



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“Comparación de la eficiencia de *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Br. Solano Carrion, Anyela Liley (ORCID: 0000-0003-1720-8409)

ASESOR:

Dr. Monteza Arbulú, César Augusto (ORCID: 0000-0003-2052-6707)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

CHICLAYO – PERÚ

2019

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación está dedicado a mis padres Amalia y Celedonio, porque sin ellos nada de esto sería posible, agradecerles infinitamente por su apoyo incondicional, por creer en mí, por cada palabra de aliento y por cada abrazo que me sirvieron muchísimo estos cinco años de Universidad. Ustedes son las personas más importantes, el pilar de mi vida; ninguna palabra en el mundo expresaría todo el amor que siento por ustedes y nunca me cansaré de agradecerle a Dios por darme unos padres tan maravillosos como ustedes. Los amo.

AGRADECIMIENTO:

Quiero agradecer a Dios por brindarme las fuerzas para seguir adelante, por darles salud a todas las personas que amo, por darme la dicha de haber nacido y crecido en una familia unida, llena de amor y con valores.

A mis padres Amalia y Celedonio, por cada sacrificio que hicieron estos cinco años para brindarme lo mejor. Agradecerles por darme todo su amor, comprensión y luchar junto a mí a cumplir uno de mis mayores sueños.

Al ingeniero César Augusto Monteza Arbulú, por brindarnos sus conocimientos, por ser nuestro asesor y guía en todo el proceso para terminar mi trabajo de investigación.



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Chiclayo, siendo las 19.00 horas del día, de acuerdo a lo dispuesto por la Resolución de Dirección de Investigación N° 0846-2019/UCV-CH, de fecha 24 de mayo del 2019, se procedió a dar inicio al acto protocolar de sustentación del Trabajo de Investigación titulado: **“Comparación de la eficiencia de *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000”**, presentado por el (la) Bachiller:

SOLANO CARRIÓN, ANYELA LILEY, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, ante el jurado evaluador conformado por los profesionales siguientes:

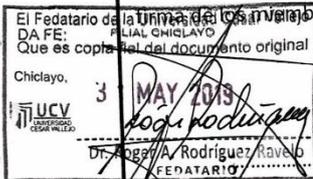
- PRESIDENTE : Dr. José Elías Ponce Ayala
- SECRETARIO (A) : Dra. Bertha Magdalena Gallo Gallo
- VOCAL : Dr. Cesar Augusto Monteza Arbulú

Concluida la sustentación y absueltas las preguntas efectuadas por los miembros del jurado se resuelve:

Aprobado por Unanimidad

Siendo las 19.50 horas del mismo día, se dio por concluido el acto de sustentación, procediendo a la firma de los miembros del jurado evaluador en señal de conformidad.

Chiclayo, 28 de mayo del 2019



.....
José Elías Ponce Ayala
Presidente

.....
Bertha Magdalena Gallo Gallo
Secretario

.....
Cesar Augusto Monteza Arbulú
Vocal

Innovación
que transforma



ucv.edu.pe

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo Anyela Liley Solano Carrión identificada con DNI N° 72365629, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo – Filial Chiclayo.

Declaro la autenticidad de este proyecto de investigación bajo juramento que:

1. Yo soy la única autora de este trabajo de investigación que tiene como título: **“COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE *Pistia stratiotes* Y *Azolla filiculoides* PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DEL DREN 4000”** la misma que voy a presentar para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental.
2. En este trabajo de investigación todos los datos e información presentada son auténticos y veraces, puesto que se han considerado y respetado todas las citas y referencias de las normas internacionales APA sexta edición para las fuentes que han sido consultadas.
3. Los resultados que están siendo presentados en este trabajo de investigación son completamente reales certificados por el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo; los cuales no han sido copiados, falsificados ni duplicados.



Anyela Liley Solano Carrión

DNI: 72365629

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
PÁGINA DEL JURADO	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	v
INDICE	vi
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Realidad Problemática	12
1.2 Trabajos previos	13
1.3 Teorías relacionadas al tema	19
1.3.1 Aguas residuales	19
1.3.2 Fitorremediación	20
1.3.3 Plantas macrófitas	22
1.3.4 Clasificación	23
1.3.5 Tratamiento de aguas residuales con plantas macrófitas	23
1.3.6 Parámetros físico- químico que se analizaron a las aguas residuales	28
1.4 Formulación del problema	30
1.5. Justificación del estudio	31
1.6 Hipótesis	31
1.7 Objetivos	31
1.7.1 Objetivo general	31
1.7.2 Objetivos específicos	32
II. MÉTODO	32
2.1 Diseño de investigación	32

2.2 Variables, Operacionalización	32
2.3 Población y muestra.....	35
2.3.1 Población.....	35
2.3.2 Muestra.....	35
2.3.3 Muestreo.....	35
2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	35
2.4.1 Técnicas de recolección de datos.	35
2.4.2 Técnicas de campo.	35
2.4.3 Métodos analíticos.....	38
2.4.4 Validez	41
2.5 Métodos de análisis de datos.....	41
2.6 Aspectos éticos	41
III. RESULTADOS	42
IV. DISCUSIÓN	50
V. CONCLUSIONES	52
VI. RECOMENDACIONES.....	53
VII. REFERENCIAS	54
VIII. ANEXOS.....	59
<i>Anexo 1: Límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua...</i>	59
<i>Anexo 2: Resultados de los análisis fisicoquímicos.....</i>	60
<i>Anexo 3: Matriz de consistencia para elaboración de proyecto de investigación.</i>	63
<i>Anexo 4: Proceso del desarrollo del trabajo de investigación.....</i>	65
Acta de Aprobación de originalidad de tesis.....	76
Autorización de Publicación de tesis en repositorio institucional UCV.....	77
Autorización de la Versión final del trabajo de investigación.....	78

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Taxonomía de la Lechuga de Agua.	24
Tabla N° 2: Taxonomía del Helecho de Agua.	26
Tabla N° 3: Operacionalización de las variables.	33
Tabla N° 4: Calidad del agua residual del dren 4000 antes del tratamiento.	42
Tabla N° 5: Variación del pH.	43
Tabla N° 6: Determinación de la temperatura.	44
Tabla N° 7: Determinación de la conductividad eléctrica.	45
Tabla N° 8: Remoción de la turbidez.	46
Tabla N° 9: Determinación del Oxígeno disuelto.	47
Tabla N° 10: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).	48
Tabla N° 11: Determinación de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO ₅).	49

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N° 1: Variación del pH de las plantas macrófitas en función del tiempo.	43
GRÁFICO N° 2: Determinación de la temperatura de las dos plantas macrófitas en función del tiempo.	44
GRÁFICO N° 3: Determinación de la conductividad eléctrica de las dos plantas macrófitas en función del tiempo.	45
GRÁFICO N° 4: Remoción de la turbidez de las dos plantas macrófitas en función del tiempo.	46
GRÁFICO N° 5: Determinación del oxígeno disuelto de las plantas macrófitas en función del tiempo.	47
GRÁFICO N° 6: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno con las dos plantas macrófitas en función del tiempo.	48
GRÁFICO N° 7: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno con las dos plantas macrófitas en función del tiempo.	49

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal comparar la eficiencia de *Pistia stratiotes* (lechuga de agua) y *Azolla filiculoides* (helecho de agua) para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000 ubicado en el distrito de Santa Rosa. Para el diseño de esta investigación se elaboraron 2 estanques de agua con capacidad de 50 litros cada uno, donde se colocó el agua residual y 3 kg tanto de lechuga de agua como de helecho de agua. Los análisis se realizaron en 3 espacios de tiempo cada 7 días.

Al realizar los análisis del agua residual del dren 4000 sin aplicar el tratamiento dio como resultado: pH 8.55, conductividad eléctrica 3.167 mS/cm, temperatura 23.28°C, turbidez 260 NTU, oxígeno disuelto 6.9 mg/L, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 917 mg/L y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) 794 mg/L, estos resultados no cumplen con los límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.

Después de haber evaluado periódicamente la calidad del agua residual tratada con *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides*, se obtuvo como resultado que la macrófita flotante más eficiente fue la *Pistia stratiotes*; puesto que para parámetros como el pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura se encontraron dentro del rango establecido; la turbidez disminuyó a 2.80 NTU con un porcentaje de remoción de 98.92%, siendo eficiente el tratamiento a los 14 días, para el parámetro de la DQO disminuyó a 198 mg/L con un porcentaje de remoción de 78.40% y para la DBO₅ disminuyó a 95 mg/L con un porcentaje de remoción de 88.035 %, siendo eficiente el tratamiento a los 21 días. Esta planta demostró ser fácil de adaptarse y con la capacidad de vivir en diferentes medios acuosos y saturados de nutrientes. Todos los parámetros analizados después de haber hecho el tratamiento mejoran la calidad de las aguas residuales, cumpliendo con los límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.

Palabras claves: Comparación, agua residual, calidad del agua, plantas macrófitas.

ABSTRACT

The main objective of the present research was to compare the efficiency of *Pistia stratiotes* (water lettuce) and *Azolla filiculoides* (water fern) to improve the quality of wastewater from drain 4000 located in the district of Santa Rosa. For the design of this research, 2 water tanks with a capacity of 50 liters each were prepared, where the residual water and 3 kg of water lettuce and water fern were placed. The analyzes were performed in 3 time slots every 7 days.

When carrying out the analyzes of the wastewater of drain 4000 without applying the treatment, it resulted in: pH 8.55, electrical conductivity 3.167 mS / cm, temperature 23.28 ° C, turbidity 260 NTU, dissolved oxygen 6.9 mg / L, Chemical Oxygen Demand (COD) 917 mg / L and Biochemical Oxygen Demand (BOD5) 794 mg / L, these results do not comply with the maximum permissible effluent limits for discharges into water bodies.

After having periodically evaluated the quality of the residual water treated with *Pistia stratiotes* and *Azolla filiculoides*, the result was that the most efficient floating macrophyte was the *Pistia stratiotes*; since for parameters such as pH, electrical conductivity, dissolved oxygen and temperature were within the established range; the turbidity decreased to 2.80 NTU with a removal percentage of 98.92%, the treatment being efficient at 14 days, for the COD parameter it decreased to 198 mg / L with a removal percentage of 78.40% and for the BOD5 it decreased to 95 mg / L with a removal percentage of 88.035%, the treatment being efficient at 21 days. This plant proved to be easy to adapt and with the ability to live in different aqueous media saturated with nutrients. All the parameters analyzed after having made the treatment improve the quality of the wastewater, complying with the maximum permissible limits of effluents for discharges to bodies of water.

Keywords: Comparison, residual water, water quality, macrophyte plants.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los elementos naturales que conforma las tres cuartas partes de nuestro planeta. Además tiene gran responsabilidad en el desarrollo de diferentes formas de vida como son los animales, vegetales y los seres humanos. Todos los organismos de los seres vivos están compuestos en gran proporción por agua, siendo esta la que compone diferentes tejidos, músculos y órganos. Es por tal razón, que sin agua no es posible la vida en nuestro planeta (Vasquez, 2017).

Uno de los mayores problemas que existe en la actualidad es la contaminación de los cuerpos de agua como son los lagos, ríos y mares a causa de la escases de plantas de tratamiento de aguas residuales en explotaciones mineras, ganaderas, agrícolas, de ciudades e industrias; estas producen en gran cantidad desechos de aguas residuales que contaminan el ambiente afectando la fauna y flora. Es por ello que es necesario realizar tratamiento a las aguas residuales con la finalidad que se pueda modificar las condiciones microbiológicas, químicas y físicas, para evitar la contaminación (Rodríguez , 2017).

Actualmente se están buscando soluciones que sean de bajo costo, eficientes y fáciles de elaborar para mejorar la problemática de las aguas residuales y una alternativa es la utilización de plantas macrófitas; puesto que estas plantas remueven contaminantes químicos y físicos mediante procesos de absorción, remoción de materia orgánica y sedimentación. Aunque a estas plantas se las considera como plaga por su rápida reproducción y crecimiento y en algunas situaciones invaden los cuerpos de agua generando dificultades a la fauna del lugar, pero si se le facilita un correcto manejo, las plantas absorben los compuestos, haciendo de esta una alternativa útil, debido a que se utilizan los contaminantes como fuente de nutrición.

Por tal razón, los sistemas con plantas macrófitas para el tratamiento de aguas residuales son soluciones eficientes porque funcionan para la asimilación de compuestos orgánicos esto se realiza a través de la eliminación de microorganismos que pueden ser no biodegradables y biodegradables; además de metales pesados y nutrientes.

En este trabajo de investigación se utilizó dos plantas macrófitas para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000 ubicado en el Distrito de Santa Rosa.

1.1 Realidad Problemática

En el informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas menciona que la constitución de las aguas residuales varían ampliamente, puesto que aumenta la variedad de contaminantes depositados por diversas fuentes entre las que encontramos las institucionales o comerciales, industriales y domésticas. Las aguas residuales de origen doméstico están comparativamente independientes de sustancias peligrosas, pero existe una preocupación sobre los nuevos contaminantes, entre los que podemos mencionar a los medicamentos de uso común, que causan un efecto negativo sobre las aguas residuales al transcurrir de los años (Organización de las Naciones para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2017).

Según el informe indica que cerca de un 80 % de las aguas residuales nominadas como aguas negras del planeta se vierten al ambiente sin haber recibido previo tratamiento que es lo que exige la normativa. Los vertimientos tanto de las aguas domésticas como los vertimientos industriales contienen microorganismos patógenos al igual que sustancias químicas y físicas que destruyen la calidad del agua generando diversas enfermedades entre las que podemos mencionar al cólera, la hepatitis infecciosa, la fiebre tifoidea, la ascariasis, la poliomielitis y las enfermedades diarreicas; ocasionando la muerte de 3,4 millones de personas al año (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2012).

En nuestro país uno de los problemas más importantes es el manejo de las aguas residuales y la escasa cobertura de la prestación de alcantarillado. Así, menciona que se cuenta con 50 empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) que abastecen el 69,6% de la población urbana en el Perú. También recalca la carencia que hay en el tratamiento de las aguas residuales. En la actualidad tratar las aguas residuales generadas por la población es obligatorio para impedir el deterioro de los ecosistemas y la multiplicación de focos infecciosos que ocasionen enfermedades que perjudiquen la salud de las personas. En la actualidad, en nuestro país solo el 32%, de los 2.2 millones de metros cúbicos (m³) de las aguas residuales diarias que transcurren por las redes de alcantarillado reciben un correcto tratamiento antes de ser vertidos a los cuerpos de agua natural como son las quebradas, ríos, lagos y mar. Un claro ejemplo tenemos a la ciudad de Lima, puesto que solo el 20%, de los 1.2 millones de metros cúbicos de aguas residuales que generan reciben tratamiento (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014).

En Lambayeque los últimos diez años las zonas marinas costeras vienen siendo el cuerpo receptor de los vertimientos de aguas residuales de uso poblacional que fluctúan de los drenes de nuestra región, esto origina un impacto negativo en los ecosistemas marinos – costeros. El dren 4000 ubicado en la playa de Santa Rosa desemboca sin ningún tratamiento sus aguas residuales en el mar, además el alcalde del Distrito de Santa Rosa denunció a empresas alcoholeras y a los camales de pollo y pescado, por ser los responsables de verter sus desperdicios al mar desmesuradamente y sin ningún tratamiento, trayendo como consecuencia daño al hábitat de las especies marinas y la flora presente en el agua, además se pone en riesgo al turismo y a la población puesto que están expuestas de manera directa al agua contaminada (Rodríguez, 2013).

1.2 Trabajos previos

(García, 2012). En el presente trabajo de investigación se realizó un estudio comparativo de tres plantas acuáticas flotantes, que tienen las características de ser depuradoras de los contaminantes presentes en aguas residuales. Las plantas que se trabajaron fueron la *Lemna minor* (lenteja de agua), *Azolla filiculoides* (helecho de agua), y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua).

Se pudo comprobar que la planta *Azolla filiculoides* al estar expuesta a mayores temperaturas mejora la absorción de los nutrientes. Se desarrolló un sistema por tandas y uno continuo, donde los análisis de pH estuvieron en el rango de 7.0 a 8.0, siendo correctos para el desarrollo adecuado de esta planta. Los resultados de la investigación para la relación DQO/COT es de 3.8 a 1.7; es decir que tiende a disminuir, puesto que la cantidad biodegradable baja por efecto del helecho de agua. Para la DQO la *Azolla filiculoides* muestra una mejor capacidad de remoción con un 52.5%. Además mientras menos concentraciones de fósforo total se encuentren, el helecho de agua remueve mejor hasta un 89%, los resultados revelan una concentración inicial de 1.91 mg/L y la final de 0.20 mg/L. En el sistema por tandas la remoción fue del 100% para el parámetro de fósforo total. Para la remoción de nitratos, el helecho de agua presenta una capacidad menor, la concentración inicial fue de 34.70 mg/L, llegando a un porcentaje de remoción de 13%. Esto ocurre cuando los nitratos reaccionan con el oxígeno ofrecido por la planta y lo convierte en nitritos; para este parámetro la concentración fue menor a 1 mg/L; en invierno la remoción fue del 69%, en otoño donde las temperaturas fueron de 8°C a 17.5°C fue del 17% y en verano donde la

temperatura fue de 20°C a 25.4°C fue de 95%. En el sistema por tandas, el helecho de agua remueve el 73% de Nitrógeno (NTK) demostrando una sola remoción de Nitrógeno (NTK), alcanzando un 73.4%, donde la concentración menor fue del amonio con 1 mg/l con un 73% de remoción y la concentración mayor fue del nitrógeno orgánico.

La cantidad de fósforo que se encuentra en los sólidos sedimentables es de 11.38%, en tanto los rizomas sedimentados son 4.76%. Lo que se entiende que el 16% está en el fondo de cada humedal. Un 86% de la remoción fue por la *Azolla filiculoides* y el 14% representa a otros factores. Es decir que el tratamiento con esta planta flotante es eficiente en un 86%.

(Rodríguez y García, 2012). En el presente trabajo de investigación se desarrolló el objetivo de evaluar la eficiencia de dos especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* para eliminar los contaminantes que se ubican en las aguas residuales. Para lograr dicho objetivo se diseñó un sistema para el tratamiento de aguas residuales; en donde hubo una retención hidráulica de 8 días, aplicando las especies flotantes antes mencionadas por separado y en tiempos distintos; en esta investigación se añadió otro tratamiento que consistió en unir a ambas especies.

Al realizar los análisis dieron como resultado que el jacinto de agua es más eficiente en mejorar la calidad de aguas residuales domiciliarias, alcanzando remociones altas en los siguientes parámetros: 77.7% Nitratos, DBO₅ 66.1%, 85.5% en Coliformes Totales, 73.5% Coliformes Termo tolerantes y Sólidos Suspendidos Totales de 60%.

Mientras que la lechuga de agua demostró ser muy débil a factores ambientales y la presencia de plagas, donde las remociones máximas fueron: 5.30% de pH, 0,8% de temperatura, 47.7% de conductividad eléctrica, 67.1% de Fosfatos, 65.6% de Nitratos, 31.59% Sólidos Suspendidos Totales, 37.1% de cloruros, 49.29% de Oxígeno disuelto, 62.8% Coliformes Totales y 63.8% de DBO₅.

Los autores llegaron a la conclusión que aplicando las dos especies como depuradoras para aguas residuales domiciliarias, lograron conseguir la mejora de la calidad para todos los parámetros que se analizaron, logrando niveles altos del 92% de los contaminantes, excepto fosfatos.

(Arango, 2007). En esta investigación los autores diseñan, construyen y evalúan un sistema a pequeña escala del tratamiento de aguas residuales domésticas, donde utilizan sistemas de humedales de flujo subsuperficial y de flujo libre. Los parámetros que se

analizaron en el humedal de flujo libre son el fósforo, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Patógenos, Sólidos Suspendidos Totales y Nitrógeno, donde se utiliza las plantas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*.

El sistema fue controlado de manera periódica, en donde se realizaron análisis físico químicos a las aguas residuales, el monitoreo se realizó cuatro veces.

Los análisis físico químicos mostraron que si hay remociones para la DQO₅ los cuales están comprendidos entre 92.92% y 94.03%, los sólidos suspendidos totales están entre 77.23% y 87.35%, cumpliendo con la legislación que es de 80%, la remoción de DQO está entre 85.00% y 91.21%. La remoción de nitrógeno amoniacal están comprendidas entre 30.59% y 47.10%, los fosfatos están entre 66.61% y 98.88%, los nitratos se encuentran entre 40.62% y 80.49%, las de nitrógeno total están entre 39.44% y 70.80%. La remoción para los coliformes totales y fecales fue del 99.99%.

(Andrade, 2015). En este trabajo de investigación se utilizó el agua residual doméstica de la Parroquia Unión Milagreña ubicada en la provincia de Orellana, en donde se realizaron análisis en campo y en laboratorio. El proceso del trabajo de investigación consistió en diseñar un prototipo a pequeña escala, el cual permitió que el agua residual doméstica la pasen por un tanque de grasas, sistema de nivelación y un tanque sedimentador y por último el flujo de agua continua pasa por el sistema de tratamiento con *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Pistia stratiotes L.* (Lechuga de agua); donde se determinó la eficacia de las plantas flotantes como agente depurador.

En el proceso de fitorremediación se logró disminuir los parámetros que se realizaron, la planta *Pistia stratiotes L.* removió: la temperatura disminuyó en un 5,93%, el potencial de Hidrógeno inicial fue de 6 y al ser tratada aumento a 7,7 encontrándose en los límites máximos permisibles, la Demanda Química de Oxígeno disminuyó de 381,41 mg/L, a 67,90 mg/L, (OD) inicial 0,74mg/L, final 4 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno disminuyó de 124,0 mg/L a 22,0 mg/L, Sólidos Totales inicial 825,85 mg/L, final 330,20 mg/L y el Fósforo disminuyó de 12,86 mg/l. a 1,92 mg/L. Mientras que *Eichhornia crassipes Mart.*, logró una remoción de los parámetros: Demanda Química de Oxígeno inicial 38,41 mg/L y final 96,16 mg/L, Fósforo disminuyó de 12,86 mg/l a 2,72 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno disminuyó de 124,0 mg/L a 31,0 mg/L y Sólidos Totales disminuyó de 825,85 mg/L a 396,0 mg/L.

Además se realizaron análisis bromatológico a la lechuga de agua antes y después de realizar el proceso de Fitorremediación en donde se determinó concentraciones como: Nitritos inicial 0,15 mg/Kg y concentración final 0,28 mg/Kg, Fósforo inicial 144 mg/Kg y concentración final de 175mg/Kg y Nitratos concentración inicial 229mg/L y final 250mg/Kg. El jacinto de agua, dio las siguientes resultados: Nitritos inicial 0,49 mg/Kg y final 0,69 mg/Kg, Fósforo inicial 180 mg/Kg y final 209 mg/Kg, Nitratos inicial 300mg/Kg y la concentración final 320mg/Kg.

(Masache, 2016). La presente investigación utiliza la fitorremediación como técnica, utilizando plantas acuáticas que absorben los contaminantes presentes en las aguas residuales. Las plantas fitorremediadoras que utilizaron fueron la *Pistia stratiotes L.* y *Hydrocotyle ranunculoides* para la mejora de la calidad de las aguas contaminadas de la porcicultura en la granja “El Guayabal”, de la parroquia Cumbaratza, cantón Zamora.

Los resultados del parámetro Sólidos Suspendidos totales presentes en el agua residual porqueriza después de realizar el tratamiento de Fitorremediación con *Hydrocotyle ranunculoides Lf.* disminuyó de 492 mg/l a 13 mg/l, con *Pistia stratiotes L.* inicial fue de 492 mg/l, final 26 mg/l. La reducción de las concentraciones de sólidos suspendidos totales se obtuvo gracias a que quedaron detenidos en las fosas construidas para elaborar el proceso de depuración.

Los resultados de la *Pistia stratiotes* para la Demanda Bioquímica de Oxígeno tuvo una concentración de 43 mg/L con un porcentaje de remoción de 71%. Para las coliformes fecales tuvo una concentración de 300NMP/100ML de las aguas sin tratamiento y un nivel de disminución de NMP de 33 NMP/100ML.

El resultado del parámetro Fósforo (PO_4) después de realizar el procedimiento de depuración con *Hydrocotyle ranunculoides Lf.* disminuyó de 11,3 mg/l a 1,2 mg/l, y con *Pistia stratiotes L* disminuyó de 11,3 mg/l a 2,4 mg/l.

(León y Lucero, 2009). En esta investigación se estudia tres especies las cuales son *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua), *Lemna Gibba* (Lenteja de agua) y *Azolla filiculoides* (Helecho de agua), donde se realizará tratamientos a las aguas residuales domiciliarias dirigido a viviendas unifamiliares y comunitarios de la Provincia de Imbabura en las parroquias rurales de Iltaquí.

Los resultados en la remoción de sólidos totales y conductividad eléctrica (670 us/cm hasta 800 us/cm y disminuyó de 650 hasta 500 us/cm) es de 18 % para la *Azolla filiculoides* y un 25% para la *Eichhornia crassipes*. Para la DQO (inicial 420 mg/l – final 100 mg/l) Y DBO₅ (inicial 350 mg/l – final 48 mg/l), la especie que tiene mayor eficiencia en la remoción de los dos parámetros es *Eichhornia crassipes* con 76.00% y 87.00% mutuamente, la otra especie es *Azolla filiculoides* que alcanzó el 72.00% y 79.00% respectivamente. Para la remoción del nitrógeno total se alcanzó un 78% de remoción y lo consiguió la especie *Eichhornia crassipes*, la *Azolla filiculoides* removió un 5%. Para los nitratos la especie *Azolla filiculoides* removió de 2,25 mg/l a 1,75 mg/l. La remoción de fósforo total (inicial 0,75 mg/l, final 0,2 mg/l) y fosfatos (inicial 4 mg/l – final 1,5 mg/l) fue de 77% utilizando la *Azolla filiculoides*.

Esta investigación muestra que la *Eichhornia crassipes* fue la especie más eficiente para tratar la remoción de parámetros en aguas residuales, puesto que un número importante de parámetros fueron removidos, excepto para los microbiológicos donde la *Lemna gibba* es la mejor planta para la remoción de este parámetro logrando un porcentaje de remoción de 94.00% y 98.5% junto con la *Eichhornia crassipes* en coliformes totales. La *Azolla filiculoides* también logró eficientes niveles de remoción con un porcentaje del 72.00%.

(Zimmels, Firzhner y Malkovskaja, 2006). Se evaluó a escala de laboratorio la eficiencia de purificación de aguas residuales mediante la aplicación de plantas acuáticas, como la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) y el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Los experimentos piloto en cascada y semicontinuos verificaron que las plantas son capaces de disminuir todos los indicadores de la calidad del agua a niveles que permiten el uso del agua purificada para el riego de cultivos arbóreos. Los parámetros que fueron analizados son: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos suspendidos totales (SST), la demanda química de oxígeno (DQO) y la turbidez.

Las pruebas a escala de laboratorio confirman la capacidad de las plantas para alcanzar y mantener niveles razonablemente bajos de DBO (5 – 7 mg/L) y DQO (40 – 50 mg/L) y niveles muy bajos de SST (3 – 5 mg/L) y turbidez (1 – 2 NTU).

En el desarrollo del experimento, con circulación, la DQO disminuyó de 460 a 100 mg/L⁻¹) después de 2,5 a 4 días de tratamiento, mientras que se requirieron de 6 a 7 días de circulación. Esto duplicó el área activa del estanque y proporcionó una carga hidráulica de

dos niveles (8 y 12 L min⁻¹) con circulación que demostró ser efectiva durante el verano así como en la temporada de invierno. Las concentraciones de salida fueron 50 – 85 mg/L⁻¹) de DBO. Los resultados muestran que el uso de este sistema de flujo de superficie de agua libre y su sistema debajo mantenimiento para el tratamiento de aguas residuales urbanas y agrícolas es una opción viable.

(Fonkou, Agendia, Kengne, Akoa y Nya, 2001) Se realizaron estudios para el crecimiento y la productividad de *Pistia stratiotes* en un sistema de tratamiento de aguas residuales de laguna macrofítica a escala piloto en Yaundé (Camerún).

También estudiamos los resultados del sistema de tratamiento basado en *Pistia* mediante el estudio de perfil de parámetros. El sistema consta de 8 estanques dispuestos en serie y opera en dos fases: una fase de digestión de decantación en la que la materia orgánica bruta es licuada por microorganismos, y una fase de laguna donde se cultiva *Pistia stratiotes* para mejorar la actividad microbiana, absorber nutrientes y eliminar sólidos suspendidos. Desde entonces, la biología reproductiva, el crecimiento y la productividad, incluida la absorción de nutrientes, se observa que esta planta crece de manera rápida y regular después del cultivo, pero luego se descompone.

Con un período de cultivo mínimo de 15 días y un máximo de 25 días, se obtiene en el sistema una tasa de crecimiento absoluta que varía de 7.5 a 8.5 g DM / día, lo que da una productividad estimada de 2737.5 ga 3102 g DM / m² / año . Los parámetros fisicoquímicos considerados en el sistema se reducen progresivamente de los estanques de influencia a los efluentes. En particular, la turbidez, los fosfatos, el hierro total, los sulfatos, el color, la DQO, la DBO 5, los sólidos en suspensión, el oxígeno disuelto y los nitratos se mejoran en más del 70%. El contenido promedio de nutrientes de *Pistia* en el sistema es 4.72% (DM) TKN, 30.91% (DM) Proteína bruta, 5.6% (DM) grasa cruda, 15.14% (DM) fibra cruda y 19.72% (DM) ceniza. La capacidad de esta planta de utilizar los nutrientes de las aguas residuales para elaborar una importante fitomasa que se agrega a su fácil manejo mediante la recolección regular, la convierte en una de las plantas más adecuadas para la fitomediación de aguas residuales en áreas tropicales.

(Golzary, Tavakoli y Karbassi, 2017). El helecho acuático *Azolla*, es una planta flotante de hoja pequeña, que vive en simbiosis con una cianobacteria fijadora de nitrógeno (*Anabaena*) es una planta sobresaliente debido a su alta productividad de biomasa además de su tasa más alta por unidad de área para la fijación de nitrógeno.

En este estudio, se investigó el crecimiento potencial de *Azolla* en efluentes secundarios para la eliminación de DQO, fósforo y nitrógeno. El resultado reveló que la eliminación de N y P a 100 ppm de cada componente en un medio separado, se obtuvo 36% y 44% respectivamente. Para una solución mixta de estos dos compuestos de medio, la eliminación de N y P se redujo a 33 y 40.5%, respectivamente. Los resultados mostraron que la absorción de nitrógeno disminuyó en presencia de fósforo. Además, *Azolla* mostró un alto potencial de eliminación de DQO en un 98.8% a los 28 días. Finalmente, *Azolla* podría jugar como uno de los agentes más prometedores para la remoción de DQO y el tratamiento de aguas residuales sin fósforo y ricas en nitrógeno.

1.3 Teorías relacionadas al tema.

1.3.1 Aguas residuales.

Romero afirma que “el agua servida o agua residual es la mezcla de residuos y líquidos que proceden de las instituciones, comercios, fábricas y viviendas, donde son combinadas con aguas superficiales, pluviales y subterráneas que son arrastradas junto a las aguas residuales” (como se citó en Rodríguez y García, 2012).

Las aguas residuales como las aguas que poseen rasgos que han sido transformados por acciones del hombre, además estos no cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental, requiriendo un tratamiento previo (físico, químico o biológico), antes de ser depositadas a los cuerpos naturales, vertidas a los sistemas de alcantarillado o darles otro uso como el riego de vegetales (OEFA, 2014).

1.3.1.1 Clasificación de las aguas residuales.

(OEFA, 2014) Nos dice en un estudio que realizó a cerca de la fiscalización ambiental en aguas residuales, las clasifica de la siguiente manera:

- Aguas residuales domésticas: Se entiende que son todas las aguas que provienen tanto de residencias y comercios, conteniendo desperdicios fisiológicos, detergentes y restos de comida, entre otros, que provienen del desarrollo de actividades humanas, siendo dispuestos de manera incorrecta.

- Aguas residuales industriales: Son todas aquellas aguas generadas en el avance de algún proceso productivo, donde se incluye las que provienen de actividades mineras, agrícolas, agroindustriales, energéticas, etc.
- Aguas residuales municipales: Estas aguas son la unión de todas las aguas residuales de origen industrial, de origen doméstico y las que provienen del drenaje pluvial, que deben de estar tratadas antes de ser depositadas a los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Otras de las clasificaciones que menciona Jimeno según las fuentes de contaminación son las siguientes (como se citó en Rodríguez y García, 2012).

- Aguas de lluvia: Son aquellas que producto de la escorrentía superficial o drenajes, están caracterizadas por las grandes contribuciones intermitentes a la escasa contaminación.
- Aguas domésticas: Estos vertidos se identifican por la agregación de compuestos inorgánicos, orgánicos y de microorganismos; dentro de los compuestos orgánicos se señalan los residuos de deyecciones humanas, de origen animal, vegetal, detergentes, entre otras. Al pasar por procedimientos de fermentación tienen un olor a ácido sulfhídrico, cambiando de color a gris negruzco.
- Aguas industriales: Tienen una diferencia con el contenido de las sustancias que tienen las aguas residuales de origen doméstico, los elementos propios de esta actividad son los iones, productos radioactivos, detergentes, productos tóxicos, hidrocarburos, entre otros.
- Aguas agrícolas: Son las sustancias producto de actividades ganaderas y agrícolas donde se utiliza herbicidas, pesticidas, funguicidas y se genera estiércol.

1.3.2 Fitorremediación.

Según Flathman (com se citó en Ballesteros, 2011), define a la fitorremediación como un método sustentable basado en el uso de plantas para disminuir en el mismo lugar la peligrosidad o agrupación de los contaminantes que pueden estar en el aire, suelo y agua; esto se desarrolla a través de métodos bioquímicos ejecutados por los microorganismos y las raíces de las plantas, estas conducen a la volatilización, mineralización, reducción, estabilización y degradación de los distintos contaminantes.

El término de fitorremediación tuvo una mayor difusión en el año 1991. Está compuesto por dos palabras, *fito* que en griego significa vegetal o planta y *remediar* (del latín *remediare*), que tiene como significado corregir o enmendar algún daño. Se utilizan tecnologías que se fundamentan en vegetales o plantas para restaurar o limpiar ambientes contaminados (Núñez, Meas, Ortigas, y Olguín, 2004).

La fitorremediación es un proceso de limpieza en donde se utiliza plantas para remediar cualquier ambiente que se encuentre contaminado. Se denomina como una tecnología versátil y simple para conseguir objetivos correctivos que sean específicos. Hay distintas ventajas de este proceso, como los bajos costos de operación, que es una tecnología factible y su procedimiento genera menos lodos. La abundancia de especies de plantas (por ejemplo, Lentejas de agua - *Lemna sp.*, *Spirodella sp.*, Jacinto de agua - *Eichhornia sp.*, Helecho pequeño de agua - *Azolla sp.*, Lechuga de agua - *Pistia sp.*) es conocido por la eliminación de metales pesados de medios acuáticos (Verma y Suthar, 2015).

1.3.2.1 Tipos de fitorremediación.

(Andrade, 2015) Menciona que “las plantas son capaces de acumular contaminantes encontrándose disueltos en el agua, siendo estos degradados y absorbidos”.

- **Fitoextracción:** Es la capacidad que tienen algunas plantas para acumular los contaminantes en los follajes, tallos y raíces. Los contaminantes que se extraen son elementos e isótopos radioactivos, también contaminantes orgánicos y especialmente metales pesados.
- **Fitodegradación o fitotransformación:** Las plantas terrestres y acuáticas absorben, almacenan y degradan los componentes orgánicos para generar subproductos que no sean tóxicos o menos tóxicos. Esto se da mediante reacciones enzimáticas que realizan las plantas y microorganismos en la rizósfera, dicho de otra forma, la región que realiza una interacción dinámica y única entre los microorganismos del suelo y las raíces, encontrándose estrechamente asociadas, aquellos contaminantes son parcialmente o completamente transformados o degradados.
- **Rizofiltración:** En este tipo de fitorremediación se utilizan las raíces de las plantas para concentrar, precipitar y absorber metales pesados además de degradar compuestos orgánicos en efluentes líquidos que se encuentren contaminados.

- **Fitoestimulación:** Los exudados de las raíces que contienen las plantas incitan el crecimiento de los microorganismos teniendo la capacidad de degradar contaminantes orgánicos. Las plantas como parte de las actividades fisiológicas y metabólicas que realizan liberan azúcares simples, aminoácidos, nutrientes, enzimas y oxígeno; siendo transportados desde las partes superiores hasta las raíces. Este procedimiento favorece al desarrollo de comunidades microbianas, aquellas actividades metabólicas causan mineralización de los contaminantes.
- **Fitovolatilización:** Las plantas modifican y capturan metales pesados como mercurio y selenio, aquellos se los puede encontrar en aguas residuales, suelos y sedimentos; siendo absorbidos, metabolizados y transportados desde las raíces a las partes superiores y liberándose a la atmósfera en formas menos tóxicas y volátiles durante la transpiración.
- **Fitoestabilización:** Utiliza a las plantas que desarrollan un denso sistema de raíz, mediante mecanismos de captación que disminuyen contaminantes que perjudican al ambiente y la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes del ambiente. Las plantas realizan un control hidráulico en la zona contaminada. En las raíces de las plantas se fijan fuertemente los metales restringiendo así su migración y la biodisponibilidad vertical hacia las napas freáticas (Núñez, Meas, Ortigas y Olguín, 2004).

1.3.3 Plantas macrófitas.

Las plantas macrófitas o también llamadas acuáticas son utilizadas para la asimilación y descomposición de materia inorgánica, orgánica y nutrientes. Estas plantas tienen muchas ventajas al ser utilizadas, dependiente de la clase de efluente que se va a tratar y las condiciones del procedimiento. En conclusión, la forma de utilización radica en establecer humedales con especies raizadas, sumergidas y flotantes (Celis, Junod y Sandoval, 2005).

Se tiene un variado y diverso grupos de plantas acuáticas entre las más destacadas están la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), la redondita de agua (*Hydrocotyle ranunculoites*), la salvinia (*Salvinia Spp.*), el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y algunas especies de lentejas de agua (*Lemna Minor Spp.*, *Spirodella Spp.*) (Martelo y Lara, 2012).

1.3.4 Clasificación

“Las plantas macrófitas son clasificadas de distintas maneras según la fisiología y la morfología, además la manera de como se fija en el sustrato” (Flores, 2014).

- ***Plantas macrófitas emergentes:*** Aquellas plantas viven en suelos inundados de manera temporal o permanente, son habitualmente plantas perennes con sus sistemas reproductores aéreos.
- ***Plantas macrófitas de hojas flotantes:*** Viven en suelos anegados, sus órganos reproductores son aéreos y flotantes; principalmente son angiospermas.
- ***Plantas macrófitas sumergidas:*** Aquel tipo de planta la encontramos en todo tipo de áreas donde llega la luz solar y aproximadamente vive a más de 10 metros de profundidad. Este tipo de planta en su gran mayoría son tipo musgos, helechos, etc., se visualizan las angiospermas. Los órganos reproductores son sumergidos, aéreos y flotantes.
- ***Plantas macrófitas flotantes libres:*** Estas poseen hojas aéreas y tienen un gran tamaño.

1.3.5 Tratamiento de aguas residuales con plantas macrófitas.

(García, 2012) dice que el tratamiento de aguas en los últimos años se ha convertido en un tema de gran interés, este procedimiento se da mediante estanques con plantas acuáticas, teniendo un gran potencial para la depuración de las mismas. Todo este procedimiento es muy efectivo para la remoción de parámetros físicos, químicos y biológicos; en donde se remueve eficientemente material orgánico, sólidos suspendidos; reduciendo nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos.

Las plantas macrófitas, tienen las raíces sumergidas en el agua, pero parte de su tallo y las hojas sobresalen del agua, comportándose como plantas en contacto con el aire. Las plantas transfieren el oxígeno hacia la zona radicular, aquí es donde se da el proceso de depuración de contaminantes; donde los degradan, absorben y los asimilan en sus tejidos. Además de proporcionar una amplia superficie en donde tiene una mayor posibilidad de la filtración de sólidos en suspensión y el crecimiento bacteriano (Arango, 2007).

De acuerdo a la investigación de Martelo y Lara (2012), los procedimientos que tiene lugar a la eliminación de contaminantes con plantas macrófitas se dan mediante tres mecanismos primarios:

- Sedimentación de los sólidos y filtración.
- Incorporan nutrientes a las plantas para su siguiente cosechada.
- Degradación de la materia orgánica a través de microorganismos facultativos que se asocian a las raíces de las plantas, en los restos del fondo de la laguna, dependiente de la estructura de esta.

Durante el periodo de crecimiento, las plantas macrófitas incorporan y absorben los nutrientes a su propia estructura y esto les permite funcionar como un sustrato para los microorganismos que actúan en la digestión de estos nutrientes mediante transformaciones químicas, conteniendo la desnitrificación y nitrificación.

Los sistemas de tratamientos acuáticos se fundamentan en una cobertura vegetal de macrófitas flotantes sobre las aguas residuales, estas se colocan a modo de canales o estanques en serie, que son correctamente aislados en los que circula el influente; en el diseño se puede observar la remoción constante de las macrófitas. El principal beneficio que brindan estos sistemas es la gran superficie que tiene sus raíces con el agua residual, puesto que éstas las cubren en su totalidad, lo que permite que a través de microorganismos que se adhieren a la superficie se logre una mayor depuración de las aguas, esto también se logra a través de las raíces mismas.

1.3.5.1 *Pistia stratiotes* (lechuga de agua).

- Taxonomía

A la macrófita acuática *Pistia stratiotes* la encontramos en la siguiente clasificación:

Tabla N° 1: Taxonomía de la Lechuga de Agua.

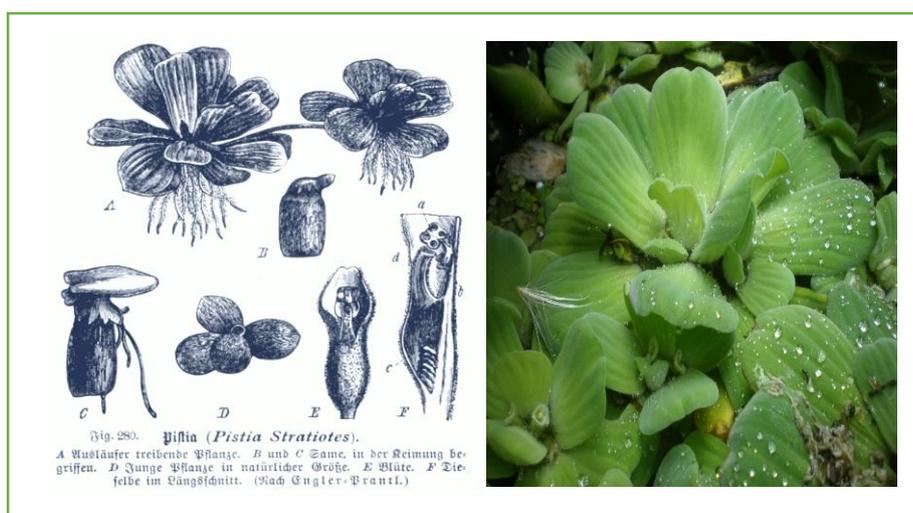
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Alismatales
Familia	Araceae
Género	<i>Pistia</i>

Fuente: Elaboración propia.

- Descripción

Según Romero (como se citó en Cueva, 2016) la *Pistia stratiotes* es una planta flotante, que arroja numerosas raíces, de color verde grisáceo intenso, logran los 15 cm de longitud por 6 cm de ancho. Poseen inflorescencias masculinas y femeninas con ejes muy cortos y rodeados por sendas espatas. Si se mantiene a la planta en un invernadero o acuarios tiene que haber iluminación; no soporta duros inviernos, la temperatura ideal para su desarrollo es de 22 a 30°C y la temperatura mínima es de 15°C.

Figura N° 1: Morfología de Lechuga de Agua.



Fuente: Royal Botanic Gardens, 2009.

La planta acuática *Pistia stratiotes* o Jalkumbhi la podemos encontrar en las regiones tropical y subtropical de América, África y Asia. Se localiza en lagunas, ríos, pantanos, canales, arroyos y en algunas ocasiones las cultivan en estanques artificiales, jardines acuáticos y fuentes. Funcionan como almacenador de larvas de mosquitos; además forman una capa en la superficie que obscurece el agua. En términos químicos, la lechuga de agua posee glucósidos, esteroides activos, alcaloides y glucósidos. En su composición se incluyen carbohidratos, proteínas, fósforo, grasas, calcio y fibras, entre otros. También, contiene sulfato, cloruro de potasio, vitaminas A, C y B y sus residuos son ricos en celulosa (Trioathi, Kumar y Gupta, 2010).

- Acción depuradora

“La lechuga de agua siendo una planta acuática que cumple con las condiciones para ser apreciada como un buen bioindicador de calidad de agua, es una especie abundante, siendo parte de los ecosistemas acuáticos demostrando un rápido crecimiento” (Rodríguez y García, 2012, p.34).

1.3.5.2 *Azolla filiculoides* (helecho de agua).

- Taxonomía

A la macrófita acuática *Azolla filiculoides* la encontramos en la siguiente clasificación:

Tabla N° 1: Taxonomía del Helecho de Agua.

Reino	Plantae
División	Pteridophyta
Clase	Pteridopsida
Orden	Salviniales
Familia	Azollaceae / Salviniaceae
Género	<i>Azolla</i>

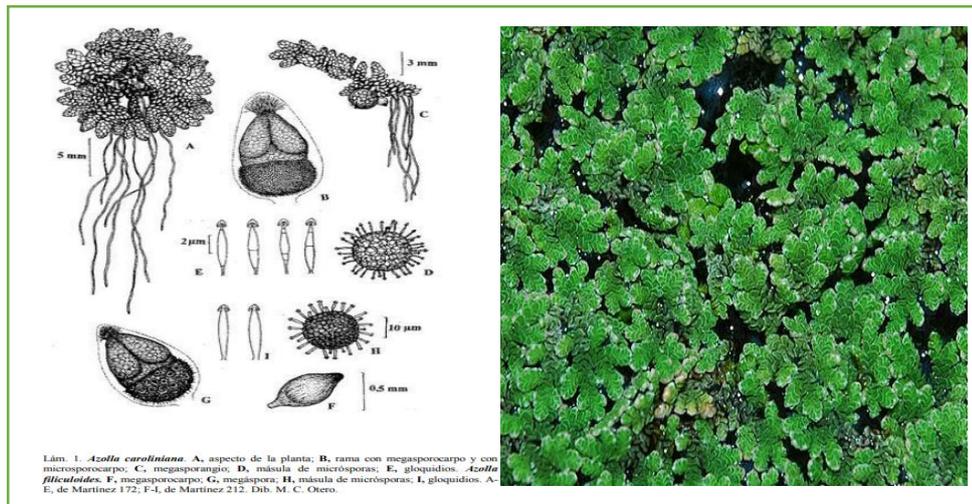
Fuente: Elaboración propia.

- Descripción

“La *Azolla filiculoides* son pequeños helechos acuáticos, que se encuentran flotando libremente en la superficie del agua, la podemos ubicar por todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo” Cross (como se citó en Mendez, Pérez, Reyes y Puente, 2018).

Es un helecho de agua que crece de forma natural en lagunas de flujo lento y de poca profundidad, siendo de tamaño pequeño, la podemos encontrar en casi todas las regiones del Perú y el mundo, encontrándola en mayor abundancia en la región suni peruana (3,400-3,800 msnm). La *Azolla filiculoides* al encontrarse joven el color de sus hojas es verde con pequeñas manchas en el borde de color rojo, pero al envejecer se vuelve totalmente roja (García, 2012).

Figura N° 2: Morfología del Helecho de Agua.



Fuente: Royal Botanic Gardens, 2009.

Como menciona el (Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural [FEADER], 2013) que el helecho de agua es un hidrófito flotante, sus tallos miden hasta 10 centímetros de longitud que se extienden horizontalmente formando un denso tapiz vegetal. Las raíces son numerosas y ramificadas, de hasta 6 centímetros de longitud, simples de tonos marrones y no fijados al sustrato. Frondes bilobuladas, imbricadas, con el lóbulo superior de hasta 2,5 por 1,4 mm, provisto de papilas, con el margen hialino ancho. Habita humedales y cursos de agua lentos, naturales o artificiales (embalses arrozales y basas). Su propagación es sexual (zonas suficientemente cálidas) y vegetativa; es una planta termófila, en climas fríos la planta muere a los 7°C siendo incapaz de producir esporas.

- **Acción depuradora**

Investigaciones del tratamiento de aguas residuales utilizando plantas acuáticas asocian a estas y a los microorganismos con una tasa alta de crecimiento de este helecho porque al involucrarse los microorganismos se constituyen en las raíces de las plantas, en donde se mantiene entre ambas una relación sinérgica, significando una excelente degradación y eliminación de los compuestos orgánicos (García, 2012).

Sánchez y Viveros (como se citó en Zarate, Zavaleta, Alarcón y Jiménez, 2016) dice que la *Azolla filiculoides* es un helecho acuático que es utilizado para limpiar y purificar las aguas superficiales contaminadas por compuestos inorgánicos y orgánicos; teniendo gran

tolerancia a distintos metales como el cobre y arsénico; su crecimiento es de manera rápida con una tasa alta de reproducción, por lo tanto es un buen candidato para usarla en fitorremediación.

Este helecho tiene una gran destreza para la fijación de nitrógeno atmosférico gracias a que está asociada en simbiosis con una cianobacteria que la ayuda a fijarse, esta bacteria es la *Anabaena azollae*, habita en las cavidades de las frondas del helecho, es idónea al utilizar su propia energía fotosintética para producir amonio y fijar nitrógeno atmosférico, el cual es aprovechado por el helecho de agua para cubrir sus propios requerimientos de nitrógeno. Sin embargo las técnicas de cultivo que se utilicen afectan de manera fundamental en el contenido de nutrientes del helecho de agua (como se citó en León y Lucero, 2009).

Estudios realizados por el Centro de Biociencia Agrícola Internacional (CABI, 2008) mencionan que la *Azolla filiculoides* también es utilizada como compost rico en nitratos que potencialmente aumenta la capacidad de intercambio de cationes y los niveles de nitrógeno orgánico del suelo. Se utiliza para la purificación de agua, la eliminación de metales pesados y la eliminación de nitrógeno y fósforo del agua residual. Además se ha utilizado de diversas maneras como ingrediente en la producción de jabón, una cura para el dolor de garganta y como control de mosquitos en el sur de la India, ya que las esteras completas interrumpen el desarrollo de las larvas.

1.3.6 Parámetros físico- químico que se analizaron a las aguas residuales.

1.3.5.1 Parámetros físicos.

Este parámetro se define como las características físicas que podemos observar en el agua; a continuación describiremos los parámetros físicos que se analizaron a las aguas residuales.

- Temperatura

(Jiménez y Barba, 2008) nos mencionan que al medirse la temperatura del agua, nos arroja un resultado de suma importancia porque el procedimiento es primordial, puesto que al aumentar se altera la solubilidad de todas sus sustancias, creciendo así los sólidos suspendidos y disminuyendo los gases.

- Turbidez

(Londoño, Giraldo y Gutiérrez, 2010) afirman que la turbidez es importante para medir los parámetros en las aguas de consumo humano y residual. Además es provocada por sustancias que están en suspensión como las partículas de materia orgánica e inorgánica, distintos microorganismos, arcilla, los lodos y coloides.

- Conductividad eléctrica

(Ecofluidos Ingenieros S.A., 2012) menciona que la conductividad eléctrica es medida para saber la capacidad que tiene el agua y conducir su corriente eléctrica, también de la concentración, movilidad, temperatura de medición y movilidad. Al realizarse este análisis de conductividad nos da información sobre materia orgánica que se encuentra descompuesta y nos ayuda en la detención de todas las causas de contaminación.

1.3.5.2 Parámetros químicos.

(García, 2012) menciona que son los que se determinan solo con análisis de laboratorio y su interés reside en lo que causa a los organismos acuáticos, también de las afectaciones que originan a todos los cuerpos de aguas.

- Potencial de hidrógeno pH

La Dirección General de Salud Ambiental [DIGESA], en el año 2012 menciona que el potencial hidrógeno es el valor que estipula si una de las sustancias es base, neutra y ácida, en donde se calculan los números de ión hidrogeno que existen. La sustancia neutra es cuando el valor es 7 y los que se encuentran menores a 7 la sustancia es ácida y los mayores a 7 mencionan que la sustancia es básica. Además el agua residual al mostrar concentraciones altas del ión hidrógeno obstaculiza los tratamientos en donde emplean técnicas biológicas y los efluentes pueden cambiar la concentración del ión hidrógeno, también existe la modificación de las aguas naturales, siempre y cuando estas no hayan sido tratadas con anterioridad.

- Oxígeno disuelto

La concentración de oxígeno se debe a diferentes factores como son: la presión atmosférica, la temperatura y el consumo de oxígeno debido la producción de oxígeno por algas y

biodegradación de microorganismos. El oxígeno disuelto es indispensable para la respiración de los microorganismos aerobios y de todas las formas de vida, jugando un rol indispensable en la calidad de vida de los peces y el desarrollo de degradación en el tratamiento de las aguas residuales. Es por tal razón que la presencia de oxígeno disuelto en el agua es un factor indispensable para el crecimiento de la vida animal, acuática y vegetal, impidiendo que se desarrolle la descomposición anaerobia de la materia orgánica. La baja solubilidad de oxígeno es un factor importante que limita la facultad de purificación de las aguas naturales y obliga a realizar tratamiento a las aguas residuales con la finalidad de remover la materia que está contaminando antes de ser vertida a los cuerpos receptores (Aguamarket, 2017)

- DBO

Este parámetro nos menciona el nivel de contaminación por materia orgánica degradable por oxidación biológica en las aguas residuales. Este análisis nos brinda la información de las exigencias de oxígeno de los efluentes para la degradación biológica, aguas residuales y aguas contaminadas. Se debe tener en cuenta, que un nivel bajo de DBO no indica un valor menor de contaminación orgánica, puesto que hay sustancias difíciles de biodegradarse denominadas sustancias refractarias o que impiden procesos biológicos (Fernández y Dolores, 2012).

- DQO

Al desarrollar los análisis de este parámetro nos da como resultado la materia oxidable que encontramos en el agua, tanto que deriven de compuestos inorgánicos y orgánicos. Además se define como la cantidad de oxígeno que consumen las materias que hay en el agua, oxidables en situaciones definidas (Fernández y Dolores, 2012).

1.4 Formulación del problema

¿Quién tiene mayor eficiencia la *Pistia stratiotes* o la *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000?

1.5. Justificación del estudio

En la actualidad observamos un aumento de la contaminación de los cuerpos de agua, esto es producto de un mal manejo de las aguas residuales, estas necesitan un tratamiento antes de ser vertidas. En nuestro país el 70% de aguas residuales no tiene tratamiento alguno; siendo estas vertidas a los ríos para luego acabar en el mar afectando el bienestar de las personas y los ecosistemas.

Esta situación nos lleva a buscar alternativas que sean de baja inversión y ecológicas como son el uso de plantas fitorremediadoras, estas tienen la capacidad de modificar los parámetros físicos, químicos, convirtiendo a este procedimiento en una opción sencilla ya que el desarrollo, diseño y el mantenimiento es más fácil que los tratamientos convencionales. Se ha considerado utilizar dos plantas acuáticas flotantes como *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* porque tienen un alto potencial para la remoción de los contaminantes presentes en la aguas residuales y son fáciles de conseguir y de adaptarse a cualquier medio. Además contribuiremos al desarrollo turístico en nuestro departamento de Lambayeque.

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de mejorar la calidad de las aguas residuales del dren 4000, logrando tener menor índice de enfermedades, además de contribuir con la conservación de nuestros ecosistemas marino – costeros existentes en el Distrito de Santa Rosa.

1.6 Hipótesis

Pistia stratiotes tendrá mayor eficiencia que la *Azolla filiculoides* en la mejora de la calidad del agua residual del dren 4000.

1.7 Objetivos

1.7.1 *Objetivo general:*

- Comparar la eficiencia de la *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000.

1.7.2 Objetivos específicos

- Determinar la calidad inicial del agua residual del dren 4000.
- Evaluar periódicamente la calidad del agua tratada con *Pistia stratiotes*.
- Evaluar periódicamente la calidad del agua tratada con *Azolla filiculoides*.
- Determinar cuál especie *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* es más eficiente para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000.

II. MÉTODO

2.1 Diseño de investigación

El diseño del presente trabajo de investigación es no experimental de tipo longitudinal; puesto que no se manipuló ninguna de las variables. Se describió los parámetros, análisis y características tal y como se fueron presentando a través de la investigación. Además los datos fueron recopilados en distintos espacios de tiempo.

El presente trabajo de investigación, consiste en determinar la eficiencia de las plantas macrófitas flotantes *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad de las aguas residuales, las muestras de agua fueron recolectadas de los puntos críticos del dren 4000 ubicado en el Distrito de Santa Rosa para posteriormente ser llevadas al laboratorio para ser analizadas.

2.2 Variables, Operacionalización

VI: Eficiencia de la *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides*

VD: Calidad del agua residual del dren 4000.

Tabla N° 2: Operacionalización de las variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	RANGO
VI: Eficiencia de la <i>Pistia stratiotes</i> y <i>Azolla filiculoides</i>	<p>- Según Romero (como se citó en Cueva, 2016) la <i>Pistia stratiotes</i> es una planta flotante, que emite numerosas raíces, de color verde grisáceo intenso, logran los 15 cm de longitud por 6 cm de ancho. la temperatura óptima para su desarrollo es de 22 a 30°C y la temperatura mínima es de 15°C.</p>	<p>- Se elaboró un estanque de agua, donde se colocó 50 litros de agua residual del dren 4000 en la cual se depositaron 3 kg de <i>Pistia stratiotes</i>, posteriormente se midió periódicamente la calidad del agua.</p>		<p>- Cantidad de <i>Pistia stratiotes</i></p>	<p>- 3 kg</p>
	<p>- Es un helecho de agua de tamaño pequeño que habita de manera natural en lagunas de flujo lento y de poca profundidad, la podemos encontrar en casi todas las regiones del Perú y el mundo, encontrándola en mayor abundancia en la región suni peruana.</p>	<p>- Se elaboró un estanque de agua, donde se colocó 50 litros de agua residual del dren 4000 en la cual se depositaron 3 kg de <i>Azolla filiculoides</i>, posteriormente se midió periódicamente la calidad del agua.</p>	<p>- Tratamientos</p>	<p>- Cantidad de <i>Azolla filiculoides</i></p>	<p>- 3 Kg</p>

Fuente: Elaboración propia.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	RANGO	CATEGORÍA
VD: Calidad del agua residual del dren 4000.	- Según el Ministerio de Salud (MINSA, 2011), menciona “en el Reglamento de la Calidad del agua que este es un conjunto de características organolépticas, químicas, físicas y microbiológicas del agua determinadas básicamente por los valores establecidos, con las concentraciones máximas admisibles”.	- Se realizaron análisis físicos, químicos para saber la calidad del agua residual al aplicar el tratamiento con las plantas fitorremediadoras, en donde los resultados fueron comparados con los LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.	- Parámetros físicos	- Turbidez - Temperatura - Conductividad eléctrica	- < 35°C	- Si cumple
			- Parámetros químicos	- pH - DQO - DBO - Oxígeno disuelto	- 6.5 – 7.5 - 200 mg/L - 100 mg/L	- Si cumple - Si cumple - Si cumple

Fuente: Elaboración propia.

2.3 Población y muestra

2.3.1 Población.

Como población, se consideró a las aguas residuales del dren 4000 ubicado geográficamente en el distrito de Santa Rosa departamento de Lambayeque.

2.3.2 Muestra.

La muestra fue una porción representativa de las aguas residuales del dren 4000, para lograrlo primero se identificó los puntos críticos de los cuales se obtuvieron 100 litros de agua residual.

2.3.3 Muestreo.

No probabilístico- muestra por conveniencia.

2.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1 Técnicas de recolección de datos.

La técnica que se utilizará es la observación minuciosa en cada actividad programada en el presente trabajo de investigación, para los instrumentos se elaborará fichas de registro para recolección de datos cuantitativos y cualitativos que se conseguirán tanto en las determinaciones analíticas en laboratorio como en las de campo, para el desarrollo e interpretación de las variables se utilizará los programas informáticos como Excel y Word.

2.4.2 Técnicas de campo.

2.4.2.1 Fase de almacenamiento.

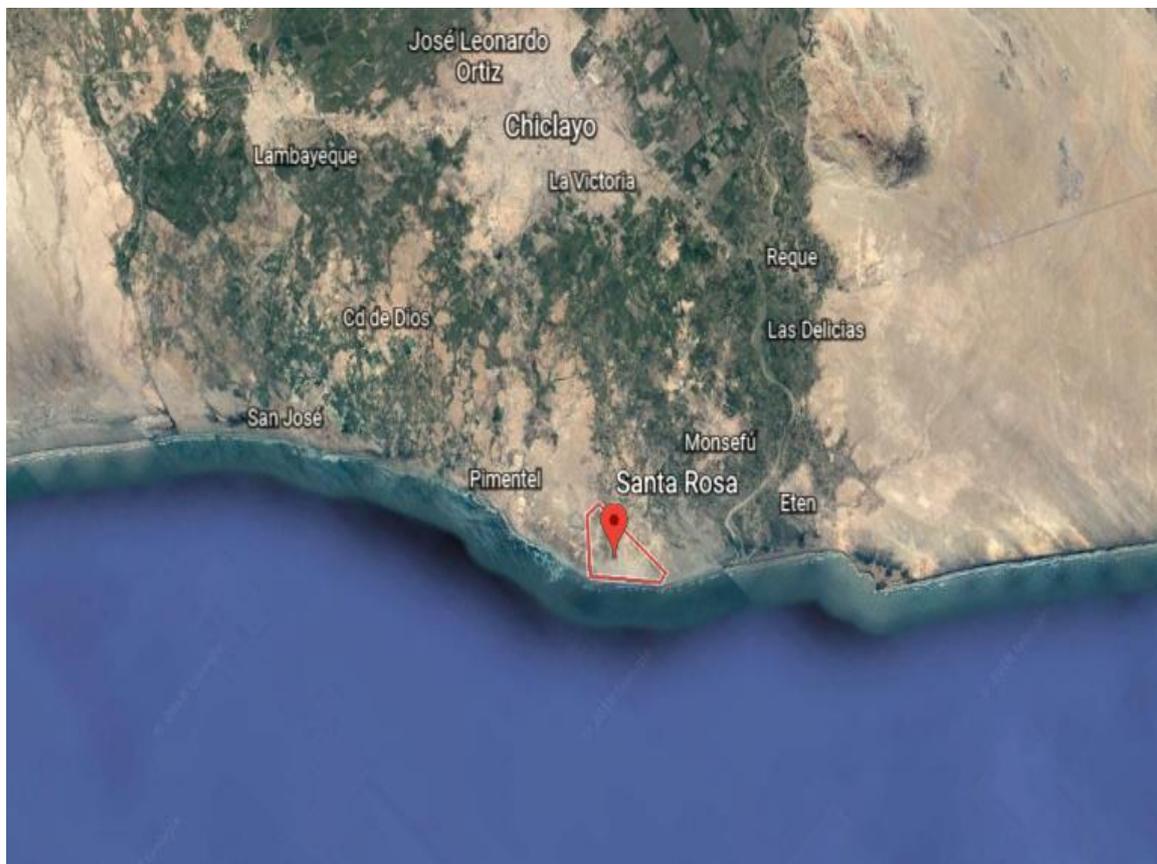
Se han realizado las siguientes actividades:

- Se realizó las mejoras del ambiente (limpieza, mantenimiento, reparación, etc.) de una vivienda donde se desarrolló el trabajo de investigación.
- Las plantas macrófitas *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* fueron trasplantadas del sector 9 de octubre – San Ignacio.

2.4.2.2 Fase de campo.

- Se identificó la ubicación geográfica del dren 4000 que desemboca en el mar del distrito de Santa Rosa - Lambayeque, con coordenadas $S6^{\circ}52'40''$ $O79^{\circ}55'25''$, con los siguiente mapas geográficos.
- Se identificó los puntos críticos de contaminación del dren 4000, para la toma de muestras, en donde se utilizó vestimenta y equipos de protección personal para la protección de agentes patógenos presentes en el agua residual.
- Las muestras fueron recolectas correctamente en baldes estériles.

Figura N° 3: Mapa de ubicación del Distrito de Santa Rosa.



Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 4: Mapa de ubicación del dren 4000.



Fuente: Elaboración propia.

2.4.2.3 Fase de Elaboración de estanques de agua.

- Se elaboró dos estanques de agua cada uno con capacidad de 50 litros, en donde se colocó agua residual del dren 4000, el primero con un peso de 3 kg de *Pistia stratiotes* y el segundo con 3 kg de *Azolla filiculoides*.
- Se acondicionó las muestras recolectadas a los estanques de agua con los dos tipos de plantas por separado; en donde se observó el comportamiento de las plantas al ser colocadas en el agua residual. Además se realizó la limpieza de las plantas y un filtrado del agua residual para evitar los residuos de gran tamaño.
- Se tuvo en observación durante una semana para asegurar que las plantas estén completamente adoptadas a su nuevo medio.
- De cada pecera se realizó 3 tomas de muestras durante todo el proceso del trabajo de investigación, siendo analizados y monitoreadas la mejora de la calidad del agua residual, evaluando la eficiencia de las macrófitas flotantes.

2.4.2.4 Fase de laboratorio.

Una vez que las plantas se adaptaron a su nuevo ambiente se estableció las fechas de los análisis de los parámetros fisicoquímicos de los cuales se realizaron 3 tomas de muestra cada 7 días, siendo quienes definieron la eficiencia para la mejora de la calidad del agua residual del dren 4000 – Santa Rosa.

Los parámetros evaluados fueron los siguientes:

Parámetros físicos:

- Turbidez.
- Temperatura.
- Conductividad eléctrica.

Parámetros químicos

- Potencial de Hidrógeno (pH).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅).
- Oxígeno disuelto.

Los análisis se realizaron en las instalaciones del laboratorio de biotecnología y microbiología de la Universidad César Vallejo - Filial Chiclayo.

2.4.3 Métodos analíticos

2.4.3.1 Turbidez.

Es el grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partículas que se hallan en suspensión. Para este parámetro el método que se utilizó es el nefelométrico.

2.3.3.2 Temperatura.

Este es un parámetro que está establecido en los estándares de calidad ambiental para los vertimientos de las aguas residuales. También es considerado como un criterio para proteger los ecosistemas acuáticos. Para este parámetro el método que se utilizó es el de inmersión del termómetro eléctrico.

2.3.3.3 Conductividad eléctrica.

Para este parámetro el método que se desarrolló es el electrométrico, en donde se utilizó un conductímetro de mesa. La conductividad eléctrica se mide para conocer cuál es la capacidad que posee el agua para conducir la corriente eléctrica, se basa en la medición de temperatura, la concentración y los iones.

2.3.3.4 pH.

Este método se fundamenta básicamente en el registro potenciométrico de las actividades de los iones hidrógeno, en donde se utiliza un electrodo de referencia y un electrodo de vidrio, o un electrodo combinado, también posee un compensador de temperatura. Este método se utiliza para aguas salinas, residuales, potables, industriales, superficiales y lluvia ácida. Para este parámetro el método que se desarrolló es el electrométrico, este método se fundamenta básicamente

2.3.3.5 Oxígeno disuelto.

El análisis del oxígeno disuelto es una prueba esencial para el control del proceso de la contaminación del agua y del tratamiento de las aguas residuales. Para los análisis de este parámetro se utilizó el método electrométrico con un medidor de oxígeno.

2.3.3.6 DQO.

Este procedimiento consiste en determinar el importe de oxígeno útil para la oxidación química de la materia orgánica dispuesta de oxidación en el agua. Se utilizó el método por dicromato potásico.

2.3.3.7 DBO.

Para este parámetro se desarrolló el método de incubación de 5 días, donde se midió el conjunto de oxígeno que utilizan los microorganismos, acondicionado aeróbicamente en un tiempo de cinco días y a una temperatura de 20°C. Para hallar la DBO₅ se utilizó la siguiente fórmula:

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(OD \text{ inicial} - OD \text{ final})}{\text{Factor de dilución}} \times 300$$

Instrumentos y equipos:

- Turbídímetro marca HANNA
- Conductímetro de mesa
- Medidor de pH marca HANNA
- Termómetro digital marca HANNA
- Multiparámetros
- Balanza de precisión
- Equipo de DQO
- Agitador magnético
- Estufa
- Mufla
- Oxímetro
- Fotómetro

Materiales de laboratorio

- Fiolas de 100 ml
- Pipetas de 1ml
- Vasos de precipitación de 100 ml
- Agua destilada
- Guantes estériles
- Guardapolvo
- Cubre boca
- Tubos de ensayo
- Goteros de 10 ml
- Papel tisú
- Botellas winkler de 300 ml
- Papel kraf

2.4.4 Validez

Se desarrollaron análisis físico-químicos a las aguas residuales del dren 4000 ubicado en el distrito de Santa Rosa, los parámetros que se analizaron son la turbidez, temperatura, conductividad eléctrica, potencial de hidrogeno (pH), demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, los cuales fueron realizados en el laboratorio de la Universidad César Vallejo, donde los procedimientos y resultados fueron acreditados por el Ingeniero encargado.

2.5 Métodos de análisis de datos

Para analizar e interpretar los datos cuantitativos que se obtuvieron en los análisis realizados en el laboratorio fue mediante el programa de cálculo de Excel (gráficos, tablas, porcentajes, etc.). En cuanto los datos cualitativos fueron trabajados en el programa de Microsoft office Word.

2.6 Aspectos éticos

El presente trabajo de investigación tiene como base fuentes verídicas que cuentan con sustento en fundamentos teóricos, además se han tomado como referencia las investigaciones internacionales y nacionales correctamente citadas, en cuanto a la confiabilidad de los datos que se obtuvieron en el desarrollo de la presente investigación se registraron muestras fotográficas en todo el proceso.

III. RESULTADOS

Tabla N° 3: Calidad del agua residual del dren 4000 antes del tratamiento.

PARÁMETROS	RESULTADOS	UNIDADES
pH	8.55	-
Temperatura	23.28	°C
Conductividad eléctrica	3.167	mS/cm
Turbidez	260	NTU
Oxígeno Disuelto	6.9	ppm
DQO	917	mg/L
DBO	794	mg/L

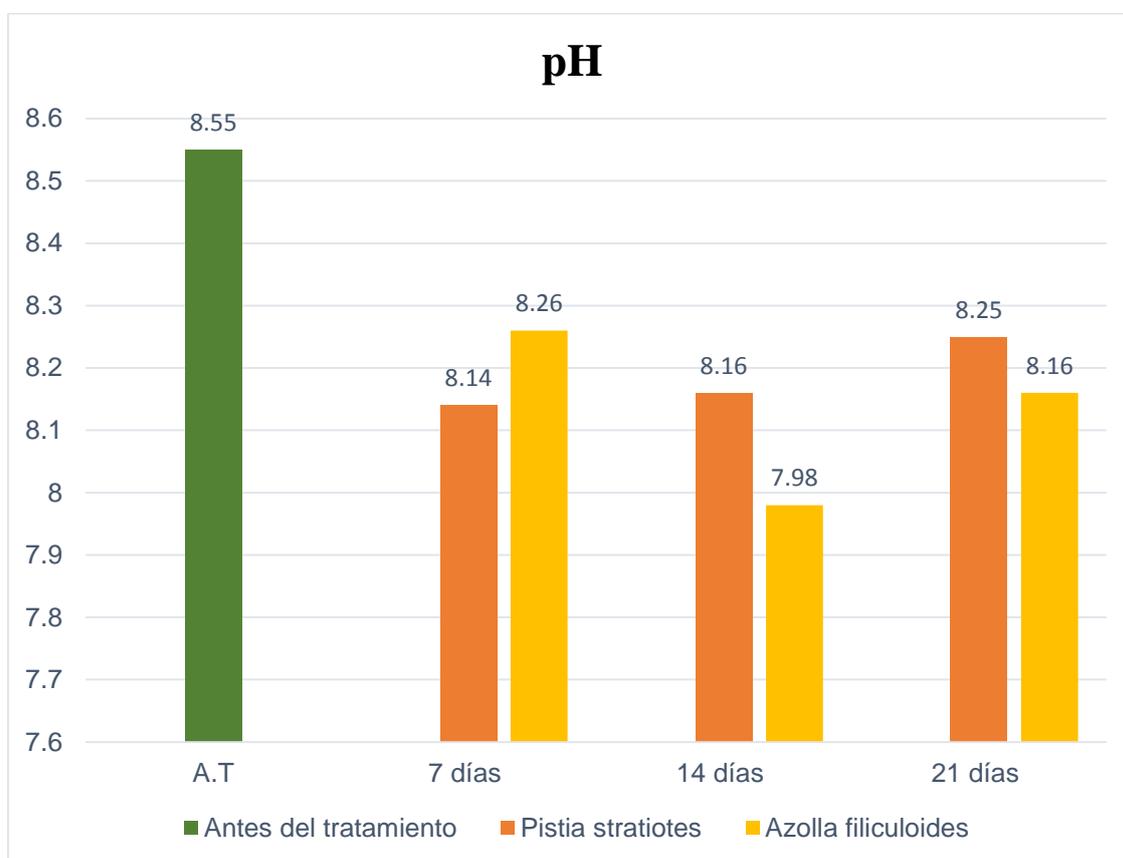
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 4: Variación del pH.

TRATAMIENTOS	<i>Pistia stratiotes</i>	<i>Azolla filiculoides</i>
7 días	8.14	8.26
14 días	8.16	7.98
21 días	8.25	8.16

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 1: Variación del pH de las plantas macrófitas en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

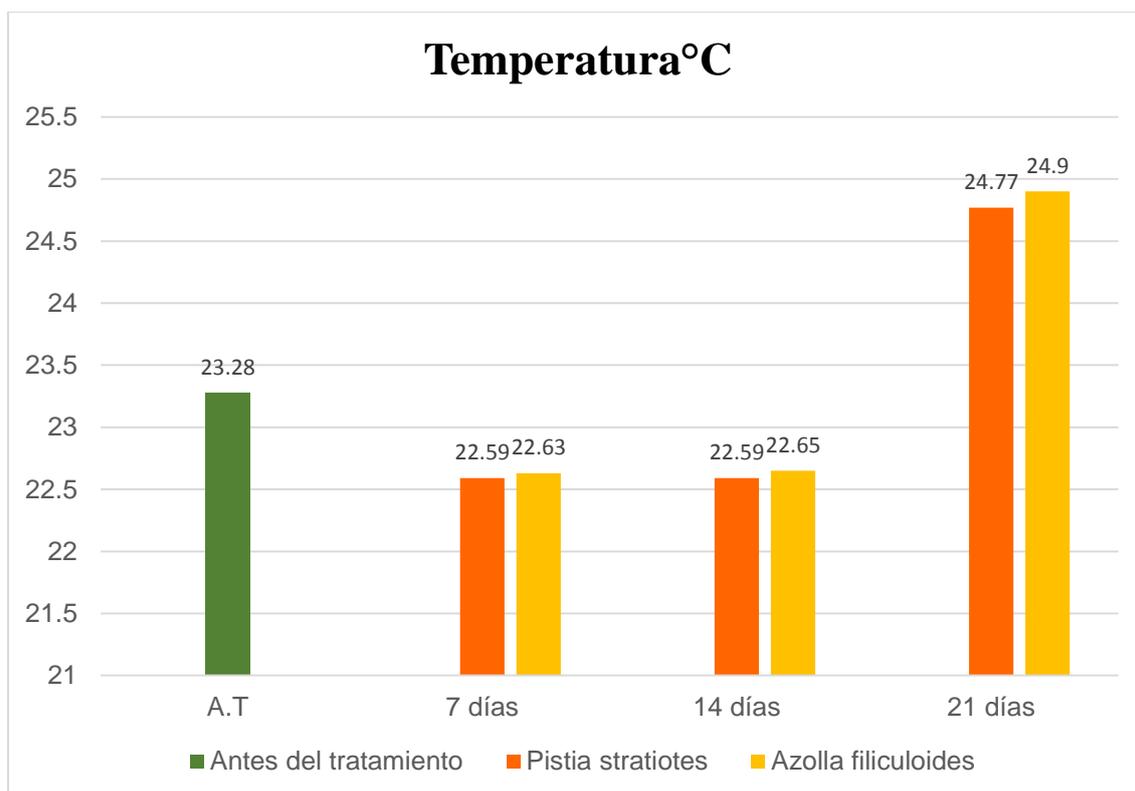
INTERPRETACIÓN: La gráfica N° 1 nos muestra los resultados del pH de las dos plantas macrófitas en tres tiempos distintos, mostrando que el pH se encuentra dentro del rango establecido, cuyos valores oscilan entre 8.26 y 7.98, siendo la *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* eficientes.

Tabla N° 5: Determinación de la temperatura.

TRATAMIENTOS	<i>Pistia stratiotes</i> (°C)	<i>Azolla filiculoides</i> (°C)
7 días	22.59	22.63
14 días	22.59	22.65
21 días	24.77	24.90

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 2: Determinación de la temperatura de las dos plantas macrófitas en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

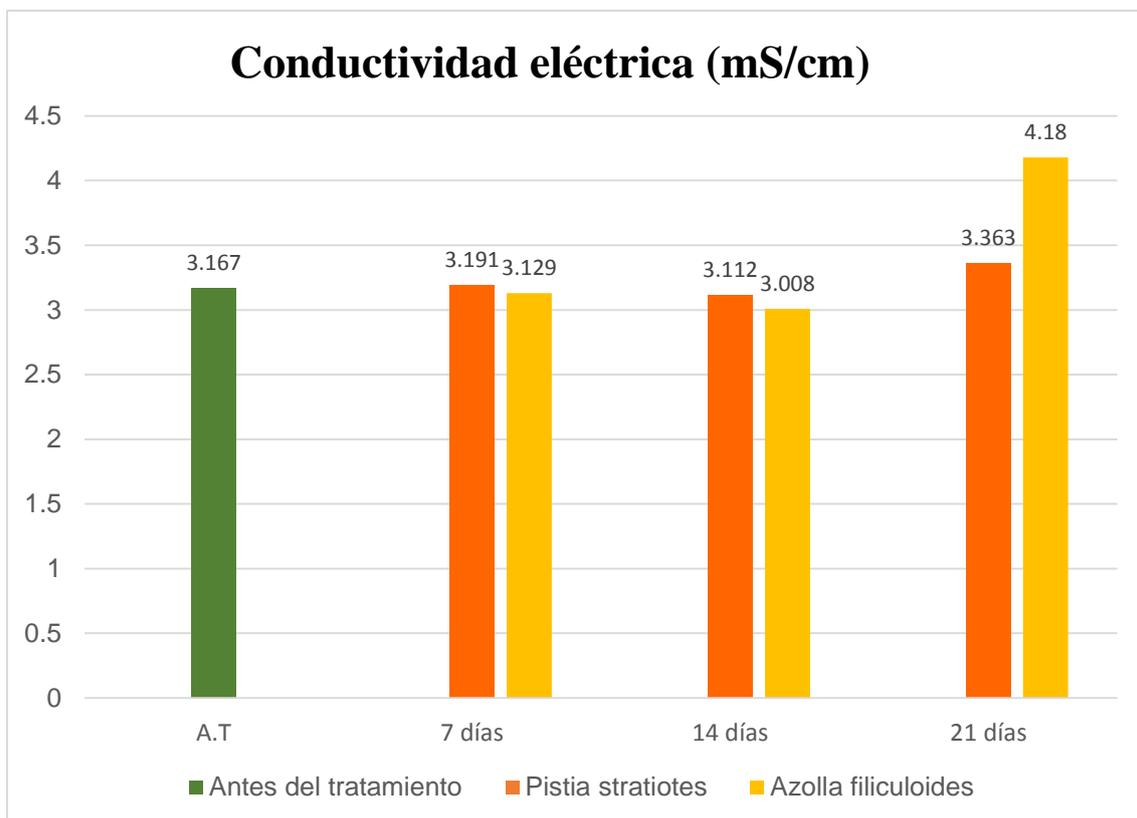
INTERPRETACIÓN: La gráfica N° 2 nos muestra los resultados de la temperatura de las dos plantas macrófitas en tres tiempos distintos mostrando que no hay variaciones, encontrándose dentro de los parámetros establecidos tanto para la *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* siendo la mínima 22.63°C y la máxima 24.90°C.

Tabla N° 6: Determinación de la conductividad eléctrica.

TRATAMIENTOS	<i>Pistia stratiotes</i> (mS/cm)	<i>Azolla filiculoides</i> (mS/cm)
7 días	3.191	3.129
14 días	3.112	3.008
21 días	3.363	4.180

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 3: Determinación de la conductividad eléctrica de las dos plantas macrófitas en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

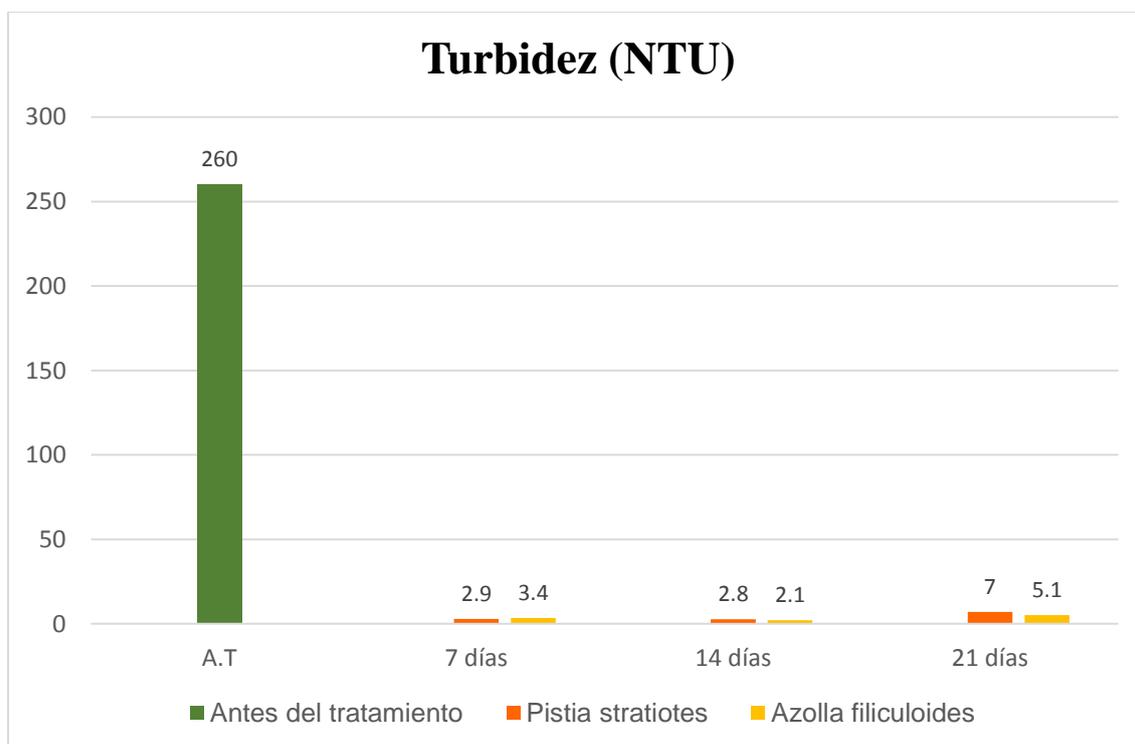
INTERPRETACIÓN: La gráfica N° 3 nos muestra los resultados de la conductividad eléctrica con las dos plantas macrófitas en tres tiempos distintos, mostrando que se encuentra dentro del rango establecido, el valor más alto 4.18 mS/cm y el más bajo 3.008 mS/cm siendo la *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* eficientes.

Tabla N° 7: Remoción de la turbidez.

TRATAMIENTOS	<i>Pistia stratiotes</i> (NTU)	<i>Azolla filiculoides</i> (NTU)
7 días	2.90	3.40
14 días	2.80	2.10
21 días	7.00	5.10

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 4: Remoción de la turbidez de las dos plantas macrófitas en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

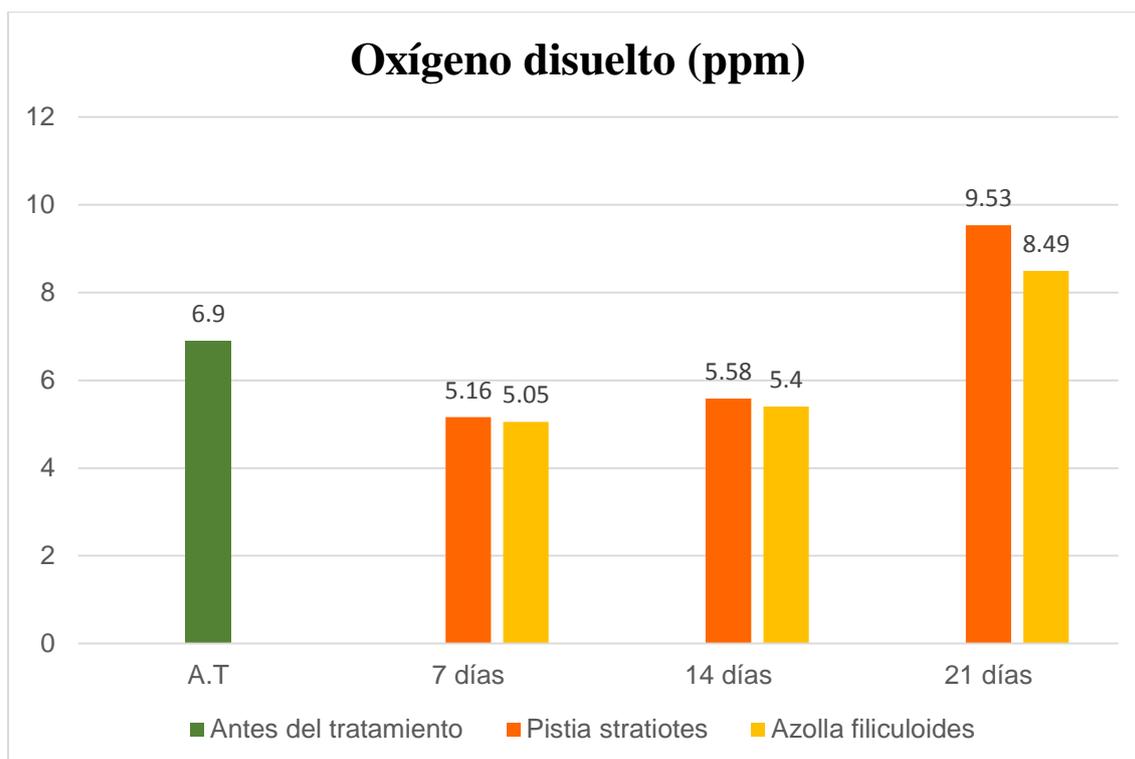
INTERPRETACIÓN: La grafica N° 4 nos muestra los resultados de la turbidez con las dos plantas macrófitas en tiempos distintos. Al inicio la turbidez fue de 260 NTU y disminuyó con *Pistia stratiotes* a 2.80 NTU y con *Azolla filiculoides* a 2.10 NTU, siendo más eficiente el tratamiento a los 14 días.

Tabla N° 8: Determinación del Oxígeno disuelto.

TRATAMIENTOS	<i>Pistia stratiotes</i> (ppm)	<i>Azolla filiculoides</i> (ppm)
7 días	5.16	5.05
14 días	5.58	5.40
21 días	9.53	8.94

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 5: Determinación del oxígeno disuelto de las plantas macrófitas en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

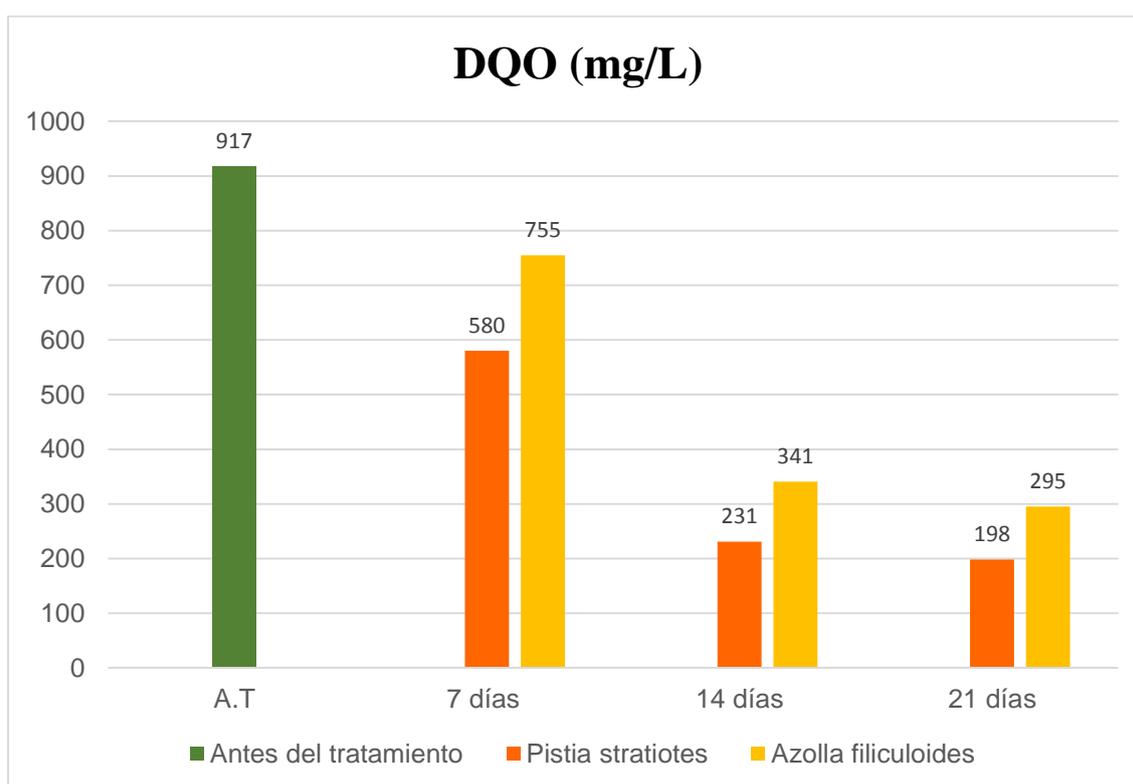
INTERPRETACIÓN: La grafica N° 5 nos muestra los resultados del oxígeno disuelto con las dos plantas macrófitas en tres tiempos distintos, mostrando que el oxígeno disuelto se encuentra dentro del rango establecido, el valor más alto es 9.53 ppm y el más bajo es 5.05 ppm, siendo la *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* eficientes.

Tabla N° 9: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

TRATAMIENTOS	<i>Pistia stratiotes</i> (mg/L)	<i>Azolla filiculoides</i> (mg/L)
7 días	580	755
14 días	231	341
21 días	198	295

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 6: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno con las dos plantas macrófitas en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

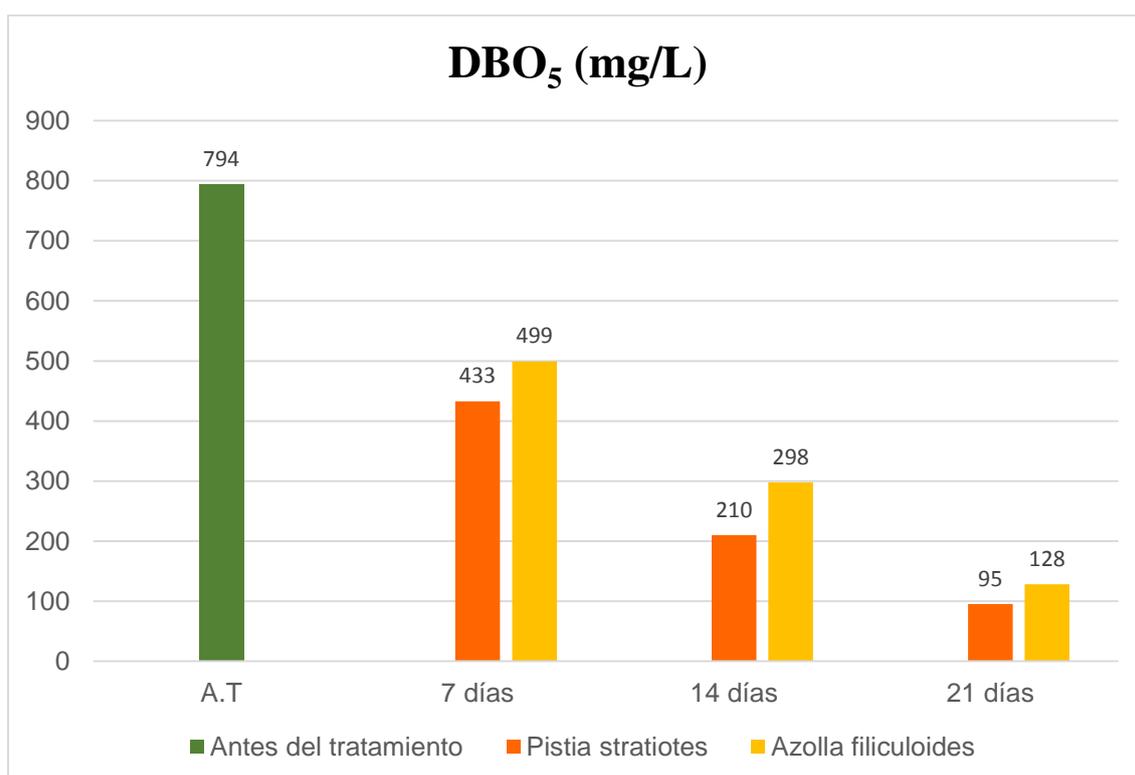
INTERPRETACIÓN: La gráfica N° 6 nos muestra los resultados de la DQO con las dos plantas macrófitas. Al inicio la DQO fue 917 mg/L y disminuyó con *Pistia stratiotes* a 198 mg/L y con *Azolla filiculoides* a 295 mg/L, siendo más eficiente el tratamiento a los 21 días.

Tabla N° 10: Determinación de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅).

TRATAMIENTOS	<i>Pistia stratiotes</i> (mg/L)	<i>Azolla filiculoides</i> (mg/L)
7 días	433	499
14 días	210	298
21 días	95	128

Fuente: Elaboración propia.

GRÁFICO N° 7: Determinación de la Demanda Química de Oxígeno con las dos plantas macrófitas en función del tiempo.



Fuente: Elaboración propia.

INTERPRETACIÓN: La gráfica N° 7 nos muestra los resultados de la DBO con las dos plantas macrófitas. Al inicio la DBO₅ fue 794 mg/L y disminuyó con *Pistia stratiotes* a 95 mg/L y con *Azolla filiculoides* a 128 mg/L, siendo más eficiente el tratamiento a los 21 días.

IV. DISCUSIÓN

La *Pistia stratiotes* se adaptó de manera correcta al medio y disminuyó el pH de 8.55 a 8.14 con una variación porcentual de 4.79%, para el oxígeno disuelto el inicial fue 6.9 ppm y a los 21 días aumentó a 9.53 ppm esto se debe a que la planta macrófita liberan exudados de las raíces aumentando la aireación liberando oxígeno, para la DQO disminuyó de 917 mg/L a 198 mg/L con un porcentaje de remoción de 78.40% y al inicio la DBO₅ fue de 794 mg/L y disminuyó a 95 mg/L con un porcentaje de remoción de 88.03%, siendo eficiente a los 21 días de iniciar el tratamiento, esta eficiencia ocurre porque sus raíces son densas y largas, las cuales suministran lugares de adhesión para las colonias bacterianas degradadoras de materia orgánica, además de filtrar el material particulado, al igual que lo confirma (Rodríguez y García, 2012) en donde utiliza la misma planta macrófita, teniendo una eficiencia a los 38 días de empezar el tratamiento, para el pH tuvo una variación porcentual de 5.30% en donde el inicial fue 7.55 y disminuyó a 7.15, para la DQO el porcentaje de remoción de 63.8% y para la DBO₅ inicial fue 39.5 mg/L y disminuyó a 12.00 mg/L con un porcentaje de remoción de 69.62%, además menciona que la planta demostró ser muy susceptible a factores ambientales y plagas.

Estos resultados guardan relación con los de (Andrade, 2015) en esta investigación se diseñó un prototipo a pequeña escala donde se utilizaron aguas residuales domésticas y se determinó la eficiencia de *Pistia stratiotes* como agente depurador, dando los análisis como resultados que el pH inicial fue 6 y aumentó a 7.7, el Oxígeno Disuelto aumentó de 0.74 mg/L a 4 mg/L, debido a que las plantas macrófitas flotantes depositan oxígeno mediante sus raíces, la DQO inicial fue 381.41 mg/L y disminuyó a 67.90 mg/L con un porcentaje de remoción de 82.19%, para la DBO₅ disminuyó de 124.00 mg/L a 22.00 mg/L con un porcentaje de remoción de 82.25%.

Además se determinó la eficiencia de la *Azolla filiculoides* para el parámetro del pH dando como resultado que se encuentra dentro del rango de 8.26 a 7.98 cumpliendo con los límites máximos permisibles, la conductividad eléctrica inicial fue de 3.167 mS/cm y disminuyó a 3.008 mS/cm con un porcentaje de remoción de 5.02%, la DQO disminuyó de 917 mg/L a 295 mg/L con un porcentaje de remoción de 67.82% y DBO₅ disminuyó de 794 mg/L a 128 mg/L con un porcentaje de remoción de 79.65%, siendo eficiente para

estos parámetros a los 21 días de empezar el tratamiento. Mostrando valores muy similares a la investigación de (León y Lucero, 2009) donde se obtuvo un porcentaje de remoción de 18% para la conductividad eléctrica, 72% para la DQO y 79% para la DBO₅.

A diferencia de la investigación de (García, 2017) en donde los análisis de pH estuvieron en el rango de 7.0 a 8.0 siendo correctos para el cumplimiento de las normas y los resultados para la DQO inicial fue de 38.3 mg/L y disminuyó a 19.1 mg/L con un porcentaje de remoción de 52.5%, para la DBO₅ se obtuvo una concentración casi nula con un promedio de 4.2 mg/L siendo eficiente el tratamiento en un 90%, la mayor remoción de los contaminantes fue a los 4 días de empezar el tratamiento.

V. CONCLUSIONES

- El análisis inicial realizado a las aguas residuales del dren 4000 nos ayudó a verificar que las descargas no se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, los resultados fueron los siguientes para el parámetro de pH 8.55, temperatura 23.28°C, conductividad eléctrica 3.167 mS/cm, turbidez 260 NTU, oxígeno disuelto 6.9 ppm, DQO 917 mg/L y DBO 794 mg/L.
- La especie *Pistia stratiotes* fue eficiente para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000, en los parámetros como el pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura hubieron variaciones pequeñas, manteniéndose dentro del rango establecido, la turbidez disminuyó de 260 NTU a 2.80 NTU con un porcentaje de remoción de 98.92%, siendo más eficiente el tratamiento a los 14 días. Para la DQO disminuyó de 917 a 198 mg/L con un porcentaje de remoción de 78.40% y DBO₅ disminuyó de 794 mg/L a 95 mg/L con un porcentaje de remoción de 88.035 %, siendo eficiente para estos parámetros a 21 días de empezar el tratamiento. Esta planta es fácil de adaptarse y con la capacidad de vivir en diferentes medios acuosos y saturados de nutrientes.
- La especie *Azolla filiculoides* demostró ser eficiente para mejorar la calidad del agua residual, al igual que *Pistia stratiotes* para parámetros como pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y temperatura se mantuvieron dentro del rango establecido, la turbidez disminuyó de 260 NTU a 2.10 NTU con un porcentaje de remoción 99.19%, siendo más eficiente el tratamiento a los 14 días. Para la DQO disminuyó de 917 mg/L a 295 mg/L con un porcentaje de remoción de 67.82% y DBO₅ disminuyó de 794 mg/L a 128 mg/L con un porcentaje de remoción de 79.65%, siendo eficiente para estos parámetros a 21 días de empezar el tratamiento; además se adapta fácilmente a otros medios de vida.
- La planta macrófita más eficiente para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000 ubicado en el distrito de Santa Rosa fue la *Pistia stratiotes*.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda elaborar abono con las biomásas utilizadas en el tratamiento *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides*, las cuales en condiciones adecuadas de pH, temperatura, fuentes de nutrientes, oxígeno y energía producen como resultado final el abono, este producto sería de gran utilidad para el suelo y las plantas, esto se debe a su gran aporte de nutrientes y retención de humedad.
- Se recomienda a los Gobiernos locales que se construyan lagunas de oxidación donde se utilice plantas macrófitas para darle tratamiento a las aguas residuales; puesto que en este trabajo de investigación se afirma que *Pistia stratiotes* es eficiente para estos tratamientos cumpliendo con los límites máximos permisibles, de esta manera estamos cuidando la salud de la población y los ecosistemas acuáticos.
- En el proceso de fitorremediación se recomienda que se le dé un correcto manejo a las plantas macrófitas, realizando retiros periódicos de la misma, para permitir el crecimiento del resto de plantas.
- Se recomienda que aparte de los análisis fisicoquímicos realizados, se puede hacer análisis de la capacidad que poseen *Pistia stratiotes* y *Azolla filiculoides* para la absorción de metales pesados.

VII. REFERENCIAS

- AGUAMARKET [en línea]. 12 de Marzo de 2017, [fecha de consulta: 17 de Junio de 2018]. Disponible en <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=2693&termino=ox%EDgeno+disuelto%2C+od>
- FONKOU, Théopile; AGENDIA, Philip; KENGNE, Ives; AKOA, Amougou y NYA, Jean. Potentials of water lettuce (*Pistia stratiotes*) in domestic sewage treatment with macrophytic lagoon systems in Cameroon. Universidad de Yaundé I, Departamento de Biología Vegetal, 2001. [fecha de consulta: 12 de Agosto de 2018]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/267549193_Potentials_of_water_lettuce_Pistia_stratiotes_in_domestic_sewage_treatment_with_macrophytic_lagoon_systems_in_Cameroon?fbclid=IwAR1Sqokw9kWk6VvnAp6eY1WDVoQoGsOJv4czfw5KGPI20wzcVXHrg2x-128
- GOLZARY, Abooli; TAVAKOLI, Omid y KARBASSI, Ar. Wastewater Treatment by *Azolla Filiculoides*: Study of Color, Odor, COD, Nitrate and Phosphate Removal. Universidad de Teherán, Departamento de Ingeniería Ambiental, Teherán. 2017. [fecha de consulta: 12 de Agosto de 2018]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/320427881_Wastewater_Treatment_by_Azolla_Filiculoides_Study_of_Color_Odor_COD_Nitrate_and_Phosphate_Removal?fbclid=IwAR2U3af0fJhTk0wmW78z2fuSGdF1Tjew0UZL32c1AT2yPekLzdLISrvZe0
- RODRÍGUEZ, Héctor. Las aguas residuales y sus efectos contaminantes. *iagua*. Marzo de 2017. [fecha de consulta: 3 de Julio de 2018]. Disponible en <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- VASQUEZ, Emiliano. Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones. *AGUA.org.mx*, 3. Agosto de 2017. [fecha de consulta: 3 de Julio de 2018]. Disponible en <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/>
- VERMA, Rashimi y SUTHAR, Surindra. Lead and cadmium removal from water using duckweed - *Lemna gibba* L.: Impact of pH and initial metal load. Artículo, Alexandria University, Faculty of Engineering, Uttarhand. 2015. [fecha de consulta: 4 de Julio de 2018]. Disponible en https://ac.els-cdn.com/S1110016815001520/1-s2.0-S1110016815001520-main.pdf?_tid=7b62b0d7-a7f5-4c55-8791-76c70b14607d&acdnat=1540428333_e340812fdb499846848f3dbd8b5e62dc

- VERMAAT, J y HANIF, K. Performance of common duckweed species (Lemnaceae) and the waterfern *Azolla filiculoides* on different types of waste water. ScienceDirect, 2014. [Recuperado el 2 de Agosto de 2018]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135498000372>
- ZIMMELS, Y y FIRZHNER, M. Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. ScienceDirect [en línea]. 2006, [fecha de consulta: 2 de Agosto de 2018]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479706000065>
- ANDRADE, Kelvin. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Eichhornia crassipes* Mart. (Jacinto de agua), *Pistia Stratiotes* L. (Lechuga de agua) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Loja , Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Nueva Loja, 2015. Disponible en <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11868/1/Kelvin%20Cristian%20Andrade%20Jim%C3%A9nez.pdf>
- ARANGO, Ángela. Biosistema integral de tratamiento de aguas residuales domésticas. Diseño, construcción y evaluación . Tesis de maestría, Universidad de Manizales, Manizales, 2007. Disponible en http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1054/Arango_Gartner_Angela_Maria_2007.pdf?sequence=1
- BALLESTEROS, José. Determinación de la eficacia de *Azolla caroliniana* como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados. Tesis Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2011. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5046/1/UPS-QT02529.pdf>
- CELIS, José; JUNOD, Julio y SANDOVAL, Marco. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas [en línea]. 2005, [fecha de consulta: 25 de Mayo de 2018]. Disponible en <http://www.ubiobio.cl/theoria/v/v14/a2.pdf>
- Centro de Biociencia Agrícola Internacional. *Azolla filiculoides* (water fern) [en línea]. 2008, [fecha de consulta: 3 de Junio de 2018]. Disponible en <https://www.cabi.org/isc/datasheet/8119>
- CUEVA, Willam. Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies (*PISTIA STRATIOTES* L.) y (*LIMNOBIUM LAEVIGATUM* R.) para el tratamiento de lixiviados producidos en el relleno sanitario del cantón centinela

- del condor, PROVINCIA ZAMORA CHINCHIPE. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Zamora, 2016. Disponible en http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17583/1/CUEVA_PLACENCIA_WILLAM_PATRICIO_TESIS_DE_GRADO_12_12_2016.pdf
- Dirección General de Salud Ambiental. Parámetros Organolépticos. Lima [en línea], 2012, [fecha de consulta: 13 de Junio de 2018]. Disponible en http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO%20DE%20USO%201.pdf
 - Ecofluidos Ingenieros S.A. Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco. Fondo para el logro de los ODM, Lima [en línea]. 2012, [fecha de consulta: 11 de Junio de 2018]. Disponible en <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>
 - Flores. Macrófitas [en línea]. 2014, [fecha de consulta: 1 de Junio de 2018]. Disponible en <https://www.flores.ninja/macrophytas/>
 - FONDO EUROPEO AGRÍCOLA DE DESARROLLO RURAL. Azolla filiculoides Lam [en línea]. 2013, [fecha de consulta: 3 de Junio de 2018]. Disponible en https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal_web/web/temas_ambientales/biodiversidad/3_especies_exoticas/1_Catalogo%20especies/flora/Azolla%20filiculoides_Fichas_web_hq.pdf
 - GARCÍA, Zarela. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de tres nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, Lima, 2012. Disponible en http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1292/1/garcia_tz.pdf
 - JIMÉNEZ, Antonio y BARBA, Álvaro. Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas. Universidad Carlos III, Madrid, 2008. Disponible en <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-quimica/ingenieria-ambiental/otros-recursos-1/OR-F-001.pdf>
 - LEÓN, Mónica y LUCERO, Ana. Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del cantón Cotachi. Tesis Pregrado,

- Universidad Técnica del Norte , Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y ambientales, Ibarra, 2009. Disponible en <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/102/1/03%20REC%20108%20TESIS.pdf>
- LONDOÑO, Adela; GIRALDO, Gloria y GUTIÉRREZ, Ádamo. Métodos analíticos para la evaluación de la calidad fisicoquímica del agua. Universidad Nacional de Colombia , Manizales. 2010. Disponible en <http://bdigital.unal.edu.co/49658/7/9789588280394.pdf>
 - MARTELO, Jorge y LARA, Jaime. Macrófitas flotantes en el tratamiento en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado de arte. *Ingeniería y Ciencia* [en línea]. Enero 2012, 8(15). [fecha de consulta: 03 de junio de 2018]. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>
 - MASACHE, Carmen [en línea]. 2016. Disponible en <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17761/1/Carmen%20Elizabeth%20Masache%20Granda.pdf>
 - MENDEZ, Yuniel; PÉREZ, Yilian; REYES, Juan y PUENTE, Verónica. Azolla sp., un alimento de alto valor nutricional para la acuicultura. *Bio tecnia* [en línea]. 2018, [fecha de consulta: 2 de Junio de 2018]. Disponible en [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/527-1356-1-SM%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/527-1356-1-SM%20(1).pdf)
 - NÚÑEZ, Roberto; MEAS, Yunny; ORTEGAS, Raúl y OLGUÍN, Eugenia. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones [en línea]. 2004, [fecha de consulta: 12 de Mayo de 2018]. Disponible en http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf
 - ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL. Fiscalización Ambiental en aguas residuales. 2014, [fecha de consulta: 9 de Mayo de 2018]. Disponible en https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
 - ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL. Portal de transparencia. 2014, [fecha de consulta: 11 de Abril de 2018]. Disponible en <https://www.oefa.gob.pe/noticias-institucionales/el-oefa-advierte-problematika-ambiental-por-deficit-de-tratamiento-de-las-aguas-residuales-a-nivel-nacional>
 - ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA. Las aguas residuales: el recurso desaprovechado. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. 2017. [fecha de

- consulta: 10 de Abril de 2018]. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/247552s.pdf>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. Aguas residuales, un problema mundial que aumenta la brecha entre ricos y pobres [en línea]. 2012, [fecha de consulta: 10 de Abril de 2018]. Disponible en <https://www.foroambiental.net/archivo/noticias-ambientales/recursos-naturales/2099-aguas-residuales-un-problema-mundial-que-tambien-aumenta-la-brecha-entre-ricos-y-pobres>
 - RODRIGUEZ, Manuel. Mar Lambayecano es afectado por drenaje de aguas residuales. *La República*, pág. 1 [en línea]. Mayo 2013, [fecha de consulta: 14 de Abril de 2018]. Disponible en <https://larepublica.pe/archivo/712716-mar-lambayecano-es-afectado-por-drenaje-de-aguas-residuales>
 - RODRÍGUEZ, María y GARCÍA, Karen. Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas, en la ciudad de Moyobamba - 2011. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, Facultad de ecología, Moyobamba, 2012. Disponible en http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/UNSM/372/TECO_01.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 - TRIOATHI; KUMAR y GUPTA. Pistia stratiotes es una planta con Propiedades Terapéuticas y Preventivas. *Bagó*, 3 [en línea]. 2010, [fecha de consulta: 2 de Junio de 2018]. Disponible en <http://www.bago.com/BagoArg/Biblio/farmaweb343.htm>
 - ZARATE, Griselda; ZAVALETA, Hilda; ALARCÓN, Alejandro y JIMENÉZ, Luis. (Agosto de 2016). Fitotoxicidad de nanopartículas de ZnO en el helecho acuático *Azolla Filiculoides* Lam. *Agrociencia*, 50(6) [en línea], Agosto de 2016, [fecha de consulta: 6 de Junio de 2018]. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000600677

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Límites máximos permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua.

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Ministerio del ambiente, 2010.

Anexo 2: Resultados de los análisis fisicoquímicos.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA

TIPO DE ANÁLISIS: Análisis fisicoquímico

USUARIO : Anyela Liley Solano Carrión

N° DE MUESTRA : 07

TIPO DE MUESTRA: Agua superficial- dren

FECHA DE EMISIÓN: 14 de Noviembre del 2018

RESULTADOS:

N° DE MUESTRA	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	EQUIPO
PC	TURBIDEZ	260	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	917	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	8.55	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	3.167	mS/cm	CONDUCTÍMETRO
	TEMPERATURA	23.28	°C	TERMOMETRO DIGITAL
	OXIGENO DISUELTO	6.9	ppm	OXIMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	794	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
P- T1	TURBIDEZ	2.90	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	580	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	8.14	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	3.191	mS/cm	CONDUCTÍMETRO
	TEMPERATURA	22.59	°C	TERMOMETRO DIGITAL
	OXIGENO DISUELTO	5.16	ppm	OXIMETRO





	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	433	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
P- T2	TURBIDEZ	2.80	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	231	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	8.16	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	3.112	mS/cm	CONDUCTÍMETRO
	TEMPERATURA	22.59	°C	TERMOMETRO DIGITAL
	OXIGENO DISUELTO	5.58	ppm	OXIMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	210	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
P- T3	TURBIDEZ	7.00	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	198	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	8.25	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	3.363	mS/cm	CONDUCTÍMETRO
	TEMPERATURA	24.77	°C	TERMOMETRO DIGITAL
	OXIGENO DISUELTO	9.53	ppm	OXIMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	95	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
A- T1	TURBIDEZ	3.40	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	755	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	8.26	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	3.129	mS/cm	CONDUCTÍMETRO
	TEMPERATURA	22.63	°C	TERMOMETRO DIGITAL





	OXIGENO DISUELTO	5.05	ppm	OXIMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	499	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
A- T2	TURBIDEZ	2.10	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	341	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.98	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	3.008	mS/cm	CONDUCTÍMETRO
	TEMPERATURA	22.65	°C	TERMOMETRO DIGITAL
	OXIGENO DISUELTO	5.40	ppm	OXIMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	298	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
A- T3	TURBIDEZ	5.10	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	295	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	8.16	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	4.180	mS/cm	CONDUCTÍMETRO
	TEMPERATURA	24.90	°C	TERMOMETRO DIGITAL
	OXIGENO DISUELTO	8.94	ppm	OXIMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	128	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)

Nota: la muestra fue tomada por el usuario, el laboratorio no se responsabiliza.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA



Anexo 3: Matriz de consistencia para elaboración de proyecto de investigación.

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ANYELA LILEY SOLANO CARRION

FACULTAD/ESCUELA: INGENIERÍA /INGENIERÍA AMBIENTAL

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN	TÉCNICAS	MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS
¿Quién tiene mayor eficiencia la <i>Pistia stratiotes</i> o la <i>Azolla filiculoides</i> para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000?	Objetivo general: Comparar la eficiencia de la <i>Pistia stratiotes</i> y <i>Azolla filiculoides</i> para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000.	<i>Pistia stratiotes</i> tendrá mayor eficiencia que la <i>Azolla filiculoides</i> en la mejora de la calidad del agua residual del dren 4000.	VI: Eficiencia de la <i>Pistia stratiotes</i> y <i>Azolla filiculoides</i> VD: Calidad del agua residual	No experimental	Es una población infinita conformada por la cantidad de agua que hay en el Dren 4000.	<ul style="list-style-type: none"> • Técnica de campo (recolección de muestras) • Técnicas para análisis físicos químicos del agua. <ul style="list-style-type: none"> - Turbidez - Temperatura - Conductividad eléctrica - pH - DQO - DBO - Oxígeno disuelto 	Para procesar datos <ul style="list-style-type: none"> - Excel Para análisis fisicoquímicos: <ul style="list-style-type: none"> - Electrométrico - Nefelométrico - Incubación de 5 días - Gravimétrico - Dicromato potásico
	Objetivos específicos <ul style="list-style-type: none"> • Determinar la calidad inicial del agua residual del dren 4000. • Evaluar periódicamente la calidad del agua tratada con <i>Pistia stratiotes</i>. 					DISEÑO	

	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar periódicamente la calidad del agua tratada con <i>Azolla filiculoides</i>. • Determinar cuál especie <i>Pistia stratiotes</i> y <i>Azolla filiculoides</i> es más eficiente para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000. 			<ul style="list-style-type: none"> • No experimental Longitudinal. 	<p>100 litros de agua residual del Dren 4000.</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Turbidímetro – Conductímetro – Potenciómetro (pH) y °C. – Peachímetro portátil – Equipo DQO – Agitador magnético – Multiparámetros – Oxímetro 	
--	---	--	--	---	---	--	--

Anexo 4: Proceso del desarrollo del trabajo de investigación.

Figura N° 5: Recolectando las muestras de agua en el dren 4000.



Figura N°6: Recolección de las muestras de agua en otro punto crítico.



Figura N° 7: Filtrando las muestras de agua.



Figura N° 8: Analizando las muestras de agua.

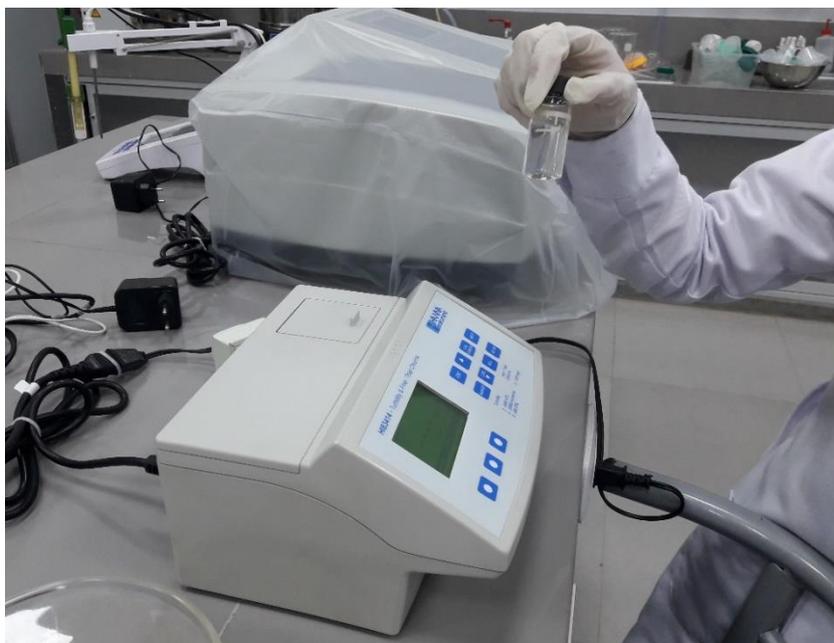


Figura N° 9: Analizando el oxígeno disuelto de la prueba control.



Figura N° 10: Analizando la conductividad eléctrica de la prueba control.



Figura N° 11: Lugar donde se encontraron las plantas macrófitas.



Figura N° 12: Recolectando las plantas macrófitas.



Figura N° 13: Acondicionamiento de los estanques de agua.



Figura N° 14: Acondicionamiento de las plantas macrófitas en los estanques de agua.



Figura N° 15: Estanque con *Pistia stratiotes* listo.



Figura N° 16: Vista lateral de los estanques de agua con las plantas macrófitas.



Figura N° 17: Vista superior del estanque con *Pistia stratiotes*.



Figura N° 18: Vista posterior de los estanques agua con las dos plantas macrófitas.



Figura N° 19: Monitoreo *Pistia stratiotes* a los 7 días de empezar el tratamiento.



Figura N° 20: Monitoreo de las plantas macrófitas a los 7 días de empezar el tratamiento.



Figura N° 21: Recolección del agua tratada con las plantas macrófitas.



Figura N° 22: Muestras de agua residual tratada con las macrófitas a los 7 días.



Figura N° 23: Muestras de agua residual tratada con las macrófitas a los 14 días.



Figura N° 24: Muestras de agua residual tratada con las macrófitas a los 21 días.



Figura N° 25: Filtrando las muestras de agua.



Figura N° 26: Resultados de la turbidez con *Pistia stratiotes* a los 21 días de empezar el tratamiento.



Acta de Aprobación de originalidad de tesis.

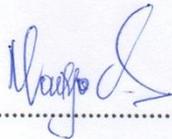
 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	ACTA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS	Código : F06-PP-PR-02.02 Versión : 09 Fecha : 23-03-2011 Página : 1 de 1
--	--	---

Yo, CÉSAR AGUSTO MONTEZA ARBULÚ, docente de la Facultad de INGENIERIA y Escuela Profesional DE INGENIERIA AMBIENTAL de la Universidad César Vallejo filial Chiclayo, revisor (a) de la tesis titulada

“Comparación de la eficiencia de *Pistia stratiotes* Y *Azolla filiculoides* para mejorar la calidad del agua residual del Dren 4000”, del (de la) estudiante SOLANO CARRION ANYELA LILEY, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 26% verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin.

El/la suscrito (a) analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 18 DE JULIO DEL 2019.



Firma

CÉSAR AUGUSTO MONTEZA ARBULU

DNI: 16681280



Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

Autorización de Publicación de tesis en repositorio institucional UCV.

	AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL UCV	Código : F08-PP-PR-02.02
		Versión : 07 Fecha : 31-03-2017 Página : 1 de 1

Yo Angela Liley Solano Carrión, identificado con DNI N° 72365629, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad César Vallejo, autorizo (X) , No autorizo () la divulgación y comunicación pública de mi trabajo de investigación titulado "Comparación de la eficiencia de Pistia stratiotes y Azolla filiculoides para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000" en el Repositorio Institucional de la UCV (<http://repositorio.ucv.edu.pe/>), según lo estipulado en el Decreto Legislativo 822, Ley sobre Derecho de Autor, Art. 23 y Art. 33

Fundamentación en caso de no autorización:

.....

.....

.....

.....

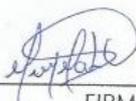
.....

.....

.....

.....

.....



 FIRMA

DNI: 72365629

FECHA: 28 de mayo del 2019.

Elaboró	Dirección de Investigación	Revisó	Representante de la Dirección / Vicerrectorado de Investigación y Calidad	Aprobó	Rectorado
---------	----------------------------	--------	---	--------	-----------

Autorización de la Versión final del trabajo de investigación.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

AUTORIZACIÓN DE LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTE POR EL PRESENTE EL VISTO BUENO QUE OTORGA EL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN DE

E. P. Ingeniería Ambiental

A LA VERSIÓN FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN QUE PRESENTA:

Solano Carrión Anyela Liley

INFORME TITULADO:

Comparación de la eficiencia de Pistia stratiotes y Azolla filiculoides para mejorar la calidad del agua residual del dren 4000.

PARA OBTENER EL TÍTULO O GRADO DE:

Ingeniera Ambiental

SUSTENTADO EN FECHA: 28 de mayo del 2019

NOTA O MENCIÓN: Aprobada por unanimidad.



FIRMA DEL ENCARGADO DE INVESTIGACIÓN