnutrición que ocasionan 1.7 millones de muertes al año. El 90% de estas muertes se dan en países en vías de desarrollo especialmente a causa de la ingestión de patógenos fecales de humanos y animales (Organización Mundial de la Salud, 2013). Esto se debe a que el 80% de las aguas residuales vuelve a los ecosistemas sin ser tratada (Organización de las Naciones Unidas, 2017).

El tratamiento adecuado de las aguas residuales genera nuevas fuentes de agua. En Estados Unidos el agua de algunos ríos es reutilizada hasta 20 veces antes de llegar al mar. En Sudáfrica ciudad Windhoek se trata el 35% de sus aguas residuales para volver a alimentar las reservas de agua potable, en Singapur y San Diego California beben agua reciclada (El espectador, 2017).

En el año 2017, el 41,7% de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) provinciales consideró que la principal afectación ambiental en su jurisdicción fue por contaminación de agua, seguido por deforestación con 20,8% y 12,5% por actividad minera, según los últimos datos del Censo de Información Ambiental Económica en GADs Provinciales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2018). A nivel nacional entre las causas principales del aumento de la contaminación en las aguas superficiales están: el crecimiento de la población, el aumento de las actividades económicas, la expansión e intensificación de la agricultura y el aumento de aguas negras sin tratar, este aumento de aguas residuales que se vierten en las aguas superficiales es muy alarmante (CUSTOMMEDIA, 2016).

El INEC indica que el 61,86% de los GAD municipales a nivel nacional realizan tratamientos de sus aguas residuales, mientras que el 38,14% no realiza ningún tratamiento; además, el 56,39% de estas entidades disponen el agua residual tratada en los ríos, el 26,32% en quebradas y el 19,55% restante disponen en otros sitios (INEC, 2015).

El cantón Durán se encuentra ubicado en la cuenca del río Guayas, el mismo ha tenido un asentamiento poblacional desordenado, lo que limita el acceso a la población de los servicios básicos, desarrollando así actividades con malas prácticas ambientales como lo son el uso de: pozos sépticos, letrinas, etc., que contaminan el suelo y las aguas subterráneas. Actualmente este cantón posee un total de 235.769 habitantes (INEC, 2010).

La parte más importante del paisaje natural y urbano de la ciudad de Guayaquil y Durán, son los esteros, el río Guayas y Babahoyo. Acorde al mapa de cobertura y uso de la tierra del cantón Durán, las riberas del estero poseen complejos industriales, áreas en proceso de urbanización, vegetación herbácea seca de humedal muy alterada, centros poblados, manglar muy perturbado, matorral seco trastornado y estructuras de almacenamiento de alimentos e insumos denominadas silos (Jaramillo et al., 2008)

La presente propuesta para el aprovechamiento del agua en el estero La Matanza ubicado en el cantón Durán, tiene como finalidad proponer un estudio de tratabilidad de agua en la zona utilizando fitorremediación y la técnica más acorde con respecto a los resultados obtenidos en el monitoreo realizado al recurso agua, esta investigación se llevó a cabo en los meses de noviembre, diciembre del 2019 y enero del 2020, cabe recalcar que fue la primera vez que se realizó un análisis en

dicho lugar de estudio lo que permitió identificar el nivel de contaminación de agua presente en el estero.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema.

El estero La matanza se encuentra en un sector colindante con la ciudadela el Recreo en el sector conocido como el Arbolito, sus aguas desembocan finalmente en el río Babahoyo (Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, 2011). Muchas de estas personas de bajos recursos aún hacen uso de estas aguas para labores domésticas, por lo tanto, es importante caracterizar la calidad de sus aguas para identificar si existe un riesgo de contaminación ambiental.

Actualmente no se cuenta con información disponible de la caracterización de estas aguas por parte de la Dirección General de GAD Municipal del Cantón Durán (2016), no cuenta con información disponible sobre contaminación por metales pesados: plomo, cadmio y mercurio (Sanchez, 2016). Ni existe la exigencia de determinar parámetros de contaminación en este tipo de componente del medio acuático en la normativa ambiental vigente, la exigencia únicamente se extiende al recurso agua como recurso líquido (Ministerio del Ambiente, 2015).

Sin embargo, un estudio señala que, para el caso del cantón Durán el 63% de la población de la cabecera cantonal consume agua entubada, a excepción del sector La Primavera 1, que recibe el agua potabilizada desde Guayaquil (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo zonal 8 Guayaquil, 2017).

La contaminación en los ríos y/o esteros, se ve influenciada por verter desechos o aguas residuales principalmente de uso doméstico directamente sobre ellos. Al no haber un control del mismo la contaminación sigue incrementándose (Escobar, 2002).

Las aguas superficiales también pueden contaminarse por el arrastre de materiales en época de lluvias, es el caso de un vertedero de basuras próximo a un cauce. Cuando llueve, las aguas, con sustancias nocivas disueltas, o en suspensión, discurren por la superficie hasta incorporarse al río (Instituto Geológico y Minero de España).

En la línea costera del cantón Duran en los últimos años se han asentado un sin número de industrias las cuales representan el 12.8% a nivel nacional, lo que equivalen a 667 empresas, muchas de estas industrias vierten directamente sus aguas industriales a los ríos en muchos casos sin ningún tratamiento, debido a los escasos de un sistema de tratamiento centralizado (El telégrafo, 2018).

Este estudio se enfoca sobre la calidad ambiental del agua, mediante la observación y el análisis de diferentes parámetros ya que estos afectan al ecosistema y a las personas de escasos recursos económicos porque son los que más usan el agua de las diferentes fuentes como lo son: ríos y esteros (Rojas, 2016).

1.2.2 Formulación del problema.

¿Cuál es la eficiencia de la fitorremediación para el aprovechamiento del agua del estero La Matanza 2?

1.3 Justificación de la investigación

Actualmente son muchas las organizaciones, científicos, personas, que se preocupan por la contaminación existente en los recursos naturales principalmente en el agua debido a la mala disposición de los residuos que se evidencia en los ríos, esteros y cuerpos de agua; ya que es un problema que ha ido aumentando en el transcurso de los años debido a la falta de: concientización y de educación ambiental.

Debido a la importancia de este líquido vital para la humanidad, este estudio se enfoca en determinar con claridad y precisión el grado de contaminación existente en el Estero la Matanza y proponer el sistema de tratamiento más viable y efectivo para las condiciones del Estero.

Para el cumplimiento de este propósito se han establecido acciones específicas como la ejecución de monitoreo de los parámetros: caudal, turbidez, color, nitrógeno total, coliformes totales, coliformes fecales, fenoles, sólidos totales suspendidos, tenso activos; para aguas residuales con un laboratorio acreditado y su posterior comparación con los parámetros permisibles expresados en la regulación ecuatoriana. La contaminación en el estero La Matanza 2 del cantón Durán es una problemática que ha aumentado en los últimos años debido al crecimiento demográfico y a las diferentes actividades antropogénicas; siendo entonces el resultado de esta investigación el estudio de tratabilidad de aguas para el aprovechamiento del estero La Matanza 2 del Cantón Durán mediante fitorremediación.

De esta manera es importante este estudio porque la naturaleza al verse alterada en su composición natural afecta a las especies que allí habitan, ecosistemas y a los seres humanos que se benefician de estas aguas, por eso es necesario analizar, estudiar e implementar un método de fitorremediación para así poder reducir los índices de contaminación.

Cabe recalcar que el presente estudio entrega una data estadística del monitoreo de la calidad de agua en este estero, que sirve de referencia para la toma de acciones efectivas de las autoridades locales para la minimización de impactos ambientales negativos.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Estero La Matanza 2 ubicado al norte del cantón Durán ubicado en las coordenadas UTM que se observan en la Tabla 17, en anexos.
- **Tiempo:** La investigación tuvo duración aproximada de 5 meses.
- **Población:** El enfoque de esta investigación indirectamente benefició a todos los habitantes del cantón Durán actualmente este cantón posee un total de 235.769 habitantes, y directamente beneficiará a los habitantes ubicada a orillas del estero La Matanza 2 (INEC, 2010).

1.5 Objetivo general.

Evaluar la eficiencia del método de fitorremediación del agua aplicando dos especies vegetativas Lenteja de agua (*Lemna minor* L.) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*.) en el estero la matanza 2 del Cantón Durán.

1.6 Objetivos específicos

- Analizar los parámetros fisicoquímicos del agua del estero determinando su: pH, turbidez, Coliformes fecales, Sólidos Totales, Nitrato mediante análisis de laboratorio.
- Implementar un método de fitorremediación con especies vegetativas Lenteja de agua (*Lemna minor* L.) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para mejorar la calidad del agua en el estero La Matanza 2.
- Comparar el agua resultante del tratamiento con los límites máximos permisibles expresados en el Acuerdo Ministerial 097 A norma de la calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua Tabla 3 Criterios de Calidad de aguas para riego agrícola.

1.7 Hipótesis

La aplicación de especies vegetales en pruebas de laboratorio con muestras del agua del estero La Matanza 2 del cantón Durán será altamente eficiente minimizando contaminantes, permitiendo su posible reutilización en aguas para riego.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Se han realizado diversos estudios empleando Jacinto de agua y Lenteja de agua para el tratamiento de aguas a nivel nacional e internacional. Tuesta (2016) aplicó un tratamiento para efluentes de piscinas acuícolas en Moyobamba, Perú, mediante el uso de un sistema por tandas y continuo que consistió en la aplicación de plantas acuáticas por tres meses. En el tratamiento uno (*Lemna minor* L.) y dos (*Eichhornia crassipes* M.), del sistema por tandas, obtuvo para turbidez 34.5 y 19.25 NTU, 69 y 14.56 mg/l en sólidos suspendidos totales, así como 6.73 y 6.93 de pH respectivamente. La autora afirma que estas especies pueden tener una eficiencia de remoción de materia orgánica de hasta 50%, bajo un sistema continuo, para efluentes procedentes de piscinas acuícolas.

Coronel (2016) evaluó la eficiencia del jacinto de agua y lenteja de agua en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez en Chachapoyas, Perú. El tiempo de aplicación de los tratamientos fue de 10 días, resultando al final los siguientes valores para *E. crassipes* y *L. minor* respectivamente: sólidos suspendidos totales 0.95 y 4.71 mg/l, turbidez 1.82 y 6.41 NTU, pH 7.20 y 7.96, nitratos 3,15 y 2,85 mg/l, coliformes fecales 23300 y 6850000 NMP/100 ml. Concluye que *E. crassipes* fue más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales con un porcentaje de remoción del 88, 24%, mientras que *Lemna minor* obtuvo un promedio de remoción del 81,24%.

Vargas (2017) evaluó la aplicación de las especies vegetales *E. crassipes* y *L. minor* en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue en la ciudad de Moyobamba, Perú. A los 15 días, los resultados de los tratamientos *E. crassipes* y *L. minor* fueron los siguientes respectivamente:

sólidos suspendidos totales 195 y 197 mg/l, pH 6.4 y 6.43, turbidez 46 y 48 NTU, y coliformes termotolerantes 4350 y 4475 NMP/100 ml. A los 90 días, *E. crassipes* fue más eficiente en la remoción de parámetros con porcentajes que van desde 57 al 63%, mientras que *L. minor* varía entre 30 al 58%.

León et al. (2018) comprobaron el potencial de siete plantas acuáticas para la remoción de coliformes fecales en aguas servidas por siete días, entre ellas *Eichornia crassipes* y *Lemna minor*. Las muestras fueron tomadas dentro del campus Mapasingue de la Universidad de Guayaquil, Ecuador. *E. crassipes* presentó la menor tasa de eliminación de coliformes fecales (1.29×10^7 a 7933 NPM/100 ml), en comparación a las otras especies vegetales que eliminaron en un 100% el agente bacteriano.

Martelo y Lara (2012) afirman que las macrófitas flotantes a través de sus raíces se convierten en un medio excelente para la filtración/adsorción de sólidos suspendidos, registrando valores de remoción desde 21 al 91%. Su eficiencia de remoción aumenta significativamente en sistemas con aireación y circulación. Los retiros periódicos de las plantas son un requerimiento necesario para optimizar la eficiencia de remoción. El Jacinto de agua es la especie macrófita predominante en los sistemas de tratamiento de aguas.

Por otra parte, Muñoz (2017) implementó procesos físicos, químicos y biológicos para remediar aguas procedentes del estero La Matanza en el cantón Durán, mismo estero en el que se realizó la toma de muestras de la presente investigación. Evaluó la eficacia de remoción de turbidez resultando que el biofiltro obtuvo 93.32%, filtración 99.66% y el proceso de coagulación/floculación 99.28%. Dicha información sirvió para comparar la eficacia de remoción de turbidez por procesos físicos-químicos y de fitorremediación en el mismo sitio de estudio.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Factores contaminantes.

Existen varias maneras en las que se puede provocar contaminación de las fuentes de agua consideradas entre ellas la contaminación generada por: aguas residuales domésticas, e industriales descargadas en el recurso agua o suelo, la basura o desechos de aguas negras, desechos de animales domésticos y silvestres (Franco & Rodriguez, 2016).

Ya sea por la deforestación del suelo, o por el vertido de desechos sólidos e industriales, los cuerpos de agua cercanos a la civilización son los que están más propensos a ser contaminados debido a la gran actividad que se desarrolla en estas zonas. Un agua está contaminada cuando se ve alterada su composición o estado, directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad humana, de tal modo que quede menos apta para uno o todos los usos a que va destinada (Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas, 2014). Según Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez (2012) los factores que originan la contaminación de estos cuerpos de agua pueden ser:

- Agentes patógenos: Parásitos, diferentes tipos de virus, bacterias en general, etc. Estos tipos de agentes son introducidos en el agua debido a los desechos orgánicos.
- Sustancias químicas: Ácidos. Compuestos tóxicos como metales provenientes de industrias.
- Sustancias radioactivas: No solo causarían problemas ambientales de gran magnitud, sino también ocasionaría un gran número de enfermedades y defectos congénitos a animales y seres humanos.

- Desechos químicos: Son sustancias o materiales potencialmente peligrosos para el estado del agua y los seres vivos como son los desechos de: plástico, petróleo, detergentes o remanentes de productos químicos o agroquímicos que son considerados como peligrosos y sustancias químicas de origen orgánico.

2.2.2 Estero.

Un estero es un cuerpo de agua, con características pantanosas que tiene una forma de drenaje imperfecto, capaz de llenarse con agua proveniente de lluvias o de desbordes de ríos cercanos. En países de habla hispana, por lo general se considera erróneamente a esteros como cuerpos de agua de menor tamaño a ríos, sin considerar su similitud a un pantano. “Un estero también puede ser un terreno pantanoso debido a filtración de aguas de un río o laguna, inclusive por precipitaciones que no filtran bien, generando las condiciones pantanosas” (Rojas, 2017).

2.2.3 Bioremediación.

La Bioremediación es una tecnología emergente que utiliza organismos vivos que pueden ser: plantas, algas, hongos y bacterias para absorber, degradar o transformar los contaminantes y retirarlos, inactivarlos o atenuar su efecto en los recursos naturales: aire, agua, suelo (Páez, Soriano , Torres, & Vásquez, 2014).

2.2.4 Fitorremediación.

Es una de las ramas de la Bio-remediación que utiliza plantas y microorganismos que por medio de la bioabsorción por plantas son capaces de atrapar los contaminantes localizados en suelos, sedimentos, acuíferos, cuerpos de agua incluso en la atmosfera como lo indican innumerables estudios donde se utilizaron

plantas como la: *Dracaena marginata*, *Chlorophytum comosum* y *Scindapus aureus* (Erazo, 2018).

2.2.5 Análisis de la calidad del agua.

Es un proceso destinado al conocimiento integral y estadístico de las características del agua, sea esta residual, doméstica o industrial, el mismo que está relacionado a la toma de muestras las cuales deben de ser realizadas bajo normativa y la identificación de caudales y reconocimiento de los componentes físicos, químicos, biológicos, microbiológicos etc. (Ministerio del Ambiente, 2015).

La calidad de agua demuestra si esta apta para consumo, tanto humano como animal. Dicha calidad optimiza todo uso que se le dé. Al ser alterada o contaminada, el agua podría ser dañina para la salud debido a las diferentes repercusiones que puede presentar. Es un término comúnmente usado para describir las características químicas, físicas y biológicas del agua.

Minaya (2017) establece los datos que se deben examinar en cada parámetro del análisis para establecer el estado de pureza del agua y los usos que esta brindara de acuerdo a su calidad y que el análisis de la calidad del agua se basa en el estudio de parámetros químicos, físicos, biológicos y bacteriológicos.

Según Payeras (2011) los parámetros para análisis de calidad de agua son:

- Parámetros químicos: Medición de la concentración de hidrógeno (pH) para poder establecer los niveles de iones H⁺. Estudio de la alcalinidad, dureza y acidez mineral del agua. Además, se identifica la presencia de sulfatos, fosfatos, cloruros, carbonatos; otros componentes como sodio, potasio, magnesio, hierro, calcio, metales tóxicos, manganeso, gases disueltos y residuos sólidos dentro de esta.

- **Parámetros físicos:** Control de las características físicas, como su color, sabor, olor, conductividad y turbidez.
- **Parámetros bacteriológicos:** Se considera la presencia de bacterias potencialmente dañinas para la salud. Dentro de estas bacterias, se encuentran la Salmonella, el Vibrio, la Escherichia coli, Clostridios y Estreptococos.

2.2.5.1 Métodos de análisis físico-químicos.

2.2.5.1.1 Parámetros físicos.

Los diferentes análisis físicos miden y registran características del agua que son capaces de ser observadas a través de los sentidos. Son particularidades visibles en la forma física del agua, independiente de su estado (Comisión Nacional del Agua, 2007).

- **Color:** El color del agua dependerá tanto de las sustancias que se encuentren disueltas como de las partículas que se encuentren en suspensión (Goyenola, 2007)
- **Turbiedad:** La turbidez de un líquido refleja una aproximación del contenido de materias coloidales, minerales u orgánicas, por lo que puede ser indicio de contaminación (Enriquez, 2015). El método Nefelométrico es usado para medir fracciones de luz dentro del cuerpo de agua. Se realiza con un turbidímetro ya que estos ofrecen buenos resultados de intensidad de luz dispersa en una dirección particular, predominantemente en ángulos rectos de luz incidente (Acebo & Hernández, 2013).
- **Sólidos:** Los sólidos se pueden clasificar en: filtrables y no filtrables, los sólidos pueden definir la calidad de aguas potables y residuales. Un método usual es analizar una muestra de 25-50 ml, colocarla en un crisol de platino y

evaporarla a 103°C. Luego se evidencia el grado de contaminación de acuerdo al comportamiento de los sólidos y del tipo específico (Hernández, 2015).

2.2.5.1.2 Parámetros químicos.

El monitoreo químico de fluoruros, arsénico y nitratos sirve para identificar su aptitud. En cuanto a la distribución de compuestos clorados, el pH y el cloro residual deben ser analizados. Para las condiciones externas cercanas a los cuerpos de agua se analizan la presencia de alcalinidad, salinidad, contaminantes industriales y los niveles de carbono (Organización Mundial de la Salud, 2006).

El pH es un coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución, el rango de pH se expresa de 1 a 14, siendo 1 el más ácido y 14 el más básico. Este parámetro influye en algunos fenómenos del agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 6 a 9 (Pradillo, 2016).

2.2.6 Plantas empleadas para la fitorremediación.

2.2.6.1 Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*).

El Jacinto de agua es conocida como lechuguin o lirio de agua, esta se considera una planta acuática perenne, vascular de flotación libre con raíces sumergibles fibrosas y coloreada, comúnmente habitan en climas cálidos y fríos, con flores de color lilas y azuladas,

Pueden duplicar su tamaño en diez días, durante ocho meses de normal crecimiento una sola planta es capaz de reproducir 70000 plantas hijas, que pueden

llegar a medir entre 0,5 a 1.5 metros desde la parte superior hasta la raíz (Romero, 2010; Jaramillo & Flores, 2012).

2.2.6.1.1 Taxonomía del Jacinto de agua

Según Jaramillo y Flores (2012) la taxonomía del Jacinto de agua es la siguiente:

División: Magnoliophyta.

Clase: Liliopsida.

Orden: Pontederiales.

Familia: Pontederiaceae.

NC.: *Eichornia Crassipes*.

Reproducción: Sexual y Asexual.

2.2.6.2 Lenteja de agua (*Lemna minor L.*)

La lenteja de agua (*Lemna minor L.*): es una planta acuática promisorio que ocupa diferentes zonas en el ecosistema acuático, esta cumple un papel importante en el ecosistema debido al gran uso que se le puede llegar a dar por ejemplo en la fitorremediación por la capacidad de nutrientes y sólidos disueltos que puede llegar absorber ya que ayuda a oxigenar el agua mediante el proceso de fotosíntesis (Del Pilar, 2004).

2.2.6.2.1 Taxonomía de la lenteja de agua

Según Jaramillo y Flores (2012) la taxonomía de la lenteja de agua es la siguiente:

Reino Plantae.

División Fanerógama Magnoliophyta:

Clase: Liliopsida.

Familia: Lemnaceae.

Forma de Reproducción: Asexual.

Especie: *Lemna minor* L.

2.2.6.2.2 Beneficios de la lenteja de agua

Según SUSTAIN AQUA (2009) los beneficios de la lenteja de agua son: Eliminación de contaminantes en aguas residuales, reducción de intensidad lumínica, y alimentos de peces herbívoros.

2.2.6.2.3 Desventajas de lenteja de agua

Según SUSTAIN AQUA (2009) las desventajas de la lenteja de agua son: Al reducir la intensidad lumínica reduce el crecimiento de plantas acuáticas, al absorber nutrientes dificulta a los que están destinados a otras plantas.

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución de la República del Ecuador.

Título II Capítulo Segundo, Derechos del Buen Vivir, Sección Primera Agua y Alimentación.

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Capítulo Séptimo: Derechos de la Naturaleza

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

Capítulo Segundo: Biodiversidad y Recursos Naturales Sección Sexta: Agua

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

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

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

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

Título I: Disposiciones Preliminares **Capítulo I: De los Principios**

Art. 1.- Naturaleza jurídica. Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley. El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria.

Art. 2.- Ámbito de aplicación. La presente Ley Orgánica regirá en todo el territorio nacional, quedando sujetos a sus normas las personas, nacionales o extranjeras que se encuentren en él.

Art. 3.- Objeto de la Ley. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el sumak kawsay o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución.

Sección Segunda: Planificación Hídrica

Art. 35.- Principios de la gestión de los recursos hídricos. La gestión de los recursos hídricos en todo el territorio nacional se realizará de conformidad con los siguientes principios:

- a. La cuenca hidrográfica constituirá la unidad de planificación y gestión integrada de los recursos hídricos;
- b. La planificación para la gestión de los recursos hídricos deberá ser considerada en los planes de ordenamiento territorial de los territorios comprendidos dentro de la cuenca hidrográfica, la gestión ambiental y los conocimientos colectivos y saberes ancestrales;
- c. La gestión del agua y la prestación del servicio público de saneamiento, agua potable, riego y drenaje son exclusivamente públicas o comunitarias;
- d. La prestación de los servicios de agua potable, riego y drenaje deberá regirse por los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad; y,
- e. La participación social se realizará en los espacios establecidos en la presente Ley y los demás cuerpos legales expedidos para el efecto.

Art. 36.- Deberes estatales en la gestión integrada. El Estado y sus instituciones en el ámbito de sus competencias son los responsables de la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica. En consecuencia, son los obligados a:

- a. Promover y garantizar el derecho humano al agua;
- b. Regular los usos, el aprovechamiento del agua y las acciones para preservarla en cantidad y calidad mediante un manejo sustentable a partir de normas técnicas y parámetros de calidad;
- c. Conservar y manejar sustentablemente los ecosistemas marino costeros, altoandinos y amazónicos, en especial páramos, humedales y todos los ecosistemas que almacenan agua;
- d. Promover y fortalecer la participación en la gestión del agua de las organizaciones de usuarios, consumidores de los sistemas públicos y comunitarios del agua, a través de los consejos de cuenca hidrográfica y del Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua; y,
- e. Recuperar y promover los saberes ancestrales, la investigación y el conocimiento científico del ciclo hidrológico.

Capítulo VI: Garantías Preventivas

Sección Segunda: Objetivos de Prevención y Control de la Contaminación del Agua

Art. 79.- Objetivos de prevención y conservación del agua. - La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos:

- a. Garantizar el derecho humano al agua para el buen vivir o sumak kawsay, los derechos reconocidos a la naturaleza y la preservación de todas las formas de vida, en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación;
- b. Preservar la cantidad del agua y mejorar su calidad;
- c. Controlar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo de sustancias tóxicas, desechos, vertidos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas;
- d. Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración;
- e. Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida;
- f. Garantizar la conservación integral y cuidado de las fuentes de agua delimitadas y el equilibrio del ciclo hidrológico; y,
- g. Evitar la degradación de los ecosistemas relacionados al ciclo hidrológico.

Art. 80.- Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

La Autoridad Ambiental Nacional ejercerá el control de vertidos en coordinación con la Autoridad Única del Agua y los Gobiernos Autónomos Descentralizados acreditados en el sistema único de manejo ambiental.

Es responsabilidad de los gobiernos autónomos municipales el tratamiento de las aguas servidas y desechos sólidos, para evitar la contaminación de las aguas de conformidad con la ley.

Art. 81.- Autorización administrativa de vertidos. La autorización para realizar descargas estará incluida en los permisos ambientales que se emitan para el efecto. Los parámetros de la calidad del agua por ser vertida y el procedimiento para el otorgamiento, suspensión y revisión de la autorización, serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional o acreditada, en coordinación con la Autoridad Única del Agua.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de su competencia y dentro de su jurisdicción emitirán la autorización administrativa de descarga prevista en esta Ley con sujeción a las políticas públicas dictadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 82.- Participación y veeduría ciudadana. Las personas, pueblos y nacionalidades y colectivos sociales, podrán realizar procesos de veedurías, observatorios y otros mecanismos de control social sobre la calidad del agua y de los planes y programas de prevención y control de la contaminación, de conformidad con la Ley.

2.3.3 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. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua.

5.1.2.1 Se entiende por uso del agua para preservación de la vida acuática y silvestre, su empleo en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas asociados, sin causar alteraciones en ellos, o para actividades que permitan la reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies bioacuáticas en cualquiera de sus formas, tal como en los casos de pesca y acuicultura.

5.1.2.2 Los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario. Los criterios de calidad de agua para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces se establecen en la Tabla 4, ubicada en anexos.

5.1.2.4 Además de los parámetros indicados dentro de esta norma, se tendrán en cuenta los siguientes criterios: La turbiedad de las aguas debe ser considerada de acuerdo a los siguientes límites:

- a. Condición natural (Valor de fondo) más 5%, si la turbiedad natural varía entre 0 y 50 UTN (unidad de turbidez nefelométrica);
- b. Condición natural (Valor de fondo) más 10%, si la turbiedad natural varía entre 50 y 100 UTN, y,
- c. Condición natural (Valor de fondo) más 20%, si la turbiedad natural es mayor que 100 UTN;
- d. Ausencia de sustancias antropogénicas que produzcan cambios en color, olor y sabor del agua en el cuerpo receptor, de modo que no perjudiquen a la vida acuática y silvestre y que tampoco impidan el aprovechamiento óptimo del cuerpo receptor.

Ya que no se menciona el parámetro nitratos dentro de los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y de estuario, se tomó como referencia el criterio establecido en calidad de aguas para uso pecuario (nitratos+nitritos= 10,0 mg/l). De igual forma respecto al parámetro Sólidos totales, el cual se tomó como referencia de los criterios establecidos en límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (ST= 1600,0 mg/l).

2.3.4 Código Orgánico del Ambiente.

Capítulo V: Calidad de los Componentes Abióticos y Estado de los Componentes Bióticos

Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.

Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

Art. 196.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades competentes en la materia.

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación.

Esta investigación fue de tipo experimental. Este tipo de investigación se basa en la recolección de datos obtenidos de forma directa del sujeto de investigación, o de la realidad donde ocurre el fenómeno estudiado (Arias, 2012). En este proyecto se tomaron muestras del Estero La Matanza 2 del cantón Durán, para posterior monitoreo de agua de los parámetros físicos y químicos analizados en laboratorio.

El nivel de conocimiento de la investigación es del tipo descriptivo. El nivel descriptivo permite detallar hechos y procedimientos según sea el ámbito de aplicación, esto sirve para ampliar e interpretar ordenadamente un fenómeno (Sancán & Vera, 2015). Se evaluó y describió el grado de contaminación ambiental de las aguas de dicho estero. Se realizó una comparación de los resultados obtenidos luego de la aplicación del tratamiento, y se tomó como referencia la tabla Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios del Acuerdo Ministerial 097 A, Anexo 1, criterios de calidad de agua para análisis de límites permisibles.

3.1.2 Diseño de investigación.

El presente trabajo constituye un diseño experimental ya que se analizaron las muestras en el laboratorio, las mismas que fueron tratadas mediante fitorremediación, donde posteriormente se evaluó la efectividad del método mediante diferentes técnicas según el parámetro correspondiente.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables.

3.2.1.1 Variable independiente.

La variable independiente se determinó como las especies consideradas para los tratamientos de fitorremediación:

- Lenteja de agua (*Lemnoideae*).
- Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

3.2.1.2 Variable dependiente.

Se consideró como variable dependiente, a los parámetros físico-químicos:

- pH (adimensional)
- Turbidez (NTU)
- Coliformes fecales (NPM/100 ml)
- Nitratos (mg/l)
- Sólidos Totales (mg/l)

3.2.2 Tratamientos.

En este estudio se aplicaron dos tratamientos para observar el comportamiento antes y después. Se agregó la respectiva biomasa por planta en estudio, como se muestra a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos en estudio

N° Tratamiento	Aplicación	Concentraciones gr/H ₂ O
T0. Testigo absoluto	sin aplicación	-
T1. Jacinto de agua	50 gr / 1 lt de agua	5%
T2. Jacinto de agua	100 gr / 1 lt de agua	10 %
T3. Lenteja de agua	50 gr / 1 lt de agua	5%
T4. Lenteja de agua	100 gr / 1 lt de agua	10 %

Villafuerte, 2020

- **T0. Testigo absoluto**, sin aplicación alguna de tratamiento. Aquí se evidenció el contenido de agua contaminada, como muestra referencial, que sirvió de base para comparar los resultados una vez aplicado los otros tratamientos.

- **T1. Jacinto de agua.** En este tratamiento se aplicó 50g de lenteja de agua por cada litro de agua.
- **T2. Jacinto de agua.** En este tratamiento se aplicó 100g de Lenteja de agua en cada litro de agua.
- **T3. Lenteja de agua.** En este tratamiento se aplicó 50g de Jacinto de agua en cada litro de agua.
- **T4. Lenteja de agua.** En este tratamiento se aplicó 100g de Lenteja de agua en cada litro de agua.

3.2.3 Diseño experimental.

La presente investigación se basó en un diseño completamente aleatorio, definiendo cuatro tratamientos y un testigo, para cada tratamiento se definieron cinco observaciones. Los tratamientos cuentan con diferentes cantidades de lenteja de agua y Jacinto de agua, descritos en la tabla 1. Las muestras fueron compuestas, obteniendo un total de 20 muestras tratadas más 5 de testigo. Esto se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Diseño completamente al azar.

N° Tratamiento	Observaciones				
T0. Testigo absoluto	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
T1. Jacinto de agua	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
T2. Jacinto de agua	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
T3. Lenteja de agua	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
T4. Lenteja de agua	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅
Total de muestras	25				

Villafuerte, 2020

3.2.4 Recolección de datos.

3.2.4.1 Recursos.

- **Recursos bibliográficos:** Las referencias de la presente investigación fueron recolectadas de fuentes de validez científica y técnica, citando documentos como libros, artículos científicos e información hallada en webs de organizaciones e instituciones reconocidas del estado ecuatoriano o de nivel internacional. Además, parte del material se tomó del Centro de Información Agraria y la Biblioteca Virtual de la Universidad Agraria del Ecuador.
- **Recursos Humanos:** Están dados por el tutor de tesis y la autora de la investigación.
- **Equipos:** Para la presente investigación se emplearon los siguientes equipos: GPS de alta precisión, equipo de laboratorio (incubadora y estufa), guantes de nitrilo, plantas para realizar fitorremediación, cuadernos, bolígrafo, ordenador, impresora, cámara fotográfica, hielera, botellas plásticas de capacidad de 1000 ml y cubetos para los tratamientos.

3.2.4.2 Métodos y técnicas.

Muestreo en el estero La Matanza 2: Se determinaron las estaciones de muestreo considerando que el propósito de la investigación es la evaluación de la calidad del agua para aprovechamiento del agua del Estero la Matanza 2. El posterior tratamiento y análisis del agua se realizó en el laboratorio de la Universidad Agraria del Ecuador, transcurridas 24 horas de la toma de muestra (ver Figura 11, en anexos).

Tratamientos de fitorremediación: Una vez obtenida la biomasa de las especies vegetativas para los tratamientos, según se detalla en la tabla 1, se colocaron las muestras de agua en vasos de precipitación, añadiendo los

respectivos tratamientos, mismo que se rotularon (ver Figura 12, en anexos). Los tratamientos actuaron por un periodo de 15 días y entonces se procedió a la recolección de datos.

Medición de pH: Para medir el pH de forma precisa se empleó un potenciómetro, también conocido como pH-metro. El cual primero fue calibrado, se colocó en la muestra a medir en un envase limpio, lo que permitió que el pH-metro cubra la punta del electrodo para un mejor resultado. Posterior se esperó que el medidor lograra el punto de equilibrio, una vez estabilizado arrojó el valor de pH de la muestra (ver Figura 13, en anexos).

Medición de nitratos: Los nitratos se determinaron mediante técnica de colorimetría. Se colocó la muestra en un vaso de precipitación de 200ml, luego se colocó la tira Quantofix para establecer el nivel de nitratos existentes en la muestra.

Medición de sólidos totales: En los sólidos totales se utilizó una estufa convencional y una capsula de porcelana, que se ingresó en la estufa para secarla previamente bajo una temperatura de 105°C por dos horas. Se colocó la muestra al baño maría, evaporando el agua, luego los sólidos que quedaron dentro se llevaron a la estufa a una temperatura de 105° por 24 horas (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en anexos). Luego se empleó un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Se empleó la mufla para la separación de los sólidos, en donde se tomó el peso final de esta, procediendo finalmente a su respectivo cálculo.

Medición de turbidez: Se midió 250 mg de la muestra, trasladando a un vaso de precipitación. Una vez obtenida la muestra se pesó la capsula de porcelana en la balanza y se registró ese valor en dónde finalmente se empleó el nefelómetro o turbidímetro (ver Figura 14, en anexos).

Medición de coliformes fecales: Para medir los Coliformes fecales se realizó un recuento estándar mediante placas Petrifilm. Las muestras fueron sometidas a proceso de inoculación empleando una incubadora por 48 horas a 37 °C. Listas las placas se realizó el conteo de colonias (NPM/100 ml) (ver Figura 15, en anexos).

Evaluación de la efectividad de los tratamientos: para determinar cuál es el tratamiento más efectivo, se consideró cual fue el tratamiento que presentó menor media por parámetro. Posteriormente se elaboró una tabla con estos valores, y se procedió a calcular la eficiencia de remoción de contaminantes según la metodología empleada por Malacatus, Chamorro y Orellana (2017), mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$$

Dónde:

E = Eficiencia de remoción de carga contaminante (%)

S = Carga contaminante de salida (mg/l)

S_0 = Carga contaminante de entrada (mg/l)

Evaluación de la calidad según normativa: Los resultados de los parámetros físico-químicos y biológicos se compararon con los criterios de calidad de aguas de uso para riego, establecidos en la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua del TULSMA. Para dicha comparación se elaboró una matriz sencilla que consideró el cumplimiento y no cumplimiento de los límites por tratamiento.

3.2.5 Análisis estadístico.

Para realizar la tabulación de datos y el análisis estadístico descriptivo se utilizaron los softwares Microsoft Excel, y para el análisis inferencial se empleó el programa estadístico Infostat.

3.2.5.1 Estadística descriptiva.

Se determinaron la media de los tratamientos, por ser una medida de tendencia central, que posteriormente se sometió análisis inferencial. También se determinaron medidas de dispersión como la varianza, desviación estándar, y coeficiente de variación. Éste último se analizó en base a lo expresado por Villamar (2008) como se detalla en la tabla 3:

Tabla 3. Interpretación del Coeficiente de Variación

Porcentaje de C.V.	Interpretación
7%	Estimación precisa
8-14%	Estimación de precisión aceptable
15-20%	Estimación de precisión regular
>20%	Estimación poco precisa

Villamar, 2008

3.2.5.2 Estadística inferencial

En este proyecto se aplicó el método estadístico de análisis de la varianza (ANOVA) al 5% nivel de significancia que, permite contrastar la hipótesis nula con la hipótesis alternativa en base a las medias de las muestras obtenidas (ver tabla 4). Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. Este análisis prueba la hipótesis de que las medias de dos o más muestras son iguales. Se manejaron las siguientes hipótesis estadísticas:

H_0 : La media del parámetro (Turbidez, pH, coliformes fecales, sólidos totales, nitratos) es igual en todos los tratamientos.

H_1 : La media del parámetro (Turbidez, pH, coliformes fecales, sólidos totales, nitratos) no es igual en al menos un tratamiento.

Tabla 4. Análisis ANDEVA

Fuente de variación	Fórmula	Interpretación	GL
Tratamientos	$(t-1)$	$(4-1)$	3
Repeticiones	$(r-1)$	$(5-1)$	4
Error experimental	$((t-1) (r-1))$	$(3*4)$	12
Total	$((t*r)-1)$	$((4*5)-1)$	19

Nota: t es igual a tratamientos y r igual a repeticiones
Villafuerte, 2020

En las variables que se presentó diferencia significancia entre tratamientos, se realizó la prueba Tukey al 5% de significancia estableciendo la diferencia entre las medias.

4. Resultados

4.1 Parámetros fisicoquímicos resultantes del análisis de agua del estero La Matanza 2

Se presentan a continuación los resultados del análisis de laboratorio de la calidad del agua del estero La Matanza 2, considerando los parámetros fisicoquímicos y biológicos: pH, nitratos, sólidos totales, turbidez y coliformes fecales. Se presenta la media por tratamiento y medidas de dispersión.

4.1.1 Parámetro pH.

En la tabla 5 se observa los resultados de las medias obtenidas por tratamiento para el parámetro pH. El tratamiento que presentó la menor media fue el Testigo absoluto con 6,99 de pH, y el tratamiento de mayor media fue T2 (Jacinto de agua -100g) con 7,76 de pH. Los porcentajes del coeficiente de variación indican una estimación precisa de las réplicas del experimento por tratamiento, por ser valores menores al 7%.

Tabla 5. Estadística descriptiva de pH

Tratamientos	Media	Varianza	D.E.	C.V. (%)
T1: Jacinto de agua (50g)	7,69	0,003	0,056	0,73
T2: Jacinto de agua (100g)	7,76	0,010	0,099	1,28
T3: Lenteja de agua (50g)	7,38	0,003	0,050	0,68
T4: Lenteja de agua (100g)	7,45	0,007	0,081	1,09
T0: Testigo absoluto	6,99	0,021	0,144	2,06

Villafuerte, 2020

En la Figura 1, se observa la representación gráfica de las medias y barras de error obtenidas por tratamiento en el parámetro pH. La longitud de las barras es corta y no varía entre tratamientos, por tanto, los datos se encuentran concentrados, lo que indica que la media de pH obtenida por tratamiento es confiable.

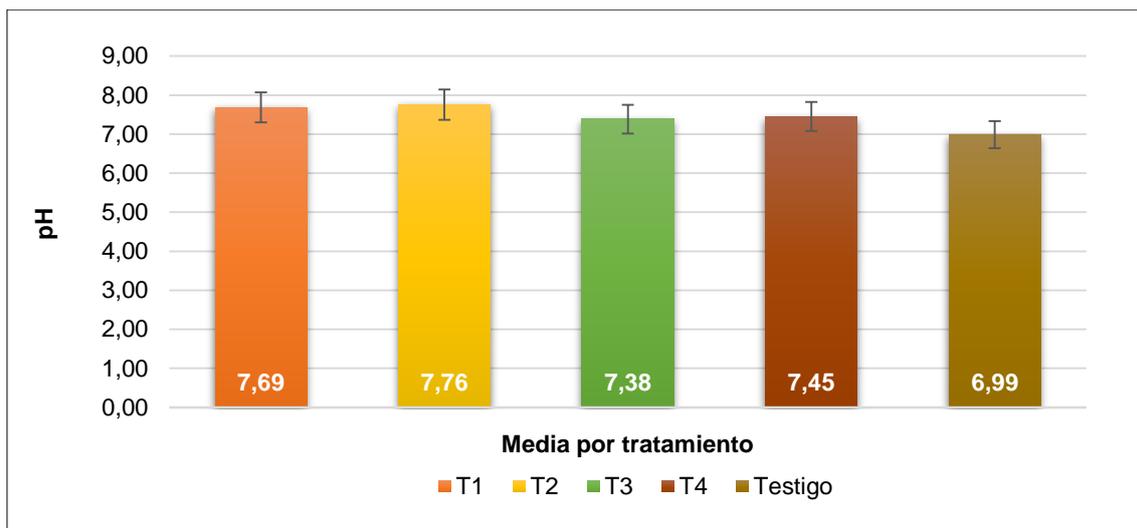


Figura 1. Medias y margen de error de pH
Villafuerte, 2020

4.1.2 Nitratos

En la tabla 6 se observa los resultados de las medias obtenidas por tratamiento para el parámetro Nitratos. Los tratamientos que presentaron la menor media fueron T2, T3 y T4 con 6 mg/l, y el tratamiento de mayor media fue el Testigo con 30 mg/l.

Los porcentajes del coeficiente de variación indican una estimación poco precisa de las réplicas del experimento por tratamiento, por ser valores superiores al 20%; esto se debe al tipo de método empleado para el análisis de este parámetro (colorimetría - tiras reactivas), el cual no arroja valores dispersos.

Tabla 6. Estadística descriptiva de Nitratos (mg/l)

Tratamientos	Media	Varianza	D.E.	C.V. (%)
T1: Jacinto de agua (50g)	13	45	6,71	51,60
T2: Jacinto de agua (100g)	6	30	5,48	91,29
T3: Lenteja de agua (50g)	6	30	5,48	91,29
T4: Lenteja de agua (100g)	6	30	5,48	91,29
T0: Testigo absoluto	30	125	11,18	37,27

Villafuerte, 2020

En la Figura 2, se observa la representación gráfica de las medias y barras de error obtenidas por tratamiento en el parámetro Nitratos. Se observa que la longitud de las barras es corta y no varía entre tratamientos, por tanto, los datos se

encuentran concentrados, lo que indica que la media de Nitratos obtenida por tratamiento es confiable.

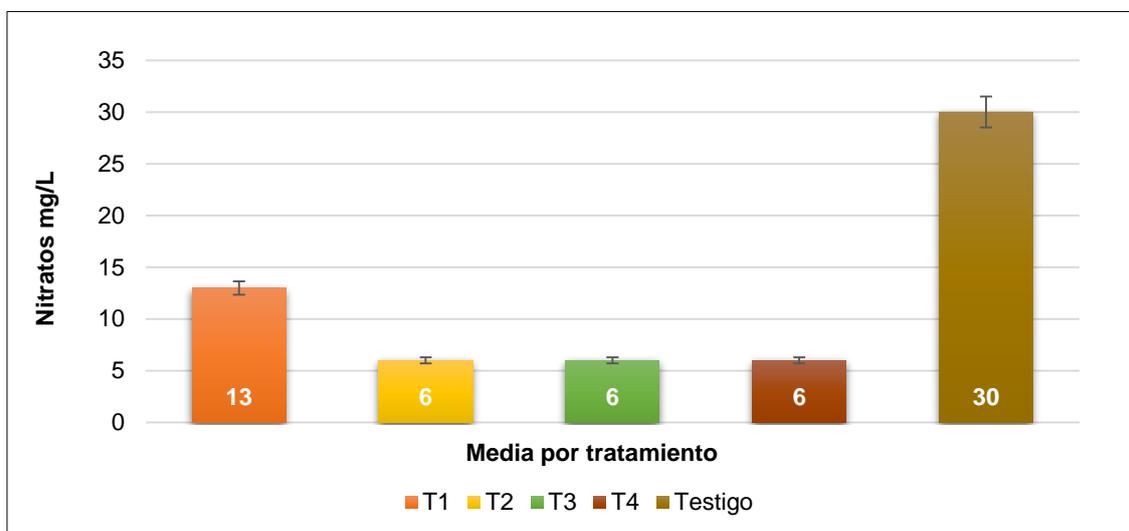


Figura 2. Medias y margen de error de Nitratos Villafuerte, 2020

4.1.3 Sólidos totales

En la tabla 7 se observa los resultados de las medias obtenidas por tratamiento para el parámetro Sólidos totales. El tratamiento que presentó la menor media fue T2 (Jacinto de agua -100g) con 380 mg/l, y el tratamiento de mayor media fue el Testigo con 900 mg/l.

Los porcentajes del coeficiente de variación indican una estimación de precisión aceptable de las réplicas del experimento por tratamiento, con excepción de las réplicas de T2; esta variación puede deberse a que una de las muestras contenía mayor carga de sólidos, resultando de menor efectividad el tratamiento en esa muestra.

Tabla 7. Estadística descriptiva de Sólidos totales (mg/l)

Tratamientos	Media	Varianza	D.E.	C.V. (%)
T1: Jacinto de agua (50g)	560	28000	167,33	29,88
T2: Jacinto de agua (100g)	380	77000	277,49	73,02
T3: Lenteja de agua (50g)	760	3000	54,77	7,21
T4: Lenteja de agua (100g)	480	47000	216,79	45,17
Testigo	900	5000	70,71	7,86

Villafuerte, 2020

En la Figura 3, se observa la representación gráfica de las medias y barras de error obtenidas por tratamiento en el parámetro Sólidos totales. Se observa que la longitud de las barras es corta y no varía entre tratamientos, por tanto, los datos se encuentran concentrados (con excepción de T2), lo que indica que la media de Sólidos totales obtenida por tratamiento es confiable.

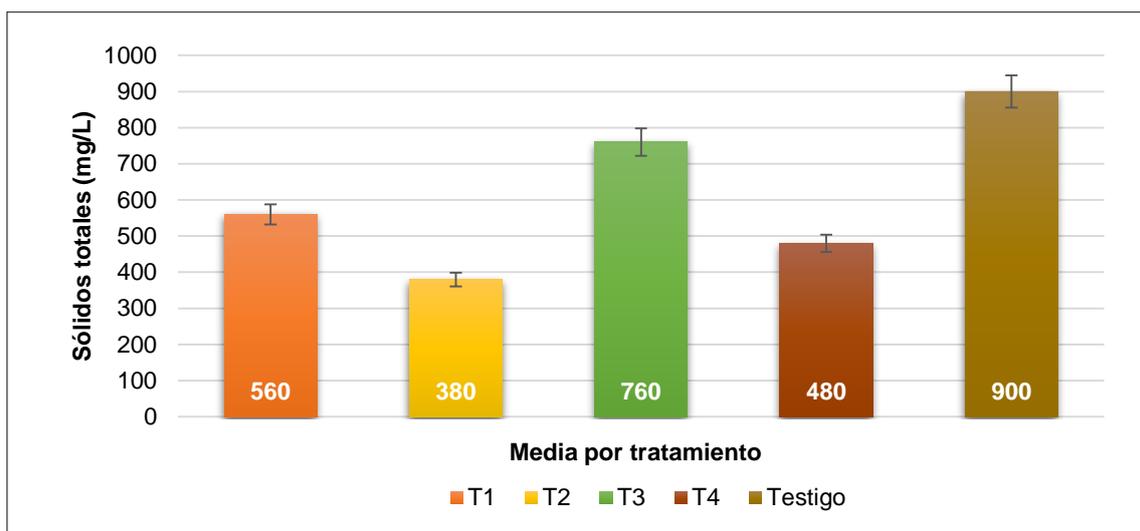


Figura 3. Medias y margen de error de Sólidos totales
Villafuerte, 2020

4.1.4 Turbidez

En la tabla 8 se observa los resultados de las medias obtenidas por tratamiento para el parámetro Turbidez. El tratamiento que presentó la menor media fue T2 (Jacinto de agua -100g) con 13,96 NTU, y el tratamiento de mayor media fue el Testigo con 45 NTU. Los porcentajes del coeficiente de variación indican una estimación precisa de las réplicas del experimento por tratamiento, por ser valores cercanos al 7%.

Tabla 8. Estadística descriptiva de Turbidez (NTU)

Tratamientos	Media	Varianza	D.E.	C.V. (%)
T1: Jacinto de agua (50g)	38,64	0,793	0,89	2,30
T2: Jacinto de agua (100g)	13,96	1,893	1,38	9,86
T3: Lenteja de agua (50g)	25,18	0,557	0,75	2,96
T4: Lenteja de agua (100g)	28,52	0,102	0,32	1,12
Testigo	45	2,95	1,72	3,81

Villafuerte, 2020

En la Figura 4, se observa la representación gráfica de las medias y barras de error obtenidas por tratamiento en el parámetro Turbidez. Se observa que la longitud de las barras es corta y no varía entre tratamientos, por tanto, los datos se encuentran concentrados, lo que indica que la media de Turbidez obtenida por tratamiento es confiable.

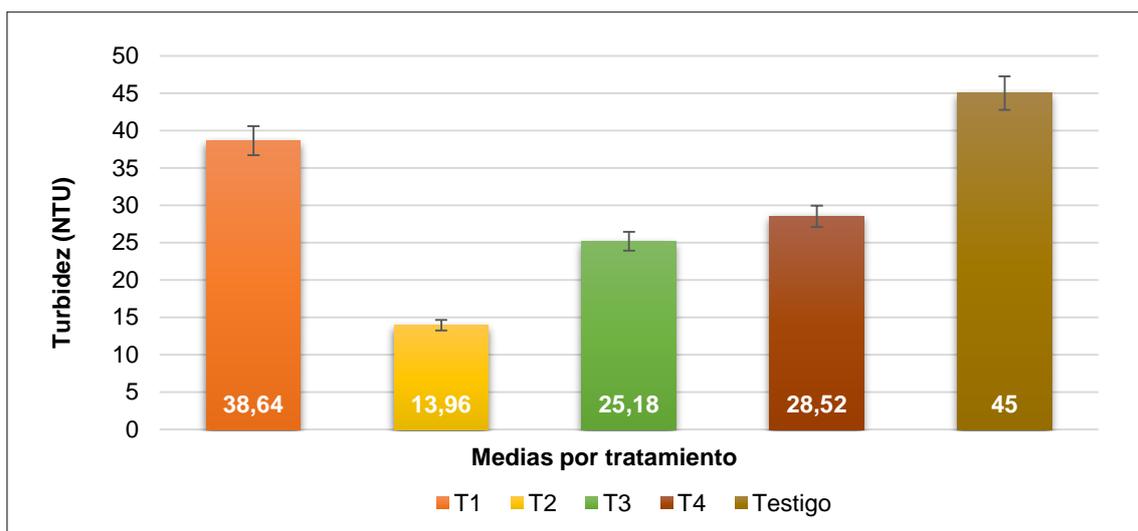


Figura 4. Medias y margen de error de Turbidez
Villafuerte, 2020

4.1.5 Coliformes fecales

En la tabla 9 se observa los resultados de las medias obtenidas por tratamiento para el parámetro Turbidez. El tratamiento que presentó la menor media fue T1 (Jacinto de agua -50g) con 63,2 NPM/100 ml, y el tratamiento de mayor media fue el Testigo con 126 NPM/100 ml. Los porcentajes del coeficiente de variación indican una estimación aceptable de las réplicas del experimento por tratamiento, por ser valores entre el rango del 7 al 20%.

Tabla 9. Estadística descriptiva de Coliformes fecales (NPM/100 ml)

Tratamientos	Media	Varianza	D.E.	C.V. (%)
T1: Jacinto de agua (50g)	63,2	34	5,81	9,19
T2: Jacinto de agua (100g)	95,0	399	19,97	21,03
T3: Lenteja de agua (50g)	97,4	566	23,79	24,42
T4: Lenteja de agua (100g)	92,8	19	4,32	4,66
Testigo	126	149	12,22	9,73

Villafuerte, 2020

En la Figura 5, se observa la representación gráfica de las medias y barras de error obtenidas por tratamiento en el parámetro Coliformes fecales. Se observa que la longitud de las barras es corta y no varía entre tratamientos, por tanto, los datos se encuentran concentrados, lo que indica que la media de Coliformes fecales obtenida por tratamiento es confiable.

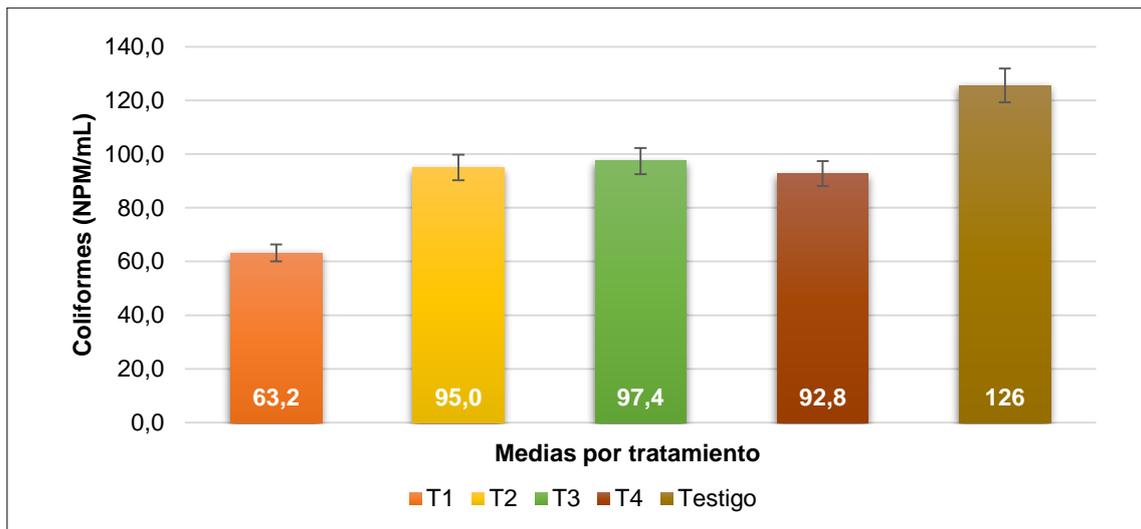


Figura 5. Medias y margen de error de Coliformes fecales
Villafuerte, 2020

4.2 Fitorremediación con especies vegetativas Lenteja de agua (*L. minor*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*)

4.2.1 Análisis ANOVA.

Se realizó el análisis de varianza en dos ocasiones, considerando el Testigo y no, para determinar el efecto de los tratamientos en la calidad del agua. En la tabla 10 se presentan el coeficiente de variación (C.V.) y el p-valor obtenido para cada variable de estudio. Los resultados completos de los análisis estadísticos por parámetro se observan en el apartado de anexos, desde la figura 16 a la 20.

Tabla 10. Resultados del ANOVA para las variables de estudio

Parámetro	Tratamientos + testigo		Tratamientos	
	C.V.	p-valor	C.V.	p-valor
Ph	1,27	0,0001	1,06	0,0001
Nitratos	61,68	0,0004	57,1	0,0659
Sólidos totales	25,1	0,0004	27,68	0,0115
Turbidez	3,6	0,0001	3,74	0,0001
Coliformes fecales	14,81	0,0001	16,56	0,0087

Villafuerte, 2020

Los valores menores a un nivel de significancia de 0,05 indican que existe diferencia significativa entre tratamientos. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula que indica que todas las medianas son iguales. Según el análisis de varianza comparando el testigo, los tratamientos presentan diferencia significativa, es decir los tratamientos tienen efecto en la disminución de los parámetros analizados.

Mientras que, comparados sin testigo, los tratamientos no presentan diferencia significativa dentro de los parámetros nitratos y sólidos totales. Esto indicaría que los tratamientos tienen el mismo efecto de remoción para estos parámetros del agua del estero La Matanza 2.

4.2.2 Análisis Tukey considerando Testigo.

4.2.2.1 Parámetro pH.

El p-valor según el análisis de varianza para el parámetro pH (considerando el testigo) fue 0,0001. Esto indica que existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y se procedió a realizar el análisis Tukey observado en la Tabla 11. El coeficiente de variación fue 1,27%, que indica una estimación precisa.

Tabla 11. Análisis Tukey de pH

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Comparación
T2: Jacinto de agua (100g)	7,76	5	0,04	A
T1: Jacinto de agua (50g)	7,69	5	0,04	A
T4: Lenteja de agua (100g)	7,45	5	0,04	B
T3: Lenteja de agua (50g)	7,38	5	0,04	B
Testigo	6,99	5	0,04	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)
Villafuerte, 2020

Los tratamientos T1 y T2 presentan medias significativamente parecidas, pero que difieren de las medias de T3 y T4; mientras que todos los tratamientos difieren del Testigo, esto indica que los tratamientos de fitorremediación tienen efecto en el pH del agua del estero.

4.2.2.2 Nitratos.

El p-valor según el análisis de varianza para el parámetro nitratos (considerando el testigo) fue 0,0004. Esto indica que existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y se procedió a realizar el análisis Tukey observado en la Tabla 12. El coeficiente de variación fue 61,68%, que indica una estimación poco precisa, esto se debe al tipo de método empleado para el análisis de este parámetro (colorimetría - tiras reactivas), el cual no arroja valores dispersos.

Tabla 12. Análisis Tukey de nitratos

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Comparación
Testigo	30	5	3,37	A
T1: Jacinto de agua (50g)	13	5	3,37	B
T3: Lenteja de agua (50g)	6	5	3,37	B
T4: Lenteja de agua (100g)	6	5	3,37	B
T2: Jacinto de agua (100g)	6	5	3,37	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)
Villafuerte, 2020

Los tratamientos de fitorremediación no difieren significativamente entre sí, pero si difieren del testigo; esto indica que los tratamientos de fitorremediación tienen igual efecto de remoción de nitratos en el agua del estero.

4.2.2.3 Sólidos totales.

El p-valor según el análisis de varianza para el parámetro sólidos totales (considerando el testigo) fue 0,0004. Esto indica que existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y se procedió a realizar el análisis Tukey observado en la Tabla 13. El coeficiente de variación fue 25,1%, que indica una estimación regular pero aceptable.

Tabla 13. Análisis Tukey de sólidos totales

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Comparación
Testigo	900	5	69,1	A
T3: Lenteja de agua (50g)	760	5	69,1	A B
T1: Jacinto de agua (50g)	560	5	69,1	B C
T4: Lenteja de agua (100g)	480	5	69,1	B C
T2: Jacinto de agua (100g)	380	5	69,1	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)
Villafuerte, 2020

Los tratamientos T1, T3 y T4 presentan medias significativamente parecidas, pero que difieren de las medias de T2 y testigo; esto indica que el tratamiento T2 tiene el mayor efecto de remoción de sólidos totales en el agua del estero.

4.2.2.4 Turbidez.

El p-valor según el análisis de varianza para el parámetro turbidez (considerando el testigo) fue 0,0001. Esto indica que existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y se procedió a realizar el análisis Tukey observado en la Tabla 14. El coeficiente de variación fue 3,6%, que indica una estimación precisa.

Tabla 14. Análisis Tukey de turbidez

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Comparación
Testigo	45	5	0,49	A
T1: Jacinto de agua (50g)	38,64	5	0,49	B
T4: Lenteja de agua (100g)	28,52	5	0,49	C
T3: Lenteja de agua (50g)	25,18	5	0,49	D
T2: Jacinto de agua (100g)	13,96	5	0,49	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)
Villafuerte, 2020

Todos los tratamientos presentan medias significativamente diferentes, esto indica que los tratamientos de fitorremediación tienen efecto en la turbidez del agua del estero, siendo T2 el de mayor efecto de remoción de turbidez.

4.2.2.5 Coliformes fecales.

El p-valor según el análisis de varianza para el parámetro coliformes fecales (considerando el testigo) fue 0,0001. Esto indica que existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y se procedió a realizar el análisis Tukey observado en la Tabla 15. El coeficiente de variación fue 14,81%, que indica una estimación aceptable.

Tabla 15. Análisis Tukey de coliformes fecales

Tratamiento	Medias	n	E.E.	Comparación
Testigo	125,6	5	6,28	A
T3: Lenteja de agua (50g)	97,4	5	6,28	B
T2: Jacinto de agua (100g)	95	5	6,28	B
T4: Lenteja de agua (100g)	92,8	5	6,28	B
T1: Jacinto de agua (50g)	63,2	5	6,28	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)
Villafuerte, 2020

Los tratamientos T2, T3 y T4 presentan medias significativamente parecidas, pero que difieren de las medias de T1 y testigo; esto indica que los tratamientos de

fitorremediación tienen efecto de remoción de coliformes fecales en el agua del estero, siendo T1 el de mayor efecto de remoción.

4.2.3 Eficiencia de los tratamientos.

En la figura 6 se aprecia que el tratamiento T1 (Jacinto de agua – 50 gr) presenta el menor porcentaje de remoción de nitratos con 56,67%. Los demás tratamientos presentan un porcentaje de 80% de remoción. Por tanto, son más efectivos los tratamientos con lenteja de agua ya que remueven nitratos con alta eficiencia en dosis baja y alta.

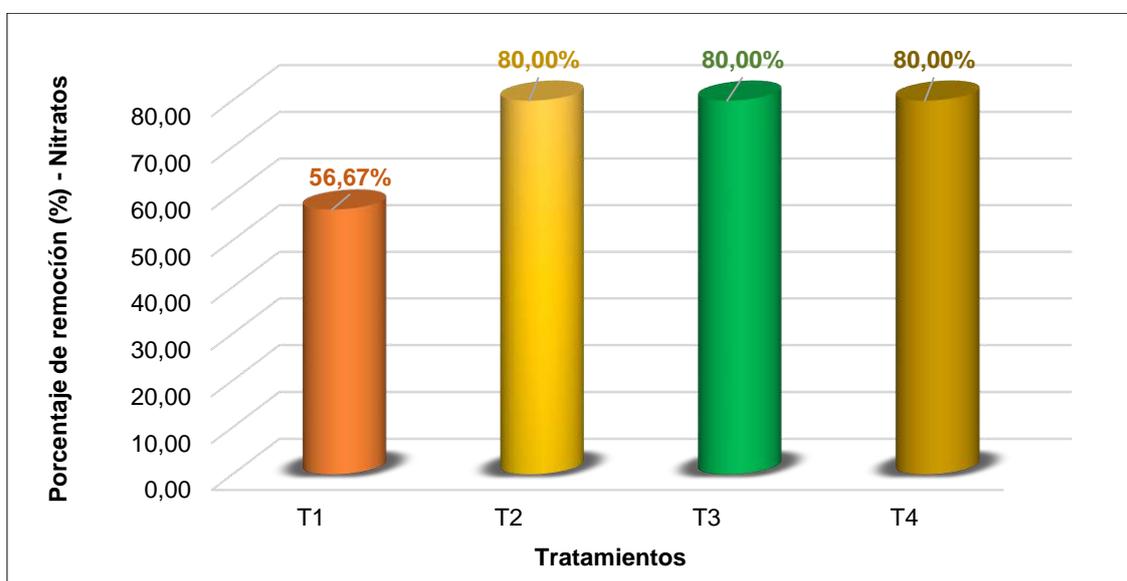


Figura 6. Comparación de porcentajes de remoción de nitratos
Villafuerte, 2020

En la figura 7 se aprecia que el tratamiento T2 (Jacinto de agua – 100 gr) presenta el mayor porcentaje de remoción de sólidos totales con 57.78%, mientras que el tratamiento que presentó la menor remoción fue T3 (Lenteja de agua – 50 gr) con 15.56%. Esto indica una tendencia al aumento de remoción de sólidos totales conforme aumenta la dosis de especies.

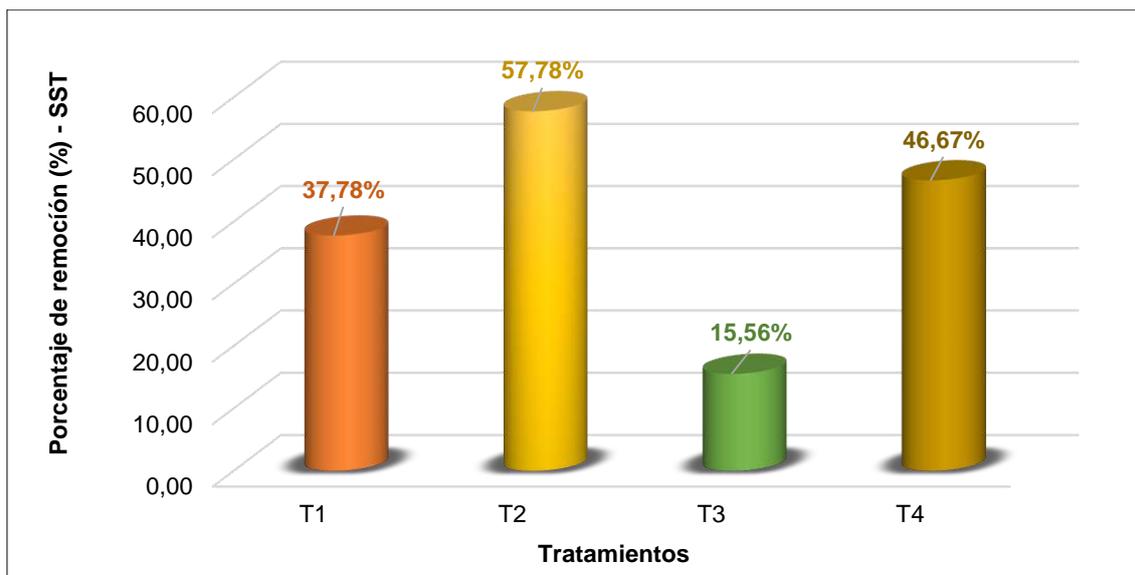


Figura 7. Comparación de porcentajes de remoción de sólidos totales Villafuerte, 2020

En la figura 8 se aprecia que el tratamiento T2 (Jacinto de agua – 100 gr) presenta el mayor porcentaje de remoción de turbidez con 68.98%, mientras que el tratamiento que presentó la menor remoción fue T1 (Jacinto de agua – 50 gr) con 14.13%. Esto indica una tendencia al aumento de remoción de turbidez en los tratamientos de Jacinto conforme aumenta la dosis de Jacinto, mientras que en los tratamientos de Lenteja es al contrario.

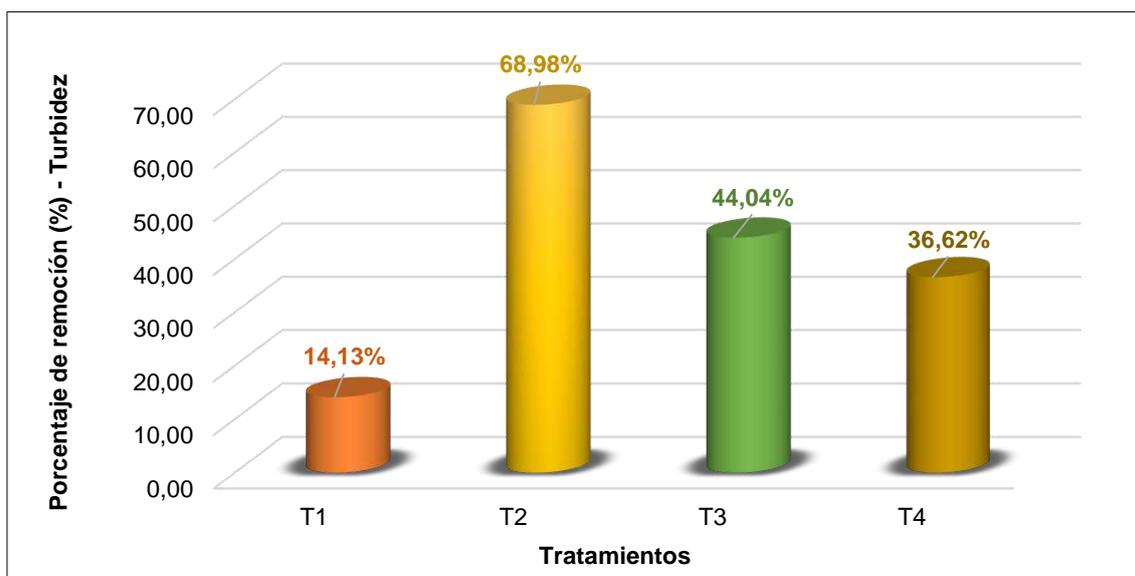


Figura 8. Comparación de porcentajes de remoción de turbidez Villafuerte, 2020

En la figura 9 se aprecia que el tratamiento T1 (Jacinto de agua – 50 gr) presenta el mayor porcentaje de remoción de coliformes fecales con 49.68%, mientras que el tratamiento que presentó la menor remoción fue T3 (Lenteja de agua – 50 gr) con 22.45%. Esto indica una tendencia a la disminución de remoción de coliformes fecales en los tratamientos de Jacinto conforme aumenta la dosis de Jacinto, mientras que en los tratamientos de Lenteja es, al contrario.

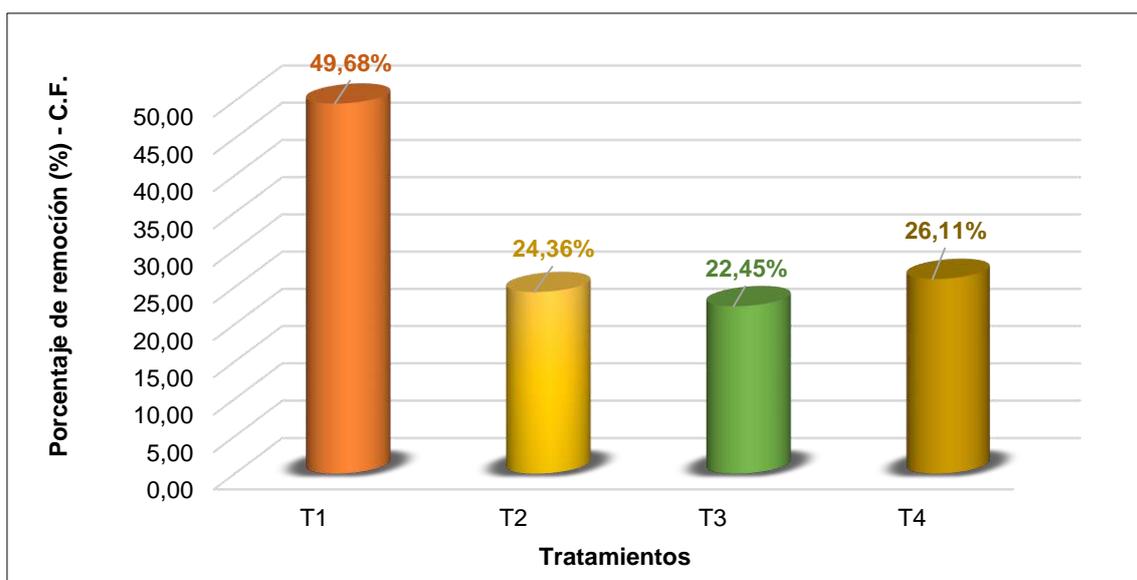


Figura 9. Comparación de porcentajes de remoción coliformes fecales Villafuerte, 2020

4.2.4 Tratamiento más eficiente.

En la Figura 10 se presenta el mayor porcentaje de remoción entre tratamientos por parámetro de estudio. Se observa que el tratamiento T2 basado en *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua – 100 gr) obtuvo el mayor porcentaje remoción en tres de cuatro parámetros. Esto indica que, estadísticamente T2 fue el tratamiento más efectivo en remoción de contaminantes.

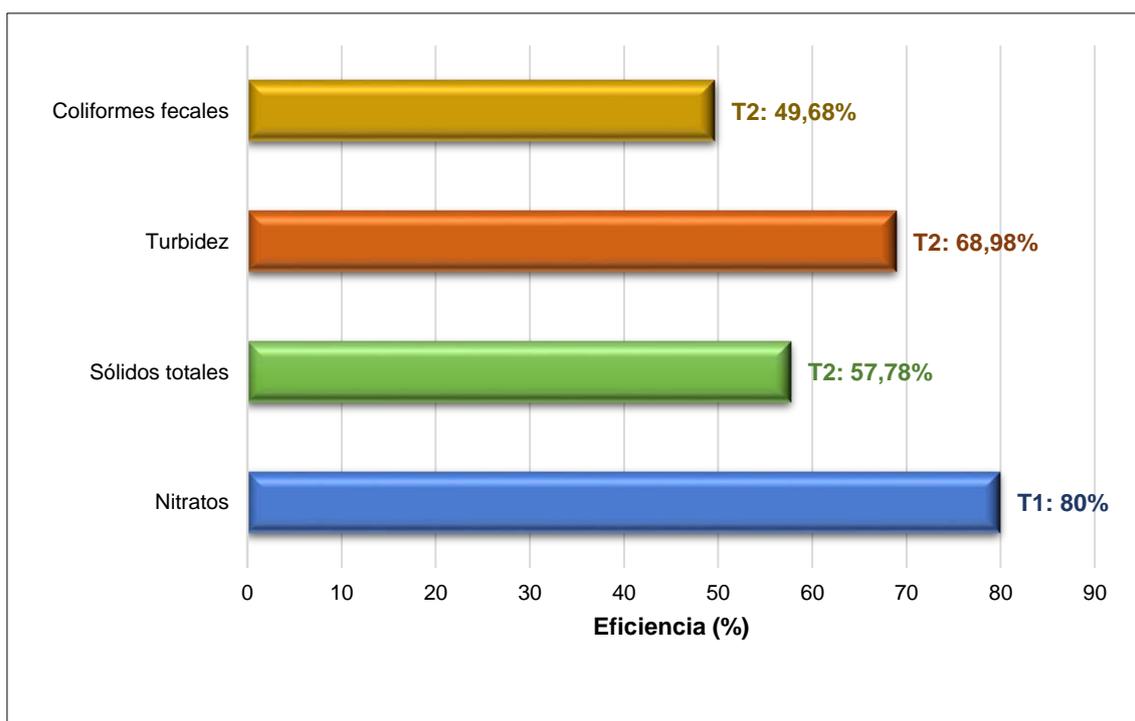


Figura 10. Porcentajes de remoción de contaminantes por tratamiento Villafuerte, 2020

4.3 Comparación del resultado de los tratamientos con los límites máximos permisibles expresados en las normas de criterio de calidad de aguas

En la tabla 16 se observa la evaluación de los parámetros por tratamiento considerando los límites máximos permisibles expresados en el Acuerdo Ministerial 097 A norma de la calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua

Tabla 3: Criterios de Calidad de aguas para riego agrícola.

Tabla 16. Análisis del cumplimiento de los criterios de calidad de aguas para riego agrícola

Parámetro	Unidad	Límite permisible	Media	Grado
Testigo				
pH	-	6,5 - 9,5	6,99	C
Nitratos	mg/l	10	30	Nc
Sólidos totales	mg/l	3000,0	900	Nc
Turbidez	NTU	0-50	45	C
Coliformes fecales	NMP/100 ml	200	126	C
T1: Jacinto de agua (50g)				
pH	-	6,5 - 9,5	7,69	C
Nitratos	mg/l	10	13	C
Sólidos totales	mg/l	3000,0	560	C
Turbidez	NTU	0-50	38,64	C
Coliformes fecales	NMP/100 ml	200	63,2	C
T2: Jacinto de agua (100g)				
pH	-	6,5 - 9,5	7,76	C
Nitratos	mg/l	10	6	C
Sólidos totales	mg/l	3000,0	380	C
Turbidez	NTU	0-50	13,96	C
Coliformes fecales	NMP/100 ml	200	95	C
T3: Lenteja de agua (50g)				
Ph	-	6,5 - 9,5	7,38	C
Nitratos	mg/l	10	6	C
Sólidos totales	mg/l	3000,0	760	C
Turbidez	NTU	0-50	25,18	C
Coliformes fecales	NMP/100 ml	200	97,4	C
T4: Lenteja de agua (100g)				
Ph	-	6,5 - 9,5	7,45	C
Nitratos	mg/l	10	6	C
Sólidos totales	mg/l	3000,0	480	C
Turbidez	NTU	0-50	28,52	C
Coliformes fecales	NMP/100 ml	200	92,8	C

Nota: C representa que la media cumple el criterio permisible y NC (rojo) que no lo cumple

Villafuerte, 2020

Se determinó que los parámetros nitratos y sólidos totales no cumplían los criterios permisibles, sin embargo, todos los tratamientos que emplearon especies vegetales sí. Esto afirmaría la hipótesis de investigación, la cual indica que la aplicación de especies vegetales en pruebas de laboratorio con muestras del agua del estero La Matanza 2 del cantón Durán son altamente eficiente minimizando contaminantes, permitiendo su posible reutilización en aguas para riego.

5. Discusión

En esta investigación se evaluó la eficiencia dos especies vegetativas Lenteja de agua (*Lemna minor L.*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes.*) como métodos de fitorremediación aplicados al agua del estero La matanza 2, del Cantón Durán. Se estudiaron diferentes tratamientos siguiendo un diseño experimental aleatorio de cinco repeticiones por tratamiento (ver tabla 1 y 2), posterior se realizó el análisis de los parámetros fisicoquímicos.

La muestra testigo absoluto presentó un pH de 6.99, al aplicar los tratamientos se elevó en un rango de 7.38 a 7.76; siendo los tratamientos de *E. crassipes* los de mayor valor. Todos estos valores se consideran neutros en la escala de pH, y se encuentran dentro del límite permisible para aguas de uso agrícola y cuerpos de agua. Autores que han aplicado las mismas especies como tratamiento para aguas de diferente procedencia, han observado tendencia al aumento en el pH. Tuesta (2016) realizó tratamientos a efluentes de piscinas acuícolas, al mes observó un aumento del pH de 5.99 (ligeramente ácido) a un valor máximo de 6.93 (neutro) presentado por el estanque con *E. crassipes*. Vargas (2017) por su parte, aplicó las especies en aguas residuales domésticas vertidas en una quebrada, a los 15 días el pH se elevó en ambos tratamientos de 6.2 a 6.4 (ligeramente ácidos).

Sin embargo, la tendencia de aumento del pH difiere con Coronel (2016) quien evaluó la eficiencia de las mismas especies en el tratamiento de las aguas residuales de una entidad universitaria en Perú. Antes de la aplicación de los tratamientos, el agua presentó un pH de 8.73 (ligeramente alcalino) disminuyendo a 7.20 (neutro) con *E. crassipes* y 7.96 (neutro) con *L. minor*.

Esta tendencia se debe a que la relación del pH y el CO₂ es inversamente proporcional. Cuando el agua a tratar contiene alta cantidad de materia orgánica degradable origina elevados valores de CO₂. Las plantas macrófitas asimilan el CO₂ del medio acuático durante el proceso de fotosíntesis, la disminución de este compuesto incide en el aumento de pH y viceversa (Talavera et al., 1998). Se infiere que en el caso del estudio de Coronel (2016), las especies macrófitas empleadas sufrieron descomposición dentro del medio, debido a que el agua tratada posiblemente contenía elevada cantidad de compuestos químicos inorgánicos.

En cuanto a nitratos, ambas especies *E. crassipes* y *L. minor* presentaron un porcentaje máximo de remoción de 80%. Sin embargo, se determinó que los tratamientos con lenteja de agua son más efectivos ya que remueven nitratos con alta eficiencia en dosis baja y alta. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Coronel (2016), quien obtuvo porcentajes de remoción entre 86 a 87% empleando las mismas especies, siendo ligeramente superior *L. minor* (ver Figura 21, en anexos).

La especie *E. crassipes* (100 gr) presentó el mayor porcentaje de remoción en sólidos totales con 57.78%, turbidez con 68.98% y coliformes fecales con 49.68%. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por diversos autores, donde la especie *E. crassipes* presenta mayores porcentajes de remoción que *L. minor* (ver Figura 22 - 24, en anexos). Se determinó que conforme aumenta la dosis aumenta la remoción. Según Martelo y Lara (2012) el Jacinto de agua es la especie macrófita predominante en los sistemas de tratamiento de aguas, debido a su alta capacidad de asimilación y proliferación en ambientes acuáticos.

Aplicando métodos de fitorremediación para disminuir la contaminación del agua del Estero la matanza 2, en el cantón Durán, se obtuvo un porcentaje máximo de

remoción de turbidez de 68.98%. Este valor es menor a los obtenidos por Muñoz (2017), quién implementó procesos físicos, químicos y biológicos para remediar aguas procedentes del mismo estero, resultando en una eficacia de remoción de turbidez con biofiltro de 93.32%, filtración 99.66% y por coagulación/floculación 99.28%.

Esto indicaría que en el caso del agua procedente del Estero La Matanza, es necesario la implementación de procesos adicionales (físicos o químicos) que aumenten la eficiencia de remoción de turbidez. Además, según Martelo y Lara (2012) la eficiencia de remoción de contaminantes empleando macrófitas aumenta significativamente en sistemas con aireación y circulación; también los retiros periódicos de las plantas son un requerimiento necesario para optimizar la eficiencia.

6. Conclusiones

El agua procedente del estero La Matanza 2 en el cantón Durán presenta los siguientes valores promedios en los parámetros fisicoquímicos y biológicos: pH (neutro) entre 7 a 7.69, nitratos 30 mg/l, sólidos totales 900 mg/l, turbidez 45 NTU y coliformes fecales 126 NPM/100 ml. Esto indica que los valores de los parámetros nitratos y sólidos totales se encontraban fuera del límite permisible.

El tratamiento con la especie vegetativa Jacinto de agua, a dosis de 100 gramos, es el más eficaz en el mejoramiento de la calidad del agua en el estero La Matanza 2 al reducir la carga orgánica de un medio. Obteniendo la especie *E. crassipes*, la mayor eficiencia de remoción en los parámetros: nitratos con 80%, sólidos totales con 57.78%, turbidez con 68.98% y coliformes fecales con 49.68%.

Al comparar el agua tratada con (*Lemna minor L.*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) los valores de los parámetros de estudio están por debajo de los límites máximos permisibles expresados en la Norma de la calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua: Criterios de calidad de aguas para riego agrícola. Por lo que la aplicación de estas especies vegetales, como tratamiento de aguas procedentes del estero La Matanza 2, es altamente eficiente en la remoción de contaminantes.

7. Recomendaciones

Evaluar otros parámetros físicos, químicos y biológicos, considerando metales pesados como mercurio y cadmio. Asimismo, evaluar la eficiencia de un tratamiento que combine ambas especies (*Lemna minor L.*) y Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Se recomienda el estudio periódico del efecto de las mismas especies empleando un sistema continuo con aireación y circulación, además de añadir la implementación de procesos adicionales (físicos o químicos) que permitan aumentar la eficiencia de remoción.

Evaluar las características morfológicas de las plantas periódicamente, para determinar el efecto de los contaminantes en las especies debido a su elevada capacidad de absorción y asimilación de carga contaminante.

8. Bibliografía

- Acebo, D., & Hernández, A. (2013). Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 44(1).
Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181226886003.pdf>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica* (Sexta ed.). Caracas, Venezuela: Editotal Episteme.
- Código Orgánico del Ambiente. (12 de abril de 2017). Ley 0. Ecuador: Código Orgánico del Ambiente. Obtenido de http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf
- Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas. (2014). *Guía para la implementación del Convenio sobre el Agua*. Obtenido de https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_Guide_to_implementing_Convention/ece_mp.wat_39_spa.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnologías simplificada*. México: CONAGUA. Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/11DisenoDePlantasPotabilizadorasTipoDeTecnologiaSimplificada.pdf>
- Constitución de la República del Ecuador. (20 de octubre de 2008). Decreto Legislativo 0. Ecuador: Registro Oficial 449. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/09/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador.pdf>

- Coronel, B. (2016). *Eficiencia del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes M.) y Lenteja de agua (Lemna minor L.) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas - Chachapoyas (Tesis de pregrado)*. Chachapoyas, Perú: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas .
- CUSTOMMEDIA. (05 de Septiembre de 2016). Los Ríos de América Latina, África y Asia aumentan sus niveles de contaminación. Obtenido de <https://www.compromisorse.com/rse/2016/09/05/los-rios-de-america-latina-africa-y-asia-aumentan-sus-niveles-de-contaminacion/>
- Del Pilar, M. (2004). La lenteja de agua (Lemna minor L.): una planta acuática promisoría. *Revista EIA*(1), 33-38.
- El espectador. (22 de Marzo de 2017). El tratamiento de aguas residuales, clave para la escasez. Obtenido de <https://www.elespectador.com/noticias/medio-ambiente/el-tratamiento-de-aguas-residuales-clave-para-la-escasez-articulo-685792>
- El telégrafo. (28 de Mayo de 2018). El 41% de las industrias del país se desarrollan en el guayas. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/economia/4/industrias-desarrollo-guayas-ecuador>
- Enriquez, J. (26 de Noviembre de 2015). *Diseño de una planta de tratamiento de agua potable por múltiples etapas para el sitio Bellavista (Tesis de pregrado)*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala.
- Erazo, Y. (Agosto de 2018). *Biodepuración de aire: Descontaminación ambiental Pm 2.5 CO, CO2 del aire de la zona industrial del Cantón Milagro utilizando*

- Dracaena marginata, Chlorophytum comosum & Scindapus aureus* (Tesis de pregrado). Guayaquil, Ecuador: Universidad de Guayaquil.
- Escobar, J. (2002). *La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. Santiago de Chile: CEPAL - División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Franco, P., & Rodríguez, M. (2016). *Formulación de líneas estratégicas para un proyecto participativo de conservación de un ojo de agua de la parroquia El Condado, barrio colinas del Norte, sector El Manantial y sector Rancho bajo* (Tesis de pregrado). Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + limpia*, 7(2), 52-73.
- Goyenola, G. (junio de 2007). *Cartilla: Guía para la utilización de las valijas viajeras - transparencia, color y turbidez*. Obtenido de Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos:
http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/transparencia_color_%20turbidez.pdf
- Hernández, S. (23 de Octubre de 2015). *Evaluación de la calidad Físico - Química y bacteriológica del arroyo Coyopolan del Municipio de Ixhiacán de los Reyes, Veracruz* (Tesis de maestría). México: Universidad Veracruzana.
- INEC. (2010). *Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador*. Recuperado del Instituto Nacional Ecuatoriano de Censos
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/guayas.pdf>

- INEC. (2010). Resultados del Censo 2010 de población y vivienda en el Ecuador. Recuperado del Instituto Nacional Ecuatoriano de Censos <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manualateral/Resultados-provinciales/guayas.pdf>
- INEC. (2015). *Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales Agua y Alcantarillado*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Presentacion_GAD_Municipales_Gestion_Agua_Alcantarillado_2015.pdf
- INEC. (5 de Octubre de 2018). *La principal afectación ambiental de los GAD provinciales fue por contaminación de agua*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/la-principal-afectacion-ambiental-de-los-gad-provinciales-fue-por-contaminacion-de-agua/>
- Instituto Geológico y Minero de España. (s.f.). *Material de divulgación: La polución de aguas superficiales*. Obtenido de sitio web del IGME: http://www.igme.es/ZonaInfantil/MateDivul/guia_didactica/pdf_carteles/carteI3/CARTEL%203_%203_2.pdf
- Jaramillo, A., Navarrete, L., Carcelen, F., Massay, J., & Mora, S. (abril de 2008). *Ficha informativa de los humedales RAMSAR*. Obtenido de Sistema Único de Información Ambiental: <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/783967/889253/Ficha+Ramsar+Isla+Santay.pdf/1eaf5b5a-9228-4e77-a4a5-a03ce08a50db>
- Jaramillo, M., & Flores, E. (2012). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemma minor* (Lenteja de agua), y *Eichornia crassipes**

- (*Jacinto de agua*) en aguas residuales producto de la actividad minera (Tesis de pregrado). Cuenca, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- León, R., Pernia, B., Sigüencia, R., Franco, S., Noboa, A., & Cornejo, X. (2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y *Escherichia coli* en aguas servidas. *Enfoque UTE*, 9(4), 131-144.
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. (6 de agosto de 2014). Ley O. Ecuador: Registro Oficial Suplemento 305. Obtenido de <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/03/Ley-Org%C3%A1nica-de-Recursos-H%C3%ADricos-Usos-y-Aprovechamiento-del-Agua.pdf>
- Malacatus, P., Chamorro, E., & Orellana, G. (2017). Análisis de eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en extracción de aceite de palma. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 2(7), 61-68.
- Martelo, J., & Lara, A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 8(15), 221-243.
- Minaya, R. (2017). *Parámetros físicos, químicos, microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la laguna Moronachocha, época de transición creciente-vacante (Tesis de pregrado)*. Iquitos, Perú: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Ministerio del Ambiente. (30 de Julio de 2015). Anexo 1 del Libro XI del Texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de Calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. *Norma de*

- calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*. Quito, Pichincha, Ecuador. Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Muñoz, K. (2017). *Evaluación de la eficacia de procesos físicos-químicos y biológicos para la remediación del estero "La Matanza" y ubicado en el sector Héctor Cobos del cantón Durán, provincia del Guayas (Tesis de pregrado)*. Guayaquil, Ecuador: Universidad Agraria del Ecuador.
- Organización de las Naciones Unidas. (2017). *Informe Mundial sobre el desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: el recurso desaprovechado, resumen ejecutivo*. Obtenido de https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_spa
- Organización de las Naciones Unidas. (5 de Septiembre de 2018). *Semana Mundial del Agua: Cada gota cuenta para apoyar el objetivo de desarrollo sostenible*. Obtenido de sitio web ONU: <https://www.un.org/development/desa/es/news/sustainable/everydrop-of-support-for-sdg6.html>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice* (Tercera ed., Vol. 1). Suiza: Ediciones de la OMS.
- Organización Mundial de la Salud. (2013). Seguridad del abastecimiento de agua para la vivienda. Obtenido de <https://www.who.int/world-health-day/previous/2003/infomaterials/Brochure4/es/>
- Páez, M., Soriano, R., Torres, L., & Vásquez, N. (2014). *Factores que contaminan el Estero Salado de la ciudad de Guayaquil (Proyecto Integrador de Saberes)*. Guayaquil, Ecuador.

- Payeras, A. (2011). *Parámetros de la calidad de las aguas de riego*. Obtenido de Sitio web Bonsai Menorca:
<http://www.bonsaimenorca.com/articulos/articulos-tecnicos/parametros-de-calidad-de-las-aguas-de-riego/>
- Pradillo, B. (12 de septiembre de 2016). *Parámetros de control del agua potable*. Obtenido de Sitio web de Iagua: <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>
- Rojas, A. (2 de Septiembre de 2016). La Contaminación aumenta en la mayoría de los ríos de América Latina, Africa y Asia. *Diario El País*. Obtenido de https://elpais.com/elpais/2016/09/01/ciencia/1472719506_387465.html
- Romero, J. (2010). *Tratamiento de aguas residuales. Teórica y principios de diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sancán, M., & Vera, V. (2015). *Manejo de los residuos hospitalarios y las enfermedades infectocontagiosas del personal que labora en áreas críticas del hospital del IESS Guayaquil "Dr. Teodoro Maldonado Carbo"*. Babahoyo, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo.
- Sanchez, P. (2016). *Determinación de la concentración de metales pesados(PB, Cd, Hg) en el sedimento del estero San Camilo - Durán (Tesis de pregrado)*. Samborondón: Universidad de Especialidades Espíritu Santo.
- Sandoval, J. (2019). *Eficiencia del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y Lenteja de agua (Lemna minor L.) en la remoción de cadmio en aguas residuales (Tesis de pregrado)*. Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villareal.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos. (31 de Mayo de 2011). *Mapa Preliminar de Amenazas por Movimientos en masa del Cantón Duran Provincia del Guayas*. Obtenido de <http://app.sni.gob.ec/sni->

link/sni/PDOT/ZONA8/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/GUAYAS/DURAN/
SNGR_2014/MM_INUN/CANTON_DURAN.pdf

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo zonal 8 Guayaquil. (2017).

Agenda Zonal 8 - Guayaquil. Obtenido de

<http://www.planificacion.gob.ec/wp->

[content/uploads/downloads/2015/11/Agenda-zona-8.pdf](http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Agenda-zona-8.pdf)

SUSTAIN AQUA. (2009). *Manual de Acuicultura sostenible. Propuesta para una acuicultura continental sostenible y saludable*. Sixth Framework Programme.

Obtenido de

https://www.mapa.gob.es/app/jacumar/recursos_informacion/Documentos/

[Publicaciones/203_manual_acuicultura_sostenible.pdf](https://www.mapa.gob.es/app/jacumar/recursos_informacion/Documentos/Publicaciones/203_manual_acuicultura_sostenible.pdf)

Talavera, V., Zapata, L., & Sánchez, D. (1998). *Influencia del pH sobre los organismos acuáticos (Boletín)* (02 ed., Vol. 3). Nicovita. Obtenido de

http://www.nicovita.com/extranet/Boletines/jul_98_03.pdf

Tuesta, N. (2016). *Evaluación de las especies Lemna minor L. ("Lenteja de agua") y Eichhornia crassipes M. ("Jacinto de agua") en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba-2014 (Tesis de . Moyobamba, Perú: Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.*

Vargas, K. (2017). *Evaluación de Eichornia crassipes y Lemna minor en la remoción de parámetros de las aguas residuales domésticas de la quebrada Azungue de la ciudad de Moyobamba, 2015 (Tesis de pregrado)*. Moyobamba, Perú: Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto.

Villamar, M. (2008). *Estandarización de métodos analíticos usados para el análisis de agua, en el laboratorio del Centro de Estudios e Investigaciones*

Ambientales (CEIAM) (Tesis de pregrado). Bucaramanga, Colombia:
Universidad Industrial de Santander.

9. Anexos



Figura 11. Muestras listas para análisis
Villafuerte, 2020



Figura 12. Aplicación y rotulación de los tratamientos de fitorremediación
Villafuerte, 2020



Figura 13. Medición de Ph
Villafuerte, 2020



Figura 14. Medición de turbidez
Villafuerte, 2020



Figura 15. Medición de coliformes fecales
Villafuerte, 2020

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	25	0,93	0,89	1,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

E.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,88	8	0,23	26,13	<0,0001
Tratamiento	1,85	4	0,46	51,50	<0,0001
Repetición	0,03	4	0,01	0,77	0,5598
Error	0,14	16	0,01		
Total	2,02	24			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,18350
Error: 0,0090 gl: 16

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
T2: Jacinto de agua (100g) ..	7,76	5	0,04	A
T1: Jacinto de agua (50g)	7,69	5	0,04	A
T4: Lenteja de agua (100g) ..	7,45	5	0,04	B
T3: Lenteja de agua (50g)	7,38	5	0,04	B
Testigo	6,99	5	0,04	C

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

Figura 16. Análisis de varianza de Ph
Resultados de Infostat realizado por Villafuerte, 2020

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
pH	25	0,93	0,89	1,27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,88	8	0,23	26,13	<0,0001
Tratamiento	1,85	4	0,46	51,50	<0,0001
Repetición	0,03	4	0,01	0,77	0,5598
Error	0,14	16	0,01		
Total	2,02	24			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,18350
 Error: 0,0090 gl: 16

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T2: Jacinto de agua (100g) ..	7,76	5	0,04 A
T1: Jacinto de agua (50g)	7,69	5	0,04 A
T4: Lenteja de agua (100g) ..	7,45	5	0,04 B
T3: Lenteja de agua (50g)	7,38	5	0,04 B
Testigo	6,99	5	0,04 C

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

Figura 17. Análisis de varianza de nitratos
 Resultados de Infostat realizado por Villafuerte, 2020

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Turbidez	25	0,99	0,99	3,60

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2914,46	8	364,31	306,79	<0,0001
Tratamiento	2910,08	4	727,52	612,65	<0,0001
Repetición	4,38	4	1,09	0,92	0,4753
Error	19,00	16	1,19		
Total	2933,46	24			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,11149
 Error: 1,1875 gl: 16

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	45,00	5	0,49 A
T1: Jacinto de agua (50g)	38,64	5	0,49 B
T4: Lenteja de agua (100g) ..	28,52	5	0,49 C
T3: Lenteja de agua (50g)	25,18	5	0,49 D
T2: Jacinto de agua (100g) ..	13,96	5	0,49 E

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

Figura 18. Análisis de varianza de turbidez
 Resultados de Infostat realizado por Villafuerte, 2020

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Sólidos totales	25	0,75	0,63	25,10

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1151200,00	8	143900,00	6,02	0,0012
Tratamiento	893600,00	4	223400,00	9,35	0,0004
Repetición	257600,00	4	64400,00	2,69	0,0686
Error	382400,00	16	23900,00		
Total	1533600,00	24			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=299,55140
 Error: 23900,0000 gl: 16

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	900,00	5	69,14 A
T3: Lenteja de agua (50g)	760,00	5	69,14 A B
T1: Jacinto de agua (50g)	560,00	5	69,14 B C
T4: Lenteja de agua (100g)..	480,00	5	69,14 B C
T2: Jacinto de agua (100g)..	380,00	5	69,14 C

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

Figura 19. Análisis de varianza de sólidos totales
 Resultados de Infostat realizado por Villafuerte, 2020

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Coliformes fecales	25	0,78	0,67	14,81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11300,00	8	1412,50	7,16	0,0004
Tratamiento	9790,00	4	2447,50	12,41	0,0001
Repetición	1510,00	4	377,50	1,91	0,1572
Error	3156,00	16	197,25		
Total	14456,00	24			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=27,21328
 Error: 197,2500 gl: 16

Tratamiento	Medias	n	E.E.
Testigo	125,60	5	6,28 A
T3: Lenteja de agua (50g)	97,40	5	6,28 B
T2: Jacinto de agua (100g)..	95,00	5	6,28 B
T4: Lenteja de agua (100g)..	92,80	5	6,28 B
T1: Jacinto de agua (50g)	63,20	5	6,28 C

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

Figura 20. Análisis de varianza de coliformes fecales
 Resultados de Infostat realizado por Villafuerte, 2020

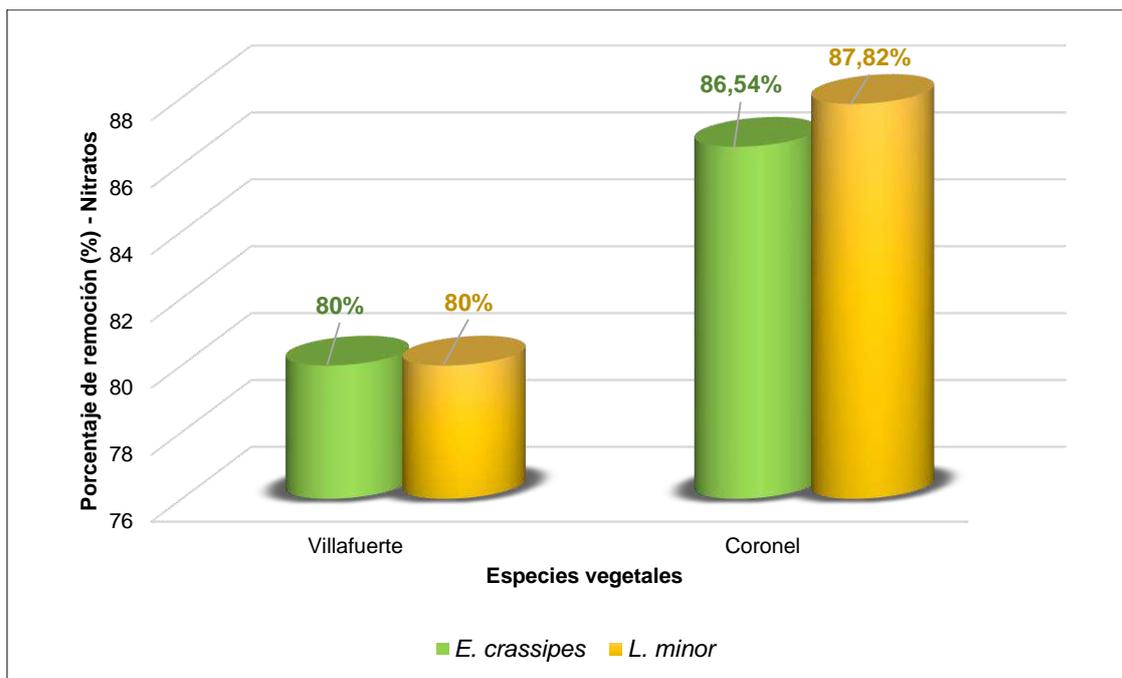


Figura 21. Comparación con otros autores remoción nitratos

Fuente: Coronel, 2016

Elaborado por Villafuerte, 2020

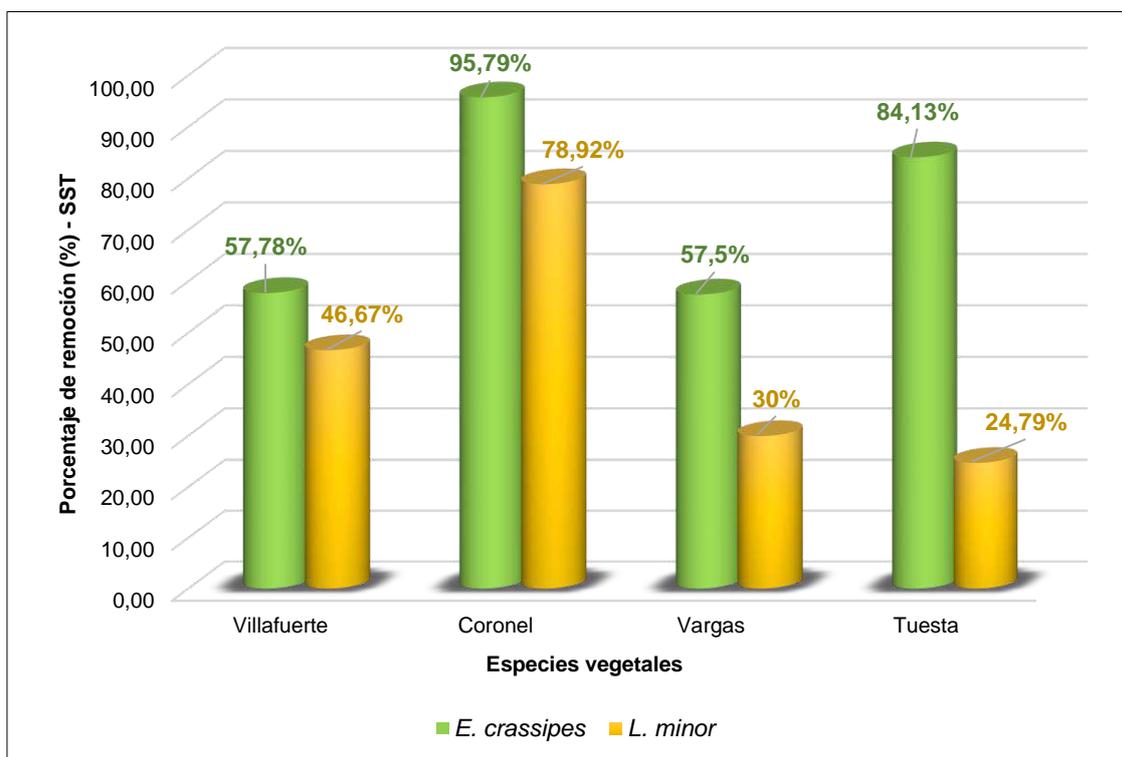


Figura 22. Comparación con otros autores remoción de sólidos totales

Fuente: Coronel, 2016; Vargas, 2017; Tuesta, 2016

Elaborado por Villafuerte, 2020

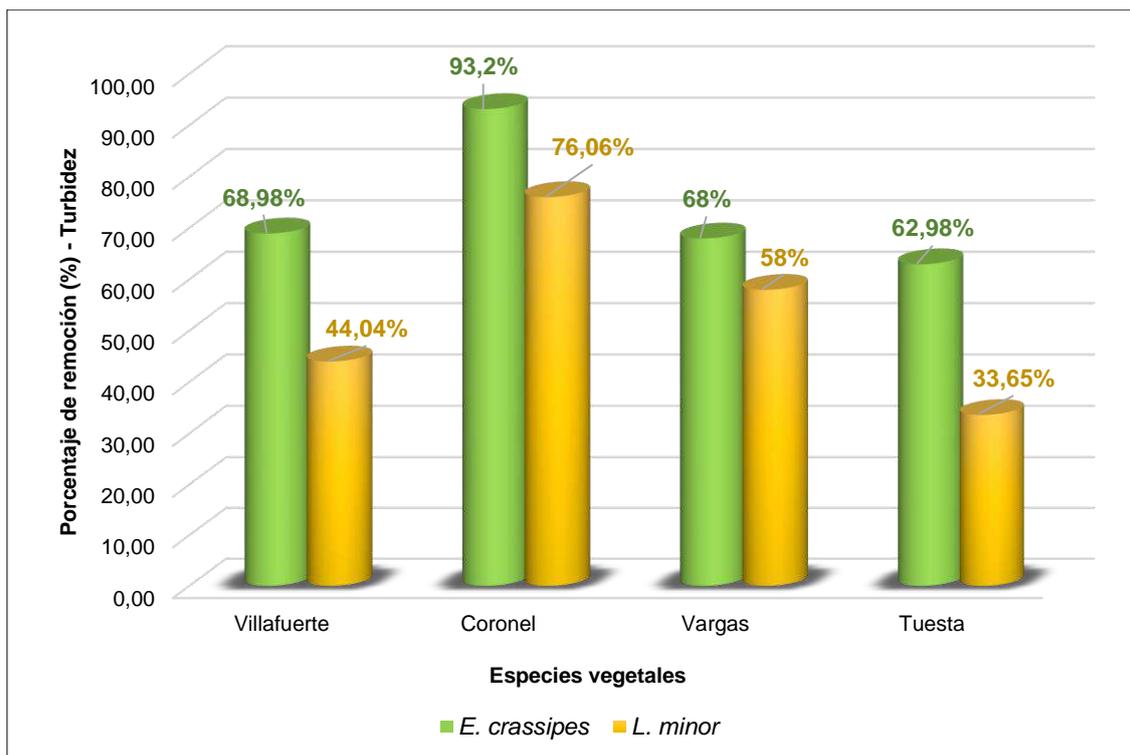


Figura 23. Comparación con otros autores remoción de turbidez

Fuente: Coronel, 2016; Vargas, 2017; Tuesta, 2016

Elaborado por Villafuerte, 2020

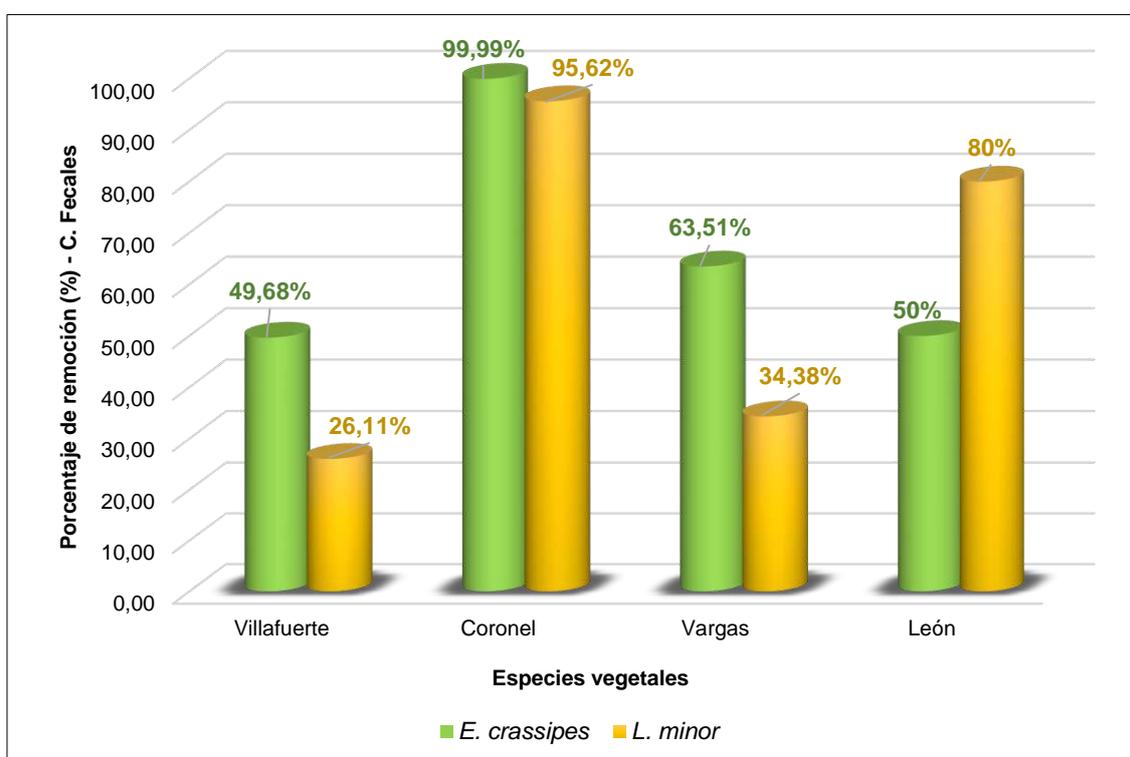


Figura 24. Comparación con otros autores remoción de coliformes fecales

Fuente: Coronel, 2016; Vargas, 2017; León et al., 2018

Elaborado por Villafuerte, 2020

Tabla 17. Coordenadas del estero La Matanza 2

Punto	Coordenadas X	Coordenadas Y
Punto 1	629605	9762895
Punto 2	629691	9762956
Punto 3	629771	9763009
Punto 4	629849	9763059

Villafuerte, 2020

Tabla 18. Criterios de calidad admisibles para la preservación de la vida acuática y silvestre en aguas dulces, marinas y estuarios.

Parámetros	Expresados como	Unidad	Criterios de calidad		
			Agua fría dulce	Agua cálida dulce	Agua marina y de estuario
Coliformes Fecales	NMP	NMP/10 0 ml	200	200	200
Cromo total	Cr	mg/l	0,05	0,05	0,05
Estaño	Sn	mg/l			2,00
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1	0,1
Materia flotante	Visible	mg/l	ausencia	ausencia	ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,025	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l			0,01
Potencial de Hidrógeno	pH		6,5 - 9	6,5 - 9	6,5 - 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,01	0,01	0,01
Sulfuro de Hidrógeno	H ₂ S	mg/l	0,0002	0,0002	0,0002
Temperatura	°C		Condiciones naturales +5	Condiciones naturales +5	Condiciones naturales +5
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5	0,5

Nota: Se consideraron los parámetros de interés para esta tabla.

Fuente: Acuerdo Ministerial 097A, 2015