

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum*
quítense y *Elodea densa* en la remoción de
contaminantes del lixiviado del relleno sanitario
Cepasc - Concepción, 2021**

Fiorela Akemy Madueño Porras
Adriana Andrea Orellana Quiñonez

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecer a Dios por habernos dado salud y estado con nosotras en todo momento de nuestra formación profesional. A nuestros padres por brindarnos su apoyo incondicional, proporcionándonos todo y cada cosa que hemos necesitado a lo largo de nuestra etapa académica. A su vez agradecer a nuestro asesor Mg. Pablo Espinoza Tumialan, persona de gran sabiduría quien se ha esforzado por ayudarnos a llegar al punto en el que nos encontramos ahora.

DEDICATORIA

En primera instancia agradezco a Dios por haberme dado la fuerza, valentía y guiarme en cada proyecto que me he propuesto al no haberme abandonado nunca; y a su vez por protegerme durante toda mi etapa universitaria.

A mis padres Manuel y María, quienes fueron y son los que velan por mi educación e inculcan valores a lo largo de mi vida, dándome la confianza en cada anhelo y proyecto. Son ellos quienes me dan la fortaleza para continuar con mis metas trazadas, siendo mis amigos incondicionales que me comprenden en todo momento.

Desde el cielo, a mi ángel que me acompaña día a día, mi mamita Carmen, por haber sido mi apoyo incondicional, acompañándome en los malos y buenos momentos, quien me brindó su amor tan puro y sincero; a quien la tengo presente todos los días. La vida contigo mamita siempre ha sido la más hermosa.

Finalmente, agradecer a nuestro asesor de tesis quien nos ha brindado a lo largo de este proyecto sus consejos y conocimientos; y a mi compañera de investigación quien siempre estuvo brindándome los ánimos en el trayecto de la tesis.

Fiorela Akemy Madueño Porras

En primer lugar, quiero expresar mi gratitud a Dios quien nos brinda la vida y bendice a cada paso a toda mi familia, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser mi fortaleza, perseverancia y valentía hasta el día de hoy.

A mis padres Lourdes y Frank quienes con su profundo amor, paciencia y esfuerzo me han brindado esta gran oportunidad de cumplir un sueño más, gracias por inculcar en mí valores, el ejemplo del esfuerzo, la valentía para enfrentar las adversidades y mostrarme día a día su apoyo incondicional.

A mis abuelos que, con su amor, oraciones, consejos y palabras de aliento hacen de mí una mejor persona, gracias por confiar en mí y acompañarme en todas mis metas, mi amor hacia ustedes es infinito.

Finalmente quiero agradecer de manera especial a nuestro asesor de tesis y mi compañera de investigación, por haberme brindado su apoyo, no solo en la elaboración del presente trabajo de titulación sino también a lo largo de mi carrera universitaria.

Adriana Andrea Orellana Quiñonez

ÍNDICE

PORTADA	1
AGRADECIMIENTOS	2
DEDICATORIA	3
ÍNDICE	5
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I	15
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1 Planteamiento del problema.....	15
1.1.2 Formulación del problema	20
1.2. Objetivos	21
1.2.1 Objetivo general	21
1.2.2 Objetivos específicos	21
1.3. Justificación e Importancia	22
1.4. Hipótesis y descripción de variables	23
1.4.1. Hipótesis nula	23
1.4.2. Hipótesis alterna.....	23
1.4.3. Hipótesis específicas	23
1.4.4. Variables y operacionalización.....	24
CAPÍTULO II	25
2.1. Antecedentes del problema	25

2.1.1. Antecedentes Internacionales	25
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	26
2.2. Bases Teóricas	32
2.2.1. Lixiviados	32
2.2.2. Procesos biológicos	35
2.2.3. Sistemas naturales.....	37
2.2.4. Metales pesados	40
2.2.5. Vegetación	41
2.2.6. Fisiología depuradora del tejido vegetal.....	42
2.2.7. Macrófitas.....	43
2.2.8. Myriophyllum quítense	45
2.2.9. <i>Elodea densa</i>	48
2.2.10. Mecanismos de remoción de contaminantes	50
2.2.11. Biorremediación y fitrodepuración	51
2.2.12. Evaluación de remoción de nutrientes.	51
2.3. Definición de términos	52
CAPÍTULO III	53
3.1. Método y alcance de la investigación	53
3.1.1. Método de la investigación	53
3.1.2. Alcances de la investigación	53
3.2. Diseño de la investigación	54
3.3. Población y muestra	55
3.3.1. Población	55
3.3.2. Muestra	56
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	56
CAPÍTULO IV	60
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de información.....	60

4.1.1. Resultados de la concentración inicial del lixiviado.	60
4.1.2. Efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quítense</i> y <i>Elodea densa</i> en la concentración de contaminantes del lixiviado.....	61
4.2. Prueba de hipótesis	66
4.3. Discusión de resultados	75
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
R.....	82
ANEXOS	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Ventajas y Desventajas de los humedales artificiales.....	38
Figura 02. Clasificación de los humedales artificiales	39
Figura 03. Ventajas y desventajas de las macrófitas	44
Figura 04. <i>Myriophyllum quitense</i>	45
Figura 05. Elodea densa	48
Figura 06. Diagrama de flujo del tratamiento del proceso de tratamiento	58
Figura 07. Remoción de Demanda Química de Oxígeno	62
Figura 08. Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	63
Figura 09. Valores de pH obtenidos por los tratamientos a los 8, 15 y 30 días	65
Figura 10. Presentación gráfica de la prueba de hipótesis de DQO	69
Figura 11. Presentación gráfica de la prueba de hipótesis de DBO5	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Variables y operacionalización.....	24
Tabla 02. Concentración de contaminantes.....	
Error! Bookmark not defined.	
Tabla 03. Concentración de metales pesados.....	34
Tabla 04. Clasificación de lixiviados de rellenos sanitarios.....	34
Tabla 05. Mecanismos de eliminación de contaminantes en humedales artificiales	50
Tabla 06. Diagrama de diseño de la investigación.....	54
Tabla 07. Caracterización del lixiviado inicial.....	57
Tabla 08. Características de lixiviado, según Decreto Supremo N°003 – 2010 – MINAM.....	60
Tabla 09. Resultados de los parámetros analizados del lixiviado a dilución de 2%, 3,3% y 5%.....	61
Tabla 10. Resultado del análisis de DQO del lixiviado tratado a los 8,15 y 30 días	62
Tabla 11. Resultados del análisis de DBO5 del lixiviado tratado a los 8, 15 y 30 días	63
Tabla 12. Resultado del análisis de pH del lixiviado tratado a los 8,15 y 30 días	64
Tabla 13. Análisis de metales pesados (Pb, Cu y Zn) del lixiviado tratado a los 30 días.....	66
Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para DQO.....	67
Tabla 15. Prueba de muestras relacionadas para la DQO (antes y después)	68
Tabla 16. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para DBO5.....	69

Tabla 17. Prueba de muestras relacionadas para la DQO (antes y después).....	70
Tabla 18. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para Ph.....	72
Tabla 19. Prueba de Wilcoxon para Ph.....	72
Tabla 20. Metales pesados Pb, Cu y Zn.....	73
Tabla 21. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para Zinc.....	74
Tabla 22. Estadísticos de Wilcoxon para Zinc.....	74

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021. Para ello se recolectaron muestras del pozo de lixiviado previa caracterización de un volumen total de 4,5 litros para ser empleados en 12 unidades experimentales, dividido en 3 condiciones, cada una con 3 repeticiones y 3 unidades de control codificadas según la condición de lixiviado al 2%, 3,3%, 5% y el último grupo sin aplicación de las especies macrófitas denominado como testigo; éstas fueron monitoreadas a los 8, 15 y 30 días, evaluando los parámetros químicos, Pb, Cu y Zn.

El estudio se aborda de acuerdo al nivel de investigación explicativo, con un diseño experimental puro. Se concluyó de la investigación a un nivel de confianza del 95% que el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* si fueron significativas en la concentración del DQO y DBO₅, mientras que para el potencial de hidrógeno y metales pesados (Pb, Cu y Zn) a nivel estadístico no hay evidencias para afirmar que existen diferencias significativas en el periodo de 8, 15 y 30 días evaluadas.

Palabras claves: fitorremediación, lixiviado de relleno sanitario, metales pesados, macrófitas.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the phytoremediation effect of the *Myriophyllum quitense* and *Elodea densa* species on the concentration of pollutants in the leachate of the CEPASC - Concepción landfill, 2021. For this purpose, samples were collected from the leachate well after characterizing a total volume of 4.5 liters to be used in 12 experimental units, divided into 3 conditions, each with 3 repetitions and 3 control units coded according to the leachate condition at 2%, 3.3%, 5% and the last group without application of the macrophyte species designated as control; these were monitored at 8, 15 and 30 days, evaluating the chemical parameters, Pb, Cu and Zn.

The study is approached according to the level of explanatory research, with a pure experimental design. It was concluded from the investigation at a confidence level of 95% that the phytoremedial effect of the *Myriophyllum quitense* and *Elodea densa* species were significant in the concentration of COD and BOD5, while for the potential of hydrogen and heavy metals (Pb, Cu and Zn) at a statistical level there is no evidence to affirm that there are significant differences in the period of 8, 15 and 30 days evaluated.

Keywords: phytoremediation, landfill leachate, heavy metals, macrophytes.

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas que enfrentan los países en el mundo es la generación de residuos sólidos, que en su mayoría tienen como disposición final los rellenos sanitarios o botaderos. Los rellenos sanitarios son uno de los métodos más utilizados para la disposición final de residuos sólidos en el mundo debido que han mostrado ser la forma más económica, en término de aprovechamiento y costo para la disposición (1).

Los rellenos sanitarios liberan una amplia gama de compuestos debido a la degradación de los residuos en todo su ciclo de vida. Los contaminantes líquidos generados en un relleno sanitario, son producidos principalmente cuando un caudal de agua pasa a través de los residuos generando la lixiviación de componentes desde el sólido al líquido, por lo que son considerados como un problema al medio ambiente debido a su composición los cuales son; materia orgánica disuelta, macro componentes inorgánicos, metales pesados y compuestos orgánicos xenobióticos lo que dificulta su tratamiento.

Este grave problema nos lleva a nuevos mecanismos que contrarresten su impacto al medio ambiente, una solución es la fitorremediación conocida como el uso de plantas para la recuperación de ecosistemas afectados por una determinada contaminación que desde el siglo 20 han ganado más fuerza con el desarrollo de diversas tecnologías apropiadas para diversas aplicaciones. Esta tecnología se lleva de manera in situ o ex situ y es utilizado por la elevada eficiencia de las plantas en la remoción de contaminantes, es por ello que el tratamiento con el uso de especies macrófitas, más conocido como un sistema natural eliminan gran cantidad de contaminantes en los lixiviados.

Las macrófitas son plantas acuáticas con características depuradoras de agua que también se benefician de los elementos de las aguas negras para su desarrollo, el uso de estas plantas ha ayudado en el tratamiento de aguas residuales a nivel mundial, como en nuestro país donde se han realizado diversas investigaciones con el fin de reducir la concentración de contaminantes de los lixiviados implicando bajos costos en la operación y mantenimiento.

En el relleno sanitario Centro Ecoturístico de Protección Ambiental “Santa Cruz” – CEPASC, Concepción tiene como objetivo la disposición final de los

residuos. Los lixiviados generados por la degradación de los residuos son almacenados en una poza y este tiende a escurrirse en sus alrededores cuando sobrepasa su capacidad ocasionando problemas al medio ambiente y la salud.

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar el efecto fitorremediador de las especies macrófitas *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* en la remoción de contaminantes del lixiviado así disminuir el impacto ambiental y mejorar positivamente la calidad de vida de las personas disminuyendo las enfermedades asociadas a la contaminación del agua.

El contenido del estudio se dividió en cuatro capítulos, de la siguiente manera:

- Capítulo I, describe el planteamiento del problema, formulación y objetivos.
- Capítulo II, presenta las antecedentes internacionales, nacionales y locales de la investigación y bases teóricas.
- Capítulo III, detalla la metodología empleada durante la investigación
- Capítulo IV, comprende de los resultados, discusión y conclusión.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

El medio ambiente se define como la unión de elementos químicos, físicos y biológicos, estos elementos son indispensables para la existencia de los seres vivos por cuanto aportan al desarrollo de la biodiversidad y la evolución humana, a pesar de la suma importancia y aporte que tiene el medio ambiente por cuanto provee a los seres humanos, no se toman medidas determinantes para su protección y manejo adecuado generando el aprovechamiento indiscriminado de sus recursos y el uso inadecuado de los agentes químicos que van afectando elementos primordiales como el agua, suelo y aire (3).

En la actualidad el creciente desarrollo de las poblaciones y la modernización trajo consigo un consumo elevado de bienes materiales y recursos naturales, el cual se ve reflejado en la continua generación de residuos sólidos que da como resultado complicaciones en la salud y un impacto negativo hacia el medio ambiente; estos residuos sólidos suelen ser acumulados en rellenos sanitarios en el mejor de los casos o destinados a botaderos ilegales. Entonces el problema poblacional desde un punto de vista ambiental tiene como eje la devastación ambiental que es su causa principal e influenciada por las relaciones políticas y economías internacionales

En ese sentido, se requiere disponer los residuos sólidos de forma adecuada y la planificación de espacios para su depósito. La eliminación, incineración o confinamiento en la tierra son las alternativas menos costosas; sin embargo, los costos sociales de separar los residuos sólidos se han incrementado. Actualmente, el principal problema es conseguir lugares apropiados para su disposición y la identificación exacta de los impactos

negativos hacia el medio ambiente. La naturaleza tiene una gran resiliencia de asimilar impactos generados por los residuos, no obstante, muchas veces la generación es mayor de lo que la naturaleza logra tolerar, ocasionando así el problema de contaminación, el deterioro de la calidad ambiental afecta los recursos generando un desbalance y deficiencia de mercado (4).

La población a nivel mundial genera alrededor de 2010 millones de toneladas de residuos sólidos municipales, la eliminación de estos en los rellenos sanitarios es el procedimiento más común y fácil en países en desarrollo, un claro ejemplo es la India. Sin embargo, la situación es lamentable debido a la mala e inadecuada gestión de los rellenos sanitarios porque existen fugas de lixiviados que pueden generar impactos significativos en los suelos, aguas subterráneas y superficies que posteriormente generan un efecto negativo hacia la salud de la población (8).

En Japón, los rellenos sanitarios están ubicados en áreas donde existe el curso de agua y diversos recursos naturales, por lo que la salida de lixiviados es considerada como un problema ambiental. Además, el tratamiento que se le realiza puede no funcionar en su totalidad para la eliminación de contaminantes por lo que podría existir un alto riesgo de exposición por salida y liberación de estos líquidos al ambiente (9).

El Estado Peruano publicó el “Reglamento de la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, con su Decreto Supremo N° 014-2017-MINAM”, que en sus objetivos busca minimizar la generación de residuos sólidos en el origen, se promueve también la recuperación y valorización de los residuos sólidos a través de procesos como reciclaje de plásticos, metales, vidrios y otros, así mismo la conversión de residuos orgánicos en compost o fuente de generación de energía. De considerarse y aplicar adecuadamente los principios de aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales, se lograría reducir significativamente el impacto causado por los residuos sólidos a una escala nacional (5).

Los productos contaminantes principales de la degradación de los residuos sólidos son: el lixiviado y biogás, ambos son generados debido a la percolación de aguas de lluvia a través de los desechos y diversas

reacciones químicas que suceden al interior de un relleno sanitario. A parte de lo mencionado, el lixiviado de relleno sanitario es un agua residual compleja producida por la degradación química y biológica de la materia contenida en los residuos, así como por la infiltración de la lluvia a través de los residuos sólidos. La presencia de agua permite una combinación de procesos físicos, químicos y microbiológicos para transferir contaminantes del residuo sólido en descomposición al líquido, resultando así la formación del lixiviado, el cual está compuesto por materia orgánica, nutrientes, metales pesados, compuestos recalcitrantes y otros xenobióticos. Los metales pesados a diferencia de los contaminantes orgánicos son persistentes en la naturaleza, por lo tanto, tienden a acumularse en distintos nichos de los ecosistemas, son bioacumulados y bioaumentados a medida que se avanza en los diferentes niveles de la red trófica. Estas sustancias son de reconocido impacto en el ambiente (agua, aire y suelo) y algunos de ellos como el Cd, Pb y Zn están asociados a malformaciones congénitas (6).

El problema que ocasiona la generación de los lixiviados es debido a que los rellenos sanitarios en su mayoría operan sin una geomembrana que tiene como finalidad el acopio y control del lixiviado para evitar la contaminación de suelos, aguas superficiales y subterráneas (7). El lixiviado generado por los vertederos de las plantas de residuos es un líquido muy complejo y altamente contaminado, por lo que se requiere de un tratamiento apropiado previo a su destino final, el cual dependerá del origen, composición y producción, mientras que la disposición final se dará de acuerdo con el tratamiento obtenido, como: uso agrícola, descarga en pilas de compostaje, vertido a cuerpos de agua o descarga sobre el propio vertedero.

En Polonia, se realizó un trabajo que tuvo como objetivo analizar los elementos físico químicos en aguas subterráneas en la proximidad de un pequeño relleno sanitario, en este trabajo se recolectó muestras de agua subterránea y lixiviados cerca del vertedero, los resultados obtenidos de la investigación fueron analizados en función de las propiedades fisicoquímicas donde se encontró elementos inorgánicos como el Cr, Zn, Cd, Pb, Hg, dando como resultado la contaminación del suelo y aguas aledañas al relleno sanitario (10).

Cada año millones de personas a nivel mundial en su mayoría niños mueren por enfermedades relacionadas con el agua, saneamiento y la inadecuada higiene. Según “La Organización Mundial de la Salud”, mueren alrededor de 1.3 millones de niños por causa de microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua, una de estas enfermedades es la diarrea (EDA), siendo una enfermedad como mayor importancia relacionada con la mala calidad del agua potable que constituye la segunda causa de muerte infantil en el mundo (11). Según “La Organización de las Naciones Unidas” detalla que debido a la escasez y la mala calidad del agua afecta de manera negativa a la seguridad de los alimentos.

En América Latina se generan alrededor de 231 millones de toneladas anuales de residuos sólidos, donde el 45% no recibe un tratamiento o una adecuada disposición final (12). En el Perú se generan un total de 7 374 821,22 toneladas anuales de residuos sólidos, de los cuales el 50% tiene como disposición final un relleno sanitario (13).

En la actualidad uno de los problemas que viene afrontando el Perú es la falta de lugares adecuados para su disposición, ocasionando problemas secundarios y generando impactos ambientales negativos por el mal manejo y disposición de sus líquidos, donde el impacto ambiental más relevante de la disposición final de los desechos es la generación de gases y lixiviados.

En el Perú, la generación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios representa una gran problemática debido a que su minimización, disposición y el tratamiento, son todavía un reto. A pesar de que la actividad está reglamentada por la Ley N°1278 – “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos” y su reglamento D.S. N°014-2017-MINAM, no se cuenta con rellenos sanitarios en todo el Perú y si existen estos se encuentran en lugares inapropiados que no abastecen para una magnitud de desechos que produce una población de 32 millones de habitantes ocasionando problemas ambientales.

Por todo lo ya expuesto, el acopio de residuos sólidos es un problema ambiental a nivel mundial y nacional, del cual no se encuentra exento Huancayo. Según una investigación hecha por el Ministerio del Ambiente, tan solo por día en el Perú se producen aproximadamente 18 870 toneladas

de basura, siendo 479 toneladas contribuidas por la región Junín. Además, el estudio reveló que Huancayo está entre las 10 ciudades del país que generan más residuos sólidos y lixiviados con un potencial de contaminación al ambiente y salud de la población (4).

Se han venido aplicando diversas tecnologías para la eliminación de lixiviados, como tratamiento de tipo convencional, mediante procesos anaerobios, aerobios y sistemas de geomembrana, pero debido a la variabilidad en la calidad y la cantidad, estos sistemas pueden resultar poco eficientes. Además, estas tecnologías ofrecen limitaciones para su aplicación, como es el elevado costo de inversión, operación y mantenimiento, o tienen un cierto grado de complejidad y a su vez altos requerimientos energéticos. Por esta razón, se ha venido trazando nuevas tecnologías que permitan lograr el tratamiento de los lixiviados de rellenos sanitarios.

La fitorremediación es el empleo de plantas para expeler, destruir o transformar contaminantes del suelo, agua y aire. Mediante este proceso, son seleccionadas principalmente por su potencial fisiológico, como en el caso de enzimas presentes para tolerar y asimilar sustancias tóxicas, por sus tasas de crecimiento, por la profundidad de sus raíces y su habilidad para bioacumular y degradar contaminantes, mostrando que las plantas juegan un rol fundamental en los procesos de fitorremediación de aguas residuales (6).

El tratamiento con plantas acuáticas para aguas residuales y lixiviados es un tema que cada vez está adquiriendo mayor importancia a nivel mundial, los sistemas naturales son alternativas menos costosas en la operación y mantenimiento, así como el bajo consumo de energía eléctrica que se pueden adecuar en las instalaciones de los rellenos sanitarios. El uso de especies macrófitas es cada vez un tema de mayor importancia a nivel nacional, debido a que son grandes depuradoras y mejoradores de aguas.

Asimismo, el uso de las macrófitas como depurador, es una tecnología sustentable y se fundamenta en el uso de plantas para reducir de manera *in situ* la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua y aire; a partir, de procesos

biológicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema radicular (15).

Los humedales artificiales contienen grava impermeabilizada donde se plantan y desarrollan cultivos de macrófitas enraizadas. Estos son sistemas no convencionales que dependen de procesos microbiológicos, biológicos, físicos y químicos para la depuración de aguas residuales que implica bajos costos en la operación y mantenimiento apropiado, los cuales tienen una manipulación fácil y logran remover contaminantes. Las especies como *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* poseen un mecanismo de remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos que depuran de manera natural el agua, son una maravillosa alternativa para tratar lixiviados.

Por otro lado, existen diversos problemas que vienen generando los lixiviados en el Centro Ecoturístico de Protección Ambiental “Santa Cruz” - CEPASC, el cual carece de un tratamiento adecuado. La poza del lixiviado no se encuentra acondicionado para temporadas de precipitación como son de diciembre – abril, además de sobrepasar su capacidad, posiblemente este originando la contaminación de la calidad del suelo y probablemente la capa freática.

En tal sentido, la presente investigación está orientada a determinar el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* en la remoción de contaminantes como el DQO, DBO₅, Pb, Cu y Zn del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción en el año 2021. Utilizando 3L lixiviado en dilución con agua destilada a través de humedales artificiales a escala de laboratorio.

1.1.2 Formulación del problema

A) Problema general

¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción 2021?

B) Problemas específicos

- ¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración del DQO del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción 2021?
- ¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración del DBO₅ del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción 2021?
- ¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en el pH del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción 2021?
- ¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) del lixiviados del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021?

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración del DQO del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

- Determinar el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración del DBO5 del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.
- Determinar el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en el pH del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.
- Determinar el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

1.3. Justificación e Importancia

La presente tesis tiene como finalidad ampliar la información con respecto al efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la remoción de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC.

Los lixiviados generados en los rellenos sanitarios son una problemática ambiental debido a su alto nivel de contaminación que deterioran la calidad del suelo y la calidad del agua principalmente la superficial y subterránea. Ante esto surge la necesidad de cuidar y restablecer el entorno donde habitamos, a través de la implementación de alternativas que contribuyen a la minimización de los impactos negativos. Una de estas alternativas son los sistemas naturales que es una tecnología eficiente, de bajo costo y tienen una gran capacidad de remoción de contaminantes frente a la generación de lixiviados.

En la presente investigación se propone una alternativa de tratamiento que remueva a los contaminantes como es la presencia de químicos inorgánicos para disminuir el impacto generado al medio ambiente, este proceso se desarrollará mediante la aplicación de especies vegetales que por su efecto fitorremediador pueden disminuir los contaminantes del lixiviado. Cabe precisar, que hoy en día este proceso es considerado como una tecnología de solución factible que no requiere el uso de energía ni requiere de mantenimiento en su operación.

Además, la investigación aporta como una alternativa positiva para la remoción de contaminantes de los lixiviados provenientes de los rellenos sanitarios brindando una solución que mejora positivamente la calidad de vida de las personas en la disminución de enfermedades asociados a la contaminación del suelo y del agua.

Según “La Organización Mundial de la Salud” una mala calidad agua y de saneamiento genera consecuencias significativas hacia la salud generando enfermedades causadas por microorganismos y sustancias químicas presentes en el agua.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis nula

El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* no es significativa en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

1.4.2. Hipótesis alterna

El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* es significativa en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

1.4.3. Hipótesis específicas

- El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* es significativa en la concentración del DQO del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.
- El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* es significativa en la concentración del DBO5 del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.
- El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* es significativa en el pH del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.
- El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* es significativa en la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

1.4.4. Variables y operacionalización

Tabla 01. Variables y operacionalización

Tipo de Variable		Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Unidad de Medida	Tipo de Variable	Escala de medición
Variable Independiente	Tiempo de retención de <i>Myriophyllum quítense</i> y <i>Elodea densa</i>	Son especies vegetales que hace que el lixiviado mediante parámetros químicos de la planta remuevan contaminantes progresivamente	Tiempo	08, 15 y 30	Días	Cuantitativa discreta	-
Variable Dependiente	Remoción de contaminantes del lixiviado	Consiste en la diferencia de concentración de contaminantes que se encuentran en los lixiviados antes y después	Características de los parámetros químicos	Concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn)	mg/L	Cuantitativa continua	Razón
				DQO	mg/L	Cuantitativa continua	Razón
				DBO ₅	mg/L	Cuantitativa continua	Razón
				pH	Unidad de pH	Cuantitativa continua	Razón

CAPÍTULO II

MARCO TÉORICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En el trabajo de investigación de Carlos Madera Parra, titulado “Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios” (6), tuvo como objetivo evaluar el efecto de las concentraciones de los metales pesados Hg, Cd, Cr y Pb frente a la respuesta acumuladora y fisiológica de las especies: *Colocasia esculenta* (Ce), *Heliconia psittacorum* (He) y *Gynerium sagittatum* (Gs), sembradas en un humedal superficial de flujo horizontal para el tratamiento de lixiviados de los rellenos sanitarios. Los resultados obtenidos mostraron que las especies registraron mecanismos como mantenimiento de turgencia celular y la tolerancia a la deshidratación. La distribución de los MP en los tejidos de las especies decreció en el siguiente orden: raíz > hoja > tallo, *Colocasia esculenta* y en algunos análisis de *Heliconia psittacorum*, mostraron mayor capacidad de eliminación de MP. Todas las especies de plantas evaluadas mostraron capacidad de fitorremediación de lixiviado en todas ellas por lo cual se catalogaría como acumuladora de metales pesados.

En la investigación realizada por Carrión L; Cuenca, N titulado “Bioensayo con Macrófitas acuáticas para el Tratamiento de Lixiviados procedentes del Relleno Sanitario de Pichacay” (16). Tuvo por objetivo estudiar tres especies de macrófitas acuáticas, evaluando la capacidad depuradora de cada una de las especies, las especies utilizadas fueron: *Jacinto de agua*, *Berro* y *Elodea densa*.

El lixiviado extraído del Relleno Sanitario de Pichacay se empleó a diferentes concentraciones (0,5%; 1%, 2%, 5% y 10%) dentro de tanques de 27,5 galones para observar el efecto depurador de las especies en el periodo de un mes, las muestras fueron analizadas a los 8, 15 y 30 días. Los resultados obtenidos a los 30 días de investigación fueron: las tres especies tienen eficacia en la depuración de DBO₅ destacando el *Jacinto de agua*, de la misma manera que tiende en depurar

el nitrógeno y fósforo. Los valores obtenidos en pH mostraron que las especies *Berro* y *Jacinto de agua* tienden a acidificar el agua a diferencia de la *Elodea densa* que tuvo una propensión a alcalinizar el agua con valores de (9,02 a 9,19).

En la investigación realizada por Y. Zimmeles, F. Kirzhner y A. Malkovskaja titulada “Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel” (17). Se desarrolló a escala de laboratorio, piloto en cascada y semi continuos verificado que las plantas son capaces de disminuir todos los indicadores probados en la calidad del agua a niveles que permiten el uso del agua purificada para su posterior riego de cultivos arbóreos. Aplicado a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales y la turbidez. Teniendo como resultado que el DBO₅ disminuyó de 4 a 6 mg L⁻¹, en la DQO disminuyó de 460 a 100 mg L⁻¹, luego de 2,5 a 4 días de tratamiento, demostrando que el uso de este sistema de flujo superficial de agua libre y el sistema de bajo mantenimiento para el tratamiento de aguas residuales urbanas y agrícolas es una opción factible.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la investigación realizada por Luis Jiménez Monroy titulada “Tratamiento de aguas eutrofizadas con el uso de dos macrófitas de la bahía interior de Puno-2016” (15). Se planteó determinar el nitrógeno y fósforo totales de las aguas contaminadas de tres sectores de Puno evaluando la eficiencia de remoción de la *Elodea canadensis michax* y *Myriophyllum quitensis kunth*. Donde se evaluaron indicadores tales como pH, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y sólidos solubles totales.

Los resultados obtenidos presentan la eficiencia de las macrófitas *Myriophyllum* y *Elodea* analizados en aguas diluidas donde la *Elodea canadensis* presenta mayor eficacia en remover los iones de Fósforo total a los 29 días con dilución y sin diluir en un periodo de 37 días, por otra parte, *Myriophyllum* resulta ser más eficiente en absorber Nitrógeno Total hasta los 35 días. En los días 7, 14 y 28, el oxígeno disuelto se incrementó en 142,9% en promedio, los resultados experimentales dan a conocer que el *Myriophyllum* podría purificar o mejorar la actividad de los microorganismos oxidantes de amoníaco por lo tanto lograría contribuir a la eliminación de cantidades relevantes de fósforo de las aguas residuales. El pH

presentado en las aguas analizadas exhibió un promedio de 9,33; el cual indicaba que en aguas eutrofizadas presenta como un parámetro normal. Este dato afirma que las macrófitas de pH bajo son ácidos y se autodestruyen, las macrófitas que viven en un medio de pH 7 o neutral tienen mejores oportunidades de vida y las macrófitas que viven en un medio alcalino de pH 7- 8,5 tienen un mayor potencial de vida. Por lo tanto, se puede concluir que las macrófitas que vegetan en medios alcalinos tienen un mayor potencial de prolongar su vida.

En la investigación realizada por Rosmery Ayala Tocto, titulada “Fitorremediación de aguas residuales utilizando las especies *Eichhornia Crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*” (18). Tuvo como finalidad de implementar un sistema de fitorremediación a escala de laboratorio y evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de las especies, se conformó por cuatro sistemas de tratamiento de flujo discontinuo donde se utilizó baldes de plástico ubicando los cuatro sistemas de tratamiento con cuatro repeticiones.

Quincenalmente, se realizó un muestreo que analizó los parámetros físicos, químicos y microbiológicos como: temperatura, pH, turbidez, sólidos totales, demanda bioquímica de oxígeno (DQO₅), coliformes totales y fecales. El agua residual presentó un pH de 8,78 inicialmente con el tratamiento de *Eichhornia* en el cual bajaron los niveles de pH en un 21,41% dejando en un estado neutro, mientras que *Nasturtium* y *Nymphoides* disminuyeron en un 19,3% y 18,70%. En la remoción de DBO₅ *Eichhornia* se logró más eficacia con un 84,72%; en el caso de DQO la eficiencia en remoción de este parámetro fue más alta en *Eichhornia* con un 90,77%. Se concluyó que las tres especies utilizadas mostraron eficiencia en fitorremediación, siendo la especie *Nymphoides humboldtiana* más eficaz con 80,71%, seguida por *Eichhornia crassipes* con 81,11% y *Nasturtium officinale* con 77,65%.

En la investigación realizada por César Valdivia Rodríguez, titulada “Eficiencia de *Eichhornia crassipes* Solms Laub - Pontederiaceae y *Nasturtium officinale* W.T.Aiton - Brassicaceae en la remoción de DBO₅ y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín - 2019” (14). Planteó como objetivo determinar la eficiencia de las especies: *Jacinto de agua* y *Berro* en la remoción de DBO₅ y DQO. Los procesos de la remoción en los parámetros físico químicos fueron diferentes en cada tratamiento, puesto que el *berro* alcanzó una eficiencia de remoción del 30,62% de DBO₅ y para la DQO obtuvo 35,44% mientras que el

Jacinto de agua mostró una remoción de 85,33% de DBO₅ y para DQO una eficiencia de 84,33% . El pH promedio en la especie *Jacinto de Agua* obtuvo un valor de 7 y para *Berro* 7,5; encontrándose dentro de los rangos aceptables. Donde se concluye que las aguas residuales tratadas tanto por *Jacinto de Agua* y *Berro* presentaron concentraciones de temperatura, pH, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno por debajo de los límites máximos permisibles.

En el estudio realizado por Enoc Jara y Peña titulada, "Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida* (Kunth) Trin. Ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quítense* kunth (Haloragaceae) evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú" (19). Tuvo como objetivo evaluar la acumulación de plomo, zinc, cadmio, cobre en las especies de *Calamagrosttis rigida* y *Myriophyllum quítense*. La mayor acumulación de cadmio fue obtenida en las raíces de *Calamagrostis rigida* procedente de la laguna Yuracmayo con un valor de 7,93 mg kg⁻¹ materia seca, así mismo la mayor acumulación de cobre se registró en *C. rigida* de la laguna Quiulacocha con 96,43 mg kg⁻¹ MS.

Las mayores concentraciones de plomo 160,15 mg kg⁻¹ MS y de zinc 597,40 mg kg⁻¹ MS fueron obtenidos en las raíces de *C. rigida* de la laguna Yanamate. En el caso de *Myriophyllum quítense* fue registrada solamente en la laguna Ticticocha y en sus tejidos se obtuvieron los menores valores de acumulación de cadmio, cobre, plomo y zinc a comparación con *C. rigida*, por lo tanto, esta especie sería considerada como una especie bioindicadora de contaminación del agua con metales pesados también se encontró una mayor acumulación de metales pesados en los tejidos de las raíces que en la biomasa aérea, por ello estas especies serían consideradas como fitoestabilizadoras de metales pesados. Las concentraciones de cadmio, cobre, plomo y zinc en el agua y en los sedimentos de las lagunas superaron los estándares ambientales nacionales de calidad de agua (19).

En la investigación realizada por Carranza Portocarrero, Adriana, titulada "Tratamiento de los lixiviados generados en la planta de residuos sólidos de Cajamarca con humedales artificiales de *Juncus balticus wild* (junco) y *Shoenoplectus californicus (totora)*" (20). El objetivo fue tratar los lixiviados de la planta de tratamiento de residuos sólidos de la ciudad de Cajamarca utilizando humedales artificiales de *Juncus balticus willd* (junco) y *Shoenoplectus californicus (totora)*. Al realizar el tratamiento del humedal con la especie *Juncus balticus willd*

(junco), se obtuvo un promedio de pH de 8,12; turbiedad de 6,17 NTU, conductividad de 2021,22 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DBO₅ de 600 mg/L, DQO de valores menores a 20 mg/L, sólidos totales suspendidos de 18,64 mg/L.

Por otra parte, en el tratamiento con la especie de *Shoenoplectus californicus* (totora), se obtuvo un promedio de pH de 8,67; turbiedad de 50,03 NTU, conductividad de 5467,78 $\mu\text{S}/\text{cm}$, demanda bioquímica de oxígeno de 104,44 mg/L, demanda química de oxígeno de 411 mg/L, sólidos totales suspendidos de 18,69 mg/L. En la investigación se determinó, que el humedal con mayor rendimiento fue en la que se utilizó la especie de *Juncus balticus willd* (junco) debido a que cuenta con un 89% de remoción de contaminantes, sin embargo, ambos pueden ser utilizados en el tratamiento de lixiviados (21).

En la investigación realizada por Muñoz Tello, Keyla y Pérez Vásquez, titulada “Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas” (22). Tuvo como objetivo estudiar cuál es la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas: *Juncus sp.* (junco), *Phragmites australis* (carrizo), *Typha dominguensis* (totora), *Chrysopogon zizanioides* (vetiver), *Cyperus papyrus* (papiro), en el cual se empleó la técnica de análisis documental, así mismo se determinó luego de estudiar todos los artículos seleccionados, los porcentajes de remoción de los siguientes parámetros: DBO₅, DQO, Sólidos Totales en Suspensión y Coliformes termotolerantes, mostrando los siguientes rangos globales de remoción: *Juncus sp.* 74,13% a 81,67%, *Phragmites australis* 67% a 89,5%, *Typha dominguensis* 93,57% a 96,77%, *Chrysopogon zizanioides* 88,09% a 91% y *Cyperus papyrus* 50,8%. Se concluyó de la investigación que la especie *Typha dominguensis* tuvo una mayor remoción de DBO₅ y DQO en el agua residual estudiada mediante el tratamiento de humedad artificial con un porcentaje de 99,2 y 99,80 respectivamente, de la misma manera presentó mayor porcentaje de remoción en Sólidos Totales en suspensión y coliformes termotolerantes obteniendo un porcentaje de 99,6 y 99,9 respectivamente. Por lo que se concluye que la especie más eficiente en remoción de contaminantes de las aguas residuales domésticas es la *Typha dominguensis*.

En la investigación realizada por Segura Delgado Paul, titulada “Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la especie macrófita emergente carrizo (*Phragmites australis*)” (23). “Tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción de los contaminantes presentes en el lixiviado del relleno sanitario de Jaquira. El muestreo de parámetros se realizó en diferentes tiempos de retención de 5, 10 y 15 días para ambas concentraciones.

Luego del tratamiento se obtuvieron los siguientes resultados de los análisis que mostraron las diferencias antes y después del tratamiento en los parámetros microbiológico y físico químicos, se precisó eficiencias de remoción en 79%, 59%, 57% para DBO₅; 85%, 99%, 99,9% para coliformes termotolerantes en los tiempos de 5, 10, 15 días respectivamente en la concentración de 1%, asimismo se alcanzó 86%, 81%, 39% para DBO₅; 99%, 99%, 85% para coliformes termotolerantes en los tiempos de 5, 10, 15 días correspondientemente en la concentración al 3%. Por lo tanto se concluyó que existe eficiencia de remoción de contaminantes físico químicos y microbiológicos de lixiviados diluido con agua residual mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, demostrando ser una alternativa viable y sostenible para el ambiente” (23).

En la investigación realizada por Aranda Saboya, Gloria titulada “Eficiencia de las macrófitas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y repollo de agua (*Pistia stratiotes*) en la remoción de nutrientes en las aguas contaminadas de la laguna Ricuricocha por los efluentes de la ganadería del Águila– Morales- San Martin, 2019” (2). “Se planteó como objetivo determinar la eficiencia de las especies macrófitas en la remoción de nutrientes en las aguas contaminadas de la laguna Ricuricocha. Para lo cual se utilizó un diseño experimental, tipo factorial 2x3 con dos factores, el factor físico químico y microbiológico; y el factor macrófitas con 2 especies diferentes evaluadas con 3 repeticiones. Siendo las variables dependientes las Coliformes fecales, DBO₅, DQO, fosforo, Nitrógeno, color, pH y turbidez. La eficiencia de remoción de los parámetros físico químicos por tratamiento T1: Jacinto de agua y T2: Repollo de agua fueron; Nitrógeno 12,3% y 5,5%, Fosforo 9,1% y 3,6%, pH 26,8% ambos, color 41,2% y 3,9%, turbidez 20,8% y 12,8%, el DBO₅ fue 11,2% y 403,5% (sobre el nivel inicial), el DQO, fue del 17,6%, y 222% (sobre el nivel inicial). De acuerdo a los resultados obtenidos se puede

evidenciar que existe una mayor eficiencia de remoción por parte del Jacinto de agua en comparación al repollo de agua, en los parámetros de Coliformes fecales, DBO₅, DQO, color, fosforo, nitrógeno y turbidez. Siendo el parámetro del pH el único en la cual presentan igual eficiencia de remoción para las aguas de la laguna Ricuricocha” (2).

2.1.3. Antecedentes locales

En la investigación realizada por Walter Cuadrado Campo, titulada “Evaluación de la planta *Scirpus californicus* (Totora) en la eficiencia de remoción de fierro en un prototipo de humedal construido de flujo superficial” (24). Se planteó como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de fierro con la especie *Scirpus californicus* en un prototipo de humedal construido de flujo superficial, debido al efecto de los metales en las cadenas alimenticias, provocando un efecto de bioacumulación entre los organismos de la cadena trófica. “La metodología de investigación residió en la construcción de un humedal construido de flujo superficial de 1 x 2 x 0,9 metros. La evaluación se llevó a cabo durante 12 días con el análisis de la raíz-rizoma, tallo sumergido y tallo aéreo previo lavado con agua destilada, además se analizó la disminución del fierro de la solución con el método de análisis por absorción atómica y el pH.

Se concluye que la remoción de fierro en la solución fue desde 5,00 mg/L hasta 2,64 mg/L debido a la absorción de la planta con 47,20%. El pH inicial fue de 3,90 el cual indica que el medio acuoso es ácido y evoluciona en forma ascendente hasta el orden de 4,36 indicándonos una tendencia del medio acuoso a neutro. La absorción de fierro por la planta *Scirpus californicus* (totora) alcanzó la mayor absorción por la raíz-rizomas con 1684,44 mg/kg seco, seguido por el tallo sumergido 325,14 mg/kg seco y en menor cantidad en el tallo aéreo con 171,30 mg/kg seco” (24).

En la investigación realizada por Chagua Orosco, Roger titulada “Evaluación de remoción de Cobre Y Zinc por la planta nativa *Scirpus Californicus* (Totora) en la comunidad de Pomachaca – Tarma” (25). Tuvo como objetivo evaluar la influencia del tiempo de contacto en la capacidad de remoción de cobre y zinc por la especie nativa *Scirpus Californicus* (Totora). El estudio se realizó por duplicado durante 15 días evaluando las muestras de agua cada 3 días, en tres etapas: La primera etapa

consistió en la caracterización del agua donde se obtuvo un pH de 7,98 y temperatura de 13,76 °C, se determinó los metales presentes en el agua los cuales fueron: cobre, fierro, plomo y zinc.

La segunda etapa consistió en el análisis físico químico del agua precisando el comportamiento de la temperatura en la remoción. Se obtuvieron diferencias entre la remoción de Cu y Zn por especie, consiguiendo una remoción de (5,00 a 0,93) ppm de Cu y de (5,00 a 2,13) ppm de Zn correspondientemente. Los resultados indicaron que la especie nativa *Scirpus Californicus* (Totora) tiene la capacidad de almacenar en su estructura elementos contaminantes como los metales, alcanzando para el Cu una remoción de 81,50% (P=0,000). Y para el Zinc una remoción de 57,50% (P=0,000), por lo tanto, se concluyó que hay una relación logarítmica entre el tiempo de contacto y porcentaje de remoción.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Lixiviados

Según “Environmental Protection Agency” los lixiviados se pueden definir como cualquier líquido que se filtra por medio de los residuos almacenados y se generan en el interior de un relleno sanitario. Son productos de la degradación de los residuos, cuando los líquidos empiezan a infiltrarse es representando como una grave amenaza para el ambiente como son el suelo y agua superficiales y subterránea (26).

Los lixiviados son respuesta a la desintegración de las fracciones orgánicas de los sólidos que se encuentran interactuando por la infiltración de la lluvia por el almacenamiento de los residuos conteniendo altas concentraciones de compuestos orgánicos, metales pesados, nitrógeno amoniacal y sales. Su composición química depende de varios factores como el clima, edad del relleno, la naturaleza química o física y geológica del terreno.

2.2.1.1. Generación de lixiviados

La composición del lixiviado dentro de un vertedero es única debido a que las características del lixiviado varían dependiendo a los

residuos de cada relleno sanitario. Según EPA, los principales factores que influyen la producción de lixiviados incluyen:

- Las condiciones meteorológicas del área cuerpos
- Composición de los residuos
- Densidad
- Edad
- Profundidad
- Sistema de cobertura

La generación de lixiviados es a partir de varios factores como es la vida útil, composición, diseño y operación, etapas de conversión bacteriológica, química y el contacto del efluente con el entorno.

2.2.1.2. Concentración de contaminantes

Los efluentes de relleno sanitarios son característicos por la presencia de concentraciones en DBO5 Y DQO.

Tabla 02. Concentración de contaminantes

Parámetro	1 año	5 años	15 años
DBO5	20000	2000	50
TKN	2000	400	70
Amonio-N	1500	350	60
SDT	20000	5000	2000
Cloruro	2000	1500	500
Sulfato	1000	400	50
Fosfato	150	50	-
Calcio	2500	900	300

Sodio y Potasio	2000	700	100
Hierro y Magnesio	700	600	100

Fuente: Elaboración propia

La variación de la composición de los lixiviados es notablemente temporal y específica, la concentración de contaminantes varía en orden de magnitud. Los metales pesados es una cuestión principal en el tratamiento y eliminación.

2.2.1.3. Concentración de metales pesados

Los metales pesados son una preocupación debido a su efecto adverso que produce al medio ambiente como son:

Tabla 03. Concentración de metales pesados

Metales	2 años	10 años
Hierro	500 – 1000	100 – 500
Calcio	500 – 1000	100 – 500
Magnesio	135	74 – 927
Arsénico	0,0135	0,0002 – 0,98
Cromo	0,06	0,005 – 1,9
Mercurio	0,006	0,0001 – 0,009
Plomo	0,063	0,005 – 1,6

Fuente: Elaboración propia

2.2.1.4. Características de los lixiviados

“Las características del lixiviado varían dependiendo de la edad, clima y composición de los residuos, usualmente se representa por los parámetros básicos de pH, DBO₅ y DQO, lo cual en la Tabla 04. Se detalla de acuerdo a los años de un relleno sanitario” (23) :

Tabla 04. Clasificación de lixiviados de rellenos sanitarios

	Reciente	Intermedio	Antiguo
Edad (años)	<5	5-10	>10
PH	<6,5	6,5 – 7,5	>7,5
DBO₅ (mg/L)	>10,000	4000- 10000	<4000
DBO/DQO	>0,3	0,1 – 0,3	<0,1
Metales pesados	Media - baja		Baja
N-NH₃ (mg/L)	<400	-	>400
Biodegradabilidad	Importante	Medio	Bajo

Fuente: Segura y Rocha, 2019

2.2.1.5. Tratamiento de lixiviados

Según Méndez, el tratamiento que se aplica a los lixiviados son métodos fisicoquímicos y biológicos, con la finalidad de prevenir la contaminación aguas subterráneas y superficiales. El tratamiento a los lixiviados es uno de los problemas más difíciles con el manejo de rellenos sanitarios, los lixiviados se producen cuando la lluvia se combina con los residuos.

“La flotación, coagulación, adsorción y filtración son los métodos fisicoquímicos comunes para el tratamiento de lixiviados. A su vez los tratamientos biológicos son utilizados para remover compuestos biodegradables. Determinar un tratamiento a los lixiviados es fundamental ya que se busca evitar la potencial contaminación de las aguas subterráneas” (27).

2.2.2. Procesos biológicos

Debido a su bajo costo y fácil manejo el tratamiento biológico es común para la eliminación de concentraciones de DBO5 para los lixiviados, además que se ha demostrado que es eficaz para la eliminación de materia orgánica.

2.2.2.1. Fitorremediación

“La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. En la fitorremediación se utiliza plantas con la función de remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes, se ha podido identificar que diversas especies tienen una gran capacidad para acumular metales pesados de los cuales reciben el nombre de *Hiperacumuladoras*, por lo cual este tipo de especies deben acumular al menos 100 ug/g de Cd y As; 1000 ug/g de Co, Cu, Cr, Ni y Pb y 10000 ug/g de Mn” (23).

Es el proceso que estimula a las plantas a metabolizarse, absorber y degradar los contaminantes o materia orgánica, la función de absorción se da por medio de sus raíces que es el paso de ingreso, todo este sistema de absorción comienza con el contacto del sistema radicular que es el término referido al nacimiento de la primera raíz, una de las dificultades que presentaría es que los iones metálicos sean preponderantes pues a mayor tamaño, mayor sería el atravesar las membranas celulares.

La fitorremediación son plantas y microorganismos asociados para eliminar partículas sólidas de suspensión, nutrientes contaminantes o bacterias fecales, es una nueva tecnología que depura las aguas contaminadas, transformándolas en sustancias menos tóxicas por medio de los pelos absorbentes de la raíz, así volviéndose una tecnología más sustentable para el ambiente.

La fitorremediación son mecanismos depuradores propios de las plantas en otros casos también de la carga microbiana, en el proceso de depuración, uno de los sistemas de fitorremediación son los humedales que comprenden los sustratos orgánicos, las plantas emergentes y su emergentes son utilizadas para el tratamiento de

aguas residuales. La eficiencia de la remoción de la materia orgánica dependerá especialmente de la especie de la planta, la estación, el lugar donde estas son nativas y el contaminante a remover.

2.2.3. Sistemas naturales

Los humedales son zonas donde el agua es el principal factor para controlar del medio, de la vida vegetal y animales asociados a él, el humedal se da donde la capa freática se halla en la superficie terrestre o cerca de ella donde la tierra está cubierta por aguas pocas profundas. Además, que por humedales se entiende como “las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de aguas, sean estas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saldas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”

Por otra parte, los humedales artificiales son procesos fisicoquímicos y microbiológicos que existen de forma natural. Para el tratamiento de lixiviados, tiene la facilidad de ser sistemas con un mantenimiento simple que alcanza diferentes niveles de procesos de depuración.

2.2.3.1. Humedales artificiales

“Son sistemas de Fito - depuración de aguas residuales, es un sistema donde se comprende grava impermeabilizada donde se plantan y desarrollan cultivos de macrófitas enraizadas. Son sistemas no convencionales que dependen de procesos microbiológicos, biológicos, físicos y químicos para la depuración de aguas residuales y que implica bajos costos con una operación y mantenimiento apropiado” (28).

Los humedales artificiales son una opción para tratar lixiviados para rellenos sanitarios, teniendo la facilidad de manipulación para

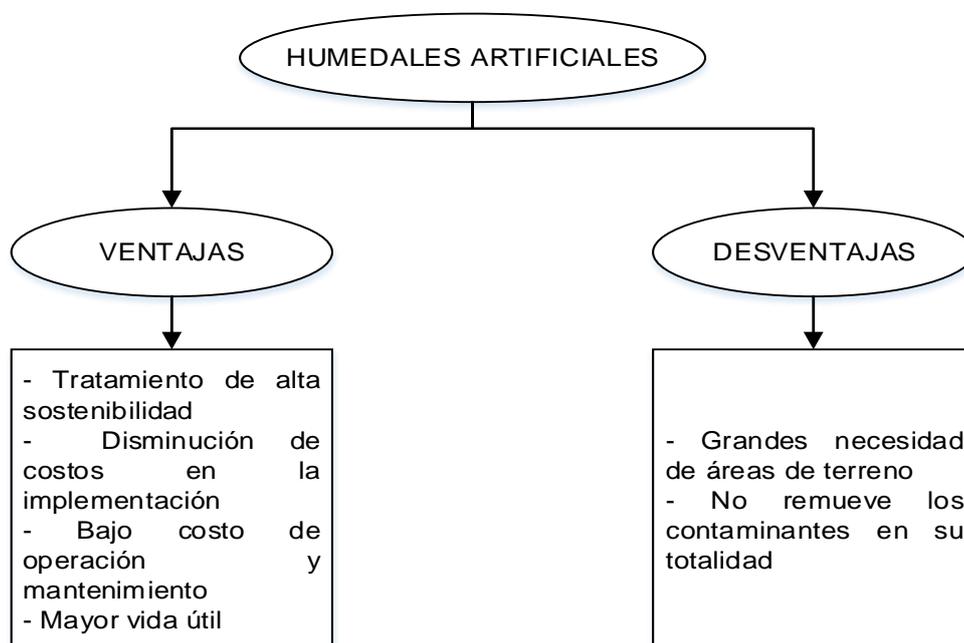
obtener un tratamiento adecuado a los lixiviados, los cuales logran remover contaminantes.

“Los humedales artificiales son mecanismos similares a los humedales naturales es por eso que se crean en condiciones anaeróbicas o aeróbicas. Se clasifican dependiendo del flujo con el que se trabaje, flujo su superficial y superficial o libre. Sus principales componentes son; agua, lecho filtrante, flora y microorganismos” (29).

Los humedales construidos correctamente logran remover contaminantes, principalmente tiene alta efectividad en la descontaminación de los recursos hídricos.

Las ventajas y desventajas de los humedales artificiales son:

Figura 01. Ventajas y Desventajas de los humedales artificiales



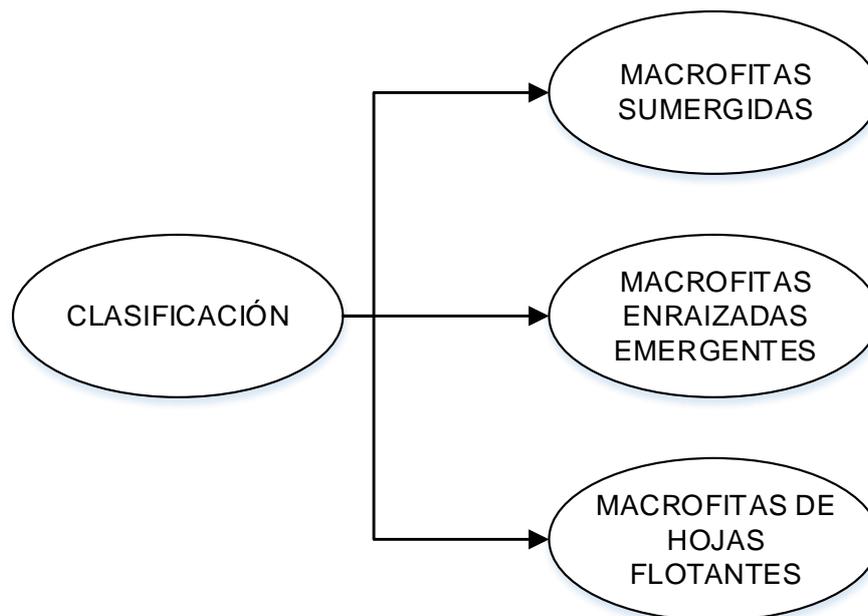
Fuente: Elaboración propia

2.2.3.2. Humedales artificiales de flujo superficial

“Es donde la circulación del fluido por medio de los tallos de la vegetación está en contacto directo con el ambiente, pueden implementarse en zonas turísticas y en lugares de investigaciones multidisciplinarias, por las complejas interacciones biológicas que se generan y establecen es por ello que este sistema es recomendado debido a su capacidad de albergar múltiples especies” (30).

Consiste en canales con la superficie del agua expuesta a la atmósfera y el fondo constituido por suelo relativamente impermeable, vegetación emergente y niveles de agua poco profundos que oscilan entre 0,1 y 0,6 metros. El tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación.

Figura 02. Clasificación de los humedales artificiales



Fuente: Elaboración propia

- **Sistemas con macrófitas flotantes**

“Los sistemas con macrófitas flotantes están formados por grandes lagunas con el nivel de agua baja, que las plantas macrófitas flotan en la superficie, estos sistemas son eficaces para la eliminación de nitrógeno y fósforo, pero para aumentar la

capacidad fitorremediadora se debe asegurar las condiciones aeróbicas necesarias para el control biológico de insectos es por eso que se emplea el sistema de aireación” (30).

- ***Sistemas con macrófitas sumergidas***

“Compuestos por lagunas con bajo nivel de agua y plantadas con plantas macrófitas cuyo tejido fotosintético está totalmente sumergido. Estas plantas solo crecen bien en aguas que contienen oxígeno disuelto. Las especies sumergidas por lo general resultan adecuadas en los sistemas de depuración debido a la baja productividad en aguas residuales, es por ello que se encuentran combinados con otras plantas, son un poco sensible a la luz y concentraciones de sólidos en suspensión elevados puede disminuir de manera importante su crecimiento” (31).

2.2.4. Metales pesados

“El metal pesado se refiere al tipo de elemento químico, de los cuales muchos de ellos son tóxicos para el ser humano, debido a que presentan un mayor peligro al ambiente por su uso extensivo, toxicidad y amplia distribución. Cada uno de los metales pesados se distingue de los compuestos orgánicos tóxicos que totalmente no son degradables por lo que se acumulan en los sistemas ambientales, es por eso de su nivel de toxicidad. Son de densidades altas en comparación con otros materiales. En su mayoría son transportados a través del aire, gases o especies adsorbidas” (32).

2.2.4.1. Cobre

El cobre es un elemento que se encuentra presente en la naturaleza de manera natural, es esencial para el metabolismo de los seres vivos, pero en cantidad mínima ya que en grandes cantidades esta suele ser tóxico, está presente en los plaguicidas, industria maderable e industria minera.

2.2.4.2. Plomo

Según la OMS (2015) el plomo es un metal tóxico presente de forma natural en la corteza terrestre. Su uso generalizado ha dado lugar en muchas partes del mundo a una importante contaminación del medio ambiente, un nivel considerable de exposición humana y graves problemas de salud pública, es una sustancia tóxica que se va acumulando y afectando a diversos sistemas del organismo, con efectos especialmente dañinos en los niños de corta edad, no existe un nivel de exposición al plomo que pueda considerarse seguro.

2.2.4.3. Zinc

Los vapores provenientes de Zn o de sus sales ocasionan la irritación pulmonar. Los datos histopatológicos en defunciones por inhalación de $ZnCl_2$ son edema pulmonar y daño en las vías respiratorias. Los síntomas generados son clorosis y crecimiento reducido de la planta, actúa inhibiendo la fijación de CO_2 .

2.2.5. Vegetación

Existen plantas de varias especies y formas de enraizarse en el medio de soporte, entre los más importantes oficios se encuentran el suministro de oxígeno, la absorción de nutrientes, la relación simbólica que se establece con las bacterias presentes y la filtración de contaminantes.

La importancia de la variedad de especies de plantas acuáticas que se usen, radica en que estos juegan un papel importante en su capacidad de descontaminación del agua residual, en la eliminación de contaminantes específicos, de compuestos y de sustancias con potencial tóxico, como metales pesados.

2.2.5.1. Criterios de selección de especies en humedales artificiales

La selección de las especies en el humedal artificial se lleva a cabo considerando su función estética y capacidad para remover contaminantes como:

- Tolerancia a los niveles de sedimentos y calidad del agua
- Adaptabilidad al medio de soporte con concentración mineral
- Profundidad de la raíz
- Resistencia a un amplio intervalo de temperatura
- Tolerancia a exposición
- Resistencia a concentraciones variables de contaminantes
- Sencillez de manipulación
- Facilidad de propagación
- Facilidad de mantenimiento

2.2.6. Fisiología depuradora del tejido vegetal

El recurso hidrobiológico es primordial para la supervivencia, desarrollo y reacción metabólica de las plantas, es necesario conocer cómo se transporta el agua dentro de las plantas y su nivel de depuración de aguas residuales. Las plantas tienen membranas que actúan como absorción, transporte y eliminación en forma de vapor de agua, los rayos solares son una fuente de energía que da el proceso de transpiración de las plantas. Siendo sus cutículas u ostiolo la hoja un medio de evaporización.

La planta está constituida por un sistema radicular, se le llama así a la primera membrana de raíz naciente, las que actúan captando agua, nutriente y minerales por sus pelos absorbente, hasta que dejen crecer y son reemplazados por los radicales que son raíces secundarias y teniendo el mismo funcionamiento que el sistema radicular.

Los sistemas de tejidos vegetales tienen diversas funciones una de ellas es el tejido dérmico recubren el exterior de la planta, raíces, hojas y tallos para el crecimiento secundario donde la epidermis produce una sustancia cerosa llamada cutícula, la que impide la pérdida de agua.

La fotosíntesis ayuda a la respiración de la planta donde los azúcares sintetizados son oxidados generando el CO₂ y H₂O, la respiración de las

plantas también es de uso interno y externo según los factores de temperatura pues afectan las actividades enzimáticas.

2.2.7. Macrófitas

Son aquellas plantas que pueden vivir en terrenos inundados por largos periodos de tiempo, cuyo porte puede alcanzar una cierta importancia dependiendo del poder nutricional del medio en que se encuentren. El crecimiento de las macrófitas depende de las raíces generalmente tiene función de anclaje ya que la absorción de agua y nutrientes se realiza por el tallo y hojas. El color de hojas en su mayoría presenta diversas morfologías, tonalidades verde – cremosas y adaptadas funcionalmente para sobrevivir en medios acuáticos.

2.2.7.1. Categorización

- ***Las macrófitas emergentes***

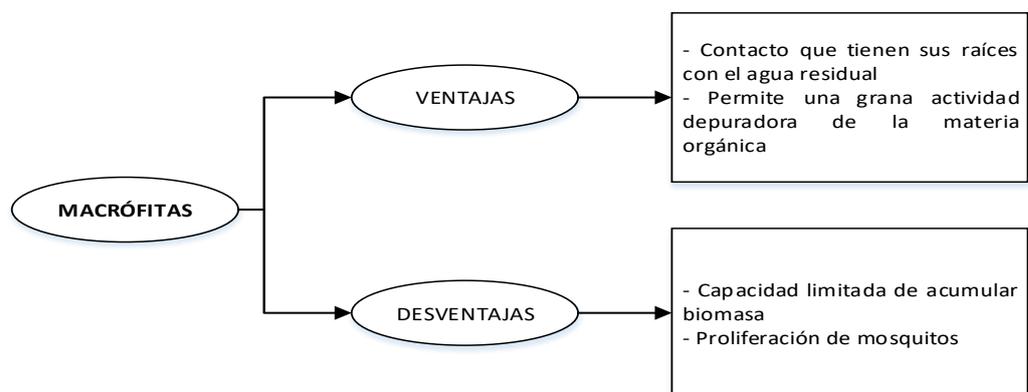
Las macrófitas emergentes presentan las porciones basales bajo las superficiales del agua y desarrollan sus estructuras reproductivas en fase aérea, además se caracterizan por su gran capacidad de fotosíntesis y crecimiento. Crecen en suelos saturados de agua o sumergidos desde donde el nivel freático está a unos 0,5 m al interior de la superficie del suelo hasta donde el sedimento se cubre con aproximadamente 1,5 m de agua.

- ***Las macrófitas sumergidas***

“Las macrófitas sumergidas alcanzan el máximo nivel de adaptación acuática al desarrollar órganos fotosintéticos y reproductivos bajo la columna de agua. Alcanzan el máximo nivel de adaptación acuática al desarrollar órganos ocurren en todas las profundidades dentro de la zona freática ocurren solo hasta aproximadamente 10 m de la altura del agua y las macro algas no vasculares

ocurren hasta el límite inferior de la zona freática. Las macrófitas sumergidas muestran menor velocidad de productividad que los otros dos tipos es debido a que bajo el agua la intensidad de la luz y la difusión del CO₂ son menores, pero pueden usar el CO₂ de otras fuentes tales como los carbonatos” (32).

Figura 03. Ventajas y desventajas de las macrófitas



Fuente: Elaboración Propia

2.2.7.2. Funciones de los macrófitas en humedales

A) Tejido de la planta aérea

- **Atenuación de la luz:** reducción de crecimiento
- **Influencia sobre el microclima:** Aislamiento durante el invierno
- **Disminución de la velocidad del viento:** Reducción del riesgo de re suspensión
- **Almacenamiento de nutrientes**

B) Tejido vegetal en el agua

- **Efecto de filtrado:** Expulsa residuos de gran tamaño
- **Reducir la velocidad de la corriente:** Aumentar la tasa de sedimentación, reduce el riesgo de re suspensión
- **Proporcionar un par de superficie para biopelículas adjuntas**

- **La excreción de oxígeno:** Aumenta la degradación aeróbica

C) *Raíces y rizomas en el sedimento*

- **La estabilización de la superficie del sedimento:** menos erosión
- **Evita que el medio de la obstrucción en los sistemas de flujo vertical**
- **La liberación de oxígeno aumento degradación**
- **La absorción de nutrientes**

2.2.8. *Myriophyllum quitense*

Figura 04. *Myriophyllum quitense*



Fuente: Foto tomada en la instalación del proyecto de investigación

- **Elevación (m.s.n.m.):** Altura minina 0 – Altura Máxima 4500
- **Familia:** Haloragaceae
- **Género:** *Myriophyllum*
- **Especie:** *Quitense*
- **Reino:** *Plantae*
- **Clase:** *Magnoliopsidaw*
- **Orden:** *Saxifragales*

La familia *Haloragaceae* deriva del griego halo: *sal* y *rax*, debido a que crece cerca del litoral marino y produce frutos similares, dicha familia

está formada por hierbas acuáticas y terrestres, de distribución cosmopolita, con seis géneros y 120 especies.

El género *Myriophyllum* proviene del griego *myrios*: diez mil y *phyllon*: hoja. Son plantas perennes, sumergidas y enraizadas. Este género incluye aproximadamente 68 especies según Angiosperm Phylogeny Group II de 2003. Es cosmopolita porque se le puede encontrar en zonas templadas a los trópicos. Las especies sudamericanas son típicamente acuáticas.

La especie *Myriophyllum quítense*, este nombre hace referencia a los Andes de Quito, Ecuador. Son plantas herbáceas, acuáticas, sumergidas y flotantes, enraizadas, perennes, formando grupos densos. Los tallos son de longitud variable, huecos, casi transparente a veces semi - leñosos. Las hojas están en verticilos y se ven 4 o 5 al mismo nivel, miden hasta 1,5 cm de largo, las hojas sumergidas tienen muchas divisiones y son delgadas como hilos, las hojas emergentes son enteras de color verde amarillo.

- Hojas:

Hojas Sumergidas: pinnatisectas, pinnas cortas o alargadas hasta filiformes, longitud variable 4 – 5 verticiladas

Hojas intermedias: pinnatisectas o pinnatífidas o simples de márgenes dentados o enteros, hipsofilos 4 – 5 verticilados, 4 – 10 mm longitud, 3-4 mm latitud, verde – amarillas, pálidas, frecuentemente manchadas de carmín – difuso, ovadas, elíptico – lanceoladas u oblongo – elípticas.

- Flores:

Hermafroditas, bibracteoladas, bractéolas, lineares, ligeramente asimétricas. Membranáceos, rígidas, margen 3 – 5 aserrado, ápice agudo hasta apiculado, amarillo – verdosas, pálidas 1,5 – 2 mm longitud; 0,3 – 0,4 mm latitud, glabras.

- Tubo de cáliz

Infundibuliforme, hasta cónico, levemente pediculado, lóbulos del cáliz 4, márgenes dentados, lineares, ápice agudo, 0,6 mm longitud, 0,25 mm latitud.

- Distribución:

Myriophyllum quitense puede tolerar aguas calcáreas y salobres. En América del Sur se encuentra más a menudo en hábitats elevados de aguas frías, donde se considera un indicador de sistemas eutróficos. Su distribución geográfica abarca el oeste de Sudamérica, restringida a los Andes de Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina.

Además, su distribución es en los lagos, lagunas y depósitos de agua dulce de las partes altas de la cordillera andina, como en las lagunas alto andinas de la cuenca del Mantaro.

En las lagunas Pomacocha y Habascocha se encuentra *Myriophyllum quitense*, cuyo origen glacial es similar al de la *amyria* de lagunas alto andinas esta ubicada en la cuenca alta del río Comas, distrito de Comas, en las alturas de la provincia de Concepción, departamento de Junín, a altitudes entre 4350 y 4550 m.s.n.m., cercanas al centro poblado Pampa – Corral. El territorio está situado entre las coordenadas 11°45´ - 11°48´S y 75°12´ - 75°15´W y tiene una extensión superficial estimada de 9 km², con una biotemperatura media anual de 6°C y una media anual mínima de 3,8 °C, el promedio máximo de precipitación total por año es de 1254,8 mm y el promedio mínimo de 584,2 mm.

La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el agua, compuestos orgánicos es por eso que presenta un panorama de las diversas técnicas fitocorrectivas empleadas para restaurar efluentes contaminados.

2.2.9. *Elodea densa*

Figura 05. *Elodea densa*



Fuente: Foto tomada en la instalación del proyecto de investigación

- **Familia:** *Hydrocharitaceae*
- **Género:** *Egeria*
- **Especie:** *Densa*
- **Reino:** *Plantae*
- **División:** Angiospermae
- **Orden:** *Alismatales*

- **Descripción**

Es una planta acuática, crece en aguas de hasta 4 m de profundidad, con tallos conductores de 2 m o más de longitud, produciendo raíces a intervalos a lo largo de ellos. Hojas en grupos de cuatro a ocho, de 1 - 4 cm de largo y 2 – 5 mm de ancho, con un ápice agudo. Es dioica: plantas con flores masculinas y plantas con flores femeninas, las flores de 12 – 20 mm diámetro, con tres pétalos anchos, blancos y redondeados de 8 – 10 mm de largo de plantas macho y de 6 – 7 mm de largo en plantas femeninas. Temperatura entre 15 – 22 °C, vive en aguas estancadas o con escasa corriente.

Se enraíza con facilidad a través de raíces adventicias que pueden alcanzar en los terrenos adecuado a 3 y 4 metros de longitud. Su tallo es simple, de sus intersecciones salen raíces adventicias, dependiendo de la profundidad y las condiciones acuáticas es capaz de desarrollar tallos de gran vigor con hojas firmes y robustas, la coloración y textura de las hojas varía en

función de las condiciones del hábitat, pero en general son hojas verdes que el verde brillante.

Emplea una fórmula para evitar la auto fertilización que consiste en generar individuos dioicos, hembras y machos. Sus flores masculinas son solitarias y se desprenden antes de abrirse con lo que ascienden a la superficie. Las flores masculinas son de color blanco alcanzando los 10 mm de tamaño.

Robusta planta acuática que crece en largos cordones separados por verticilos foliares dispuestos a lo largo de los tallos, con hojas dispuestas en roseta muy apretadamente concentradas, de color verde intenso. A cualquier altura de los tallos pueden emerger raíces adventicias que se dirigen rápidamente hacia el fondo.

Su crecimiento y brotación son de una rapidez pasmosa, colonizando tantos hábitats naturales como estanques o acuarios, llegando a formar auténticas madejas por lo que ha sido considerada como mala hierba.

- *Reproducción*

Se produce espontáneamente mediante emisión de brotes e hijuelos adventicios durante los meses cálidos y soleados del año. Las nuevas plántulas pueden desgajarse artificialmente a partir de los 10 o 12 cm de longitud del renuevo. También pueden cortarse tallos de una longitud aproximada de 25 cm. Se reproducen principalmente por fragmentación, pudiendo invadir grandes áreas.

- *Distribución*

La *Elodea* es una planta originaria de las aguas templadas en Sudamérica, a su vez se encuentra en los lagos que son artificiales o también en los naturales, en las fuentes de ciertas plazas, prefieren las aguas estancadas de curso lento, apareciendo en ríos, pantanos o lagunas.

2.2.10. Mecanismos de remoción de contaminantes

La descontaminación en los humedales se consigue a través de diferentes complejos procedimientos fisicoquímicos y biológicos. Las plantas cumplen un rol primordial, debido a que facilita una superficie y un entorno adecuado tanto para el desarrollo de los microorganismos como para la filtración.

Tabla 05. Mecanismos de eliminación de contaminantes en humedales artificiales

Componentes de las aguas residuales	Mecanismos de remoción
Sólidos en suspensión	Sedimentación Filtración
Orgánicos solubles	Degradación microbiana aeróbica Degradación microbiana anaeróbica
Fósforo	Adsorción de la matriz Absorción por la planta
Nitrógeno	Amonificación seguida por nitrificación microbiana Des nitrificación Absorción por la planta Adsorción de la matriz Volatilización del amoníaco
Metales	Adsorción e intercambio catiónico Complicación Precipitación Absorción por la planta Oxidación

Fuente: Elaboración propia

El humedal artificial por medio de la filtración y sedimentación remueve de forma positiva los sólidos en suspensión, como adherido, es encargado de la eliminación de componentes orgánicos solubles, que son descompuestos biológicamente, de forma anaeróbica como aeróbica. La degradación aeróbica requiere de oxígeno, lo cual es brindando de manera directa desde la atmosfera por difusión o por liberación desde las raíces de las plantas hacia la rizosfera; sin embargo, la transmisión de oxígeno desde raíz es mínima.

La eliminación del nitrógeno en los humedales artificiales se da mediante mecanismos que constan de la nitrificación volatilización, momificación, absorción o la vegetación y a la adsorción de la matriz. El mecanismo de remoción más importante en gran parte de estos sistemas es la nitrificación es la nitrificación microbiana

2.2.11. Biorremediación y fitrodepuración

“Es importante conocer la biorremediación y fito depuración con el uso de macrófitas, las cuales se describen como la biorremediación con plantas macrófitas al proceso para retornar un medio ambiente alterado por contaminantes a su condición natural mediante el empleo de la biorremediación se puede atacar contaminantes. La fito depuración es la técnica de purificación caracterizada por el tratamiento de tipo biológicos en el cual las plantas, creciendo en agua saturada de nutrientes, desarrollan un papel clave y directo sobre las bacterias que colonizan el sistema de raíces al rizoma” (2).

2.2.12. Evaluación de remoción de nutrientes.

Se toma las siguientes dimensiones e indicadores:

- Cantidad: Es todo aquello que es medible y susceptible de expresar numéricamente, y es capaz de aumentar o disminuir como el volumen de eliminación que hace referencia a la magnitud que se eliminara de nutrientes al momento de experimentar con las macrófitas; el destino de las aguas residuales es la dirección con la

que estarán las aguas residuales a través de la eficacia de las plantas macrófitas eso quiere decir si se disminuirán.

- **Frecuencia:** Se indica la frecuencia que es constante a la repetición de un hecho, es decir de la remoción de los nutrientes el número de veces que se repite el proceso durante un tiempo establecido. Eliminación diaria, que hace referencia a través de las plantas macrófitas, se debe conocer cada cierto tiempo se da la eliminación de los nutrientes; las sustancias que se desalojan con el agua que es importante conocer que sustancias se desalojan al momento de conocer la eficiencia de las plantas macrófitas.

2.3. Definición de términos

- **Relleno Sanitario:** Instalación destinada a la disposición sanitaria de los residuos sólidos en la superficie o bajo tierra.
- **Lixiviado:** Es el fluido que se filtra a través de los vertederos que se genera a partir de los líquidos que están presentes en los desechos y el agua exterior que puede provenir de precipitaciones que es filtrado por los desechos.
- **Macrófitas:** Son plantas, vegetación acuática.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica, cantidad de equivalentes de oxígeno consumidos en la oxidación química de la materia orgánica por oxidante fuerte.
- **Demanda Biológico de Oxígeno (DBO5):** cantidad de oxígeno disuelto que necesitan los organismos biológicos aeróbicos en un cuerpo de agua para descomponer el material orgánica presente en una muestra de agua.
- **pH:** Se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno. Se utiliza para medir el grado de acidez, o alcalinidad de una solución en el agua.
- **Metales pesados:** Grupo de elementos químicos que no se descomponen y que no pueden cambiar de estado de oxidación.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

A) Método general de la investigación

El método general que se emplea para la investigación según Cegarra es hipotético deductivo este método tiene como enfoque emitir una hipótesis a cerca de las posibles soluciones al problema planteado y comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquellas (32). Esta investigación plantea evaluar el efecto fitorremediador de las especies vegetales *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* en la remoción de contaminantes del lixiviado del CEPASC – Concepción, 2021 de acuerdo con los parámetros químicos analizados.

B) Método específico de la investigación

El método específico de la investigación es experimental, debido a que las variables se controlan a nivel de laboratorio (32), donde se emplea el efecto fitorremediador de las especies vegetales *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* en la remoción de contaminantes de lixiviado.

3.1.2. Alcances de la investigación

A) Tipo de la investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque tiende a la resolución de problemas o al desarrollo de ideas a corto o medio plazo (32). Debido a ello en la investigación se buscó utilizar bases teóricas sobre fitorremediación con especies macrófitas en la remoción de contaminantes del lixiviado de rellenos sanitarios para solucionar un problema específico.

B) Nivel de investigación

La investigación es de nivel explicativo, porque están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales y en qué condiciones se manifiesta o porque se relacionan dos o más variables (33). Basado a ello la investigación fue de nivel explicativo porque el objetivo se encuentra en determinar el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la remoción de contaminantes del lixiviado.

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Tipo de diseño de investigación

La presente investigación hace uso de un diseño experimental puro donde se realiza una preprueba – posprueba y grupo de control, dado que se incorporó la administración de prepruebas a los grupos que componen el experimento y después se les aplica el tratamiento experimental, por último, se le administra simultáneamente un pos prueba con la finalidad de compararse los dos grupos. La investigación cuenta con 3 condiciones, cada una con 3 repeticiones y 3 unidades de control haciendo un total de 12 unidades experimentales (33). El diseño de diagrama se muestra en la tabla 06.

Tabla 06. Diagrama de diseño de la investigación

Condición 1 2%	01	X	02
Condición 2 3,3%	03	X	04
Condición 3 5%	05	X	06
Control	07	-	08

Fuente: Elaboración propia

C1 : Dilución al 2% del lixiviado
01 : Concentración inicial antes del experimento
X : Intervención de las especies (*Myriophyllum quítense* y *Elodea densa*)
02 : Concentración final después del experimento

C2 : Dilución al 3,3% del lixiviado
03 : Concentración inicial antes del experimento
X : Intervención de las especies (*Myriophyllum quítense* y *Elodea densa*)
04 : Concentración final después del experimento

C3 : Dilución al 5% del lixiviado
05 : Concentración inicial antes del experimento
X : Intervención de las especies (*Myriophyllum quítense* y *Elodea densa*)
06 : Concentración final después del experimento

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población de la presente investigación estuvo conformada por los lixiviados generados en la disposición final de los residuos orgánicos del relleno sanitario CEPASC, ubicada en el distrito de Concepción, provincia de Concepción y departamento de Junín.

3.3.2. Muestra

Para seleccionar unas unidades de muestreo se realizó un recorrido por relleno sanitario CEPASC y así se seleccionó una muestra de lixiviado en forma aleatorio simple con una cantidad de 4,5 L.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Área de estudio: El presente proyecto de la investigación se realizó a nivel de laboratorio en un domicilio ambientado para el desarrollo del proyecto.

- Distrito: Concepción
- Provincia: Concepción
- Departamento: Junín
- Coordenada Este: 465248,44
- Coordenada Norte: 8682365,10
- Altitud: 3 334 m.s.n.m.

- Procedimiento:

- Caracterización del lixiviado inicial

Se realizó un muestreo aleatorio simple en la poza de lixiviados del relleno sanitario del CEPASC - Concepción, de acuerdo al protocolo de monitoreo de la calidad de efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales, para conocer las condiciones iniciales del lixiviado, estos fueron colocados en frascos de plástico debidamente etiquetados y rotulados, para su posterior análisis de DQO, DBO5, pH y metales pesados (Pb, Cu, Zn) en el laboratorio de Ensayos Ambientales S.A.C., teniendo como resultados lo siguiente:

Tabla 07. Caracterización del lixiviado inicial

Parámetros	Expresión	Unidad	Resultados
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/L	2400
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO5	mg/L	793
Potencial de hidrógeno	pH	mg/L	6,76
Metales pesados	Pb	Mg/L	0,5189
	Cu	Mg/L	0,1107
	Zn	Mg/L	3,310

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenidos los resultados de laboratorio se procedió a recolectar una muestra de 4,5 L de lixiviado en bruto el cual fue diluido a diferentes condiciones al 2%; 3,3% y 5% para asegurar la subsistencia de las macrófitas en estudio.

- Preparación de la macrófitas

Las macrófitas fueron obtenidas de la laguna Pomacocha, ubicado en la provincia de Concepción y departamento de Junín, la selección de los ejemplares se realizó según las siguientes condiciones: Poseen una buena pigmentación, no presenten una anomalía en cualquiera de sus partes, sean especies jóvenes y poseen un sistema radicular abundante.

El número de especies fue determinado teniendo como base la investigación realizada por Santiago Mera Ponce (35), donde indica el orden de 10 especies por m²; de tal manera se realizó el cálculo, dando como resultado un máximo de 15 especies por el área de estudio. Para cada uno de los experimentos se utilizó 10 plantas, 5 por cada especie.

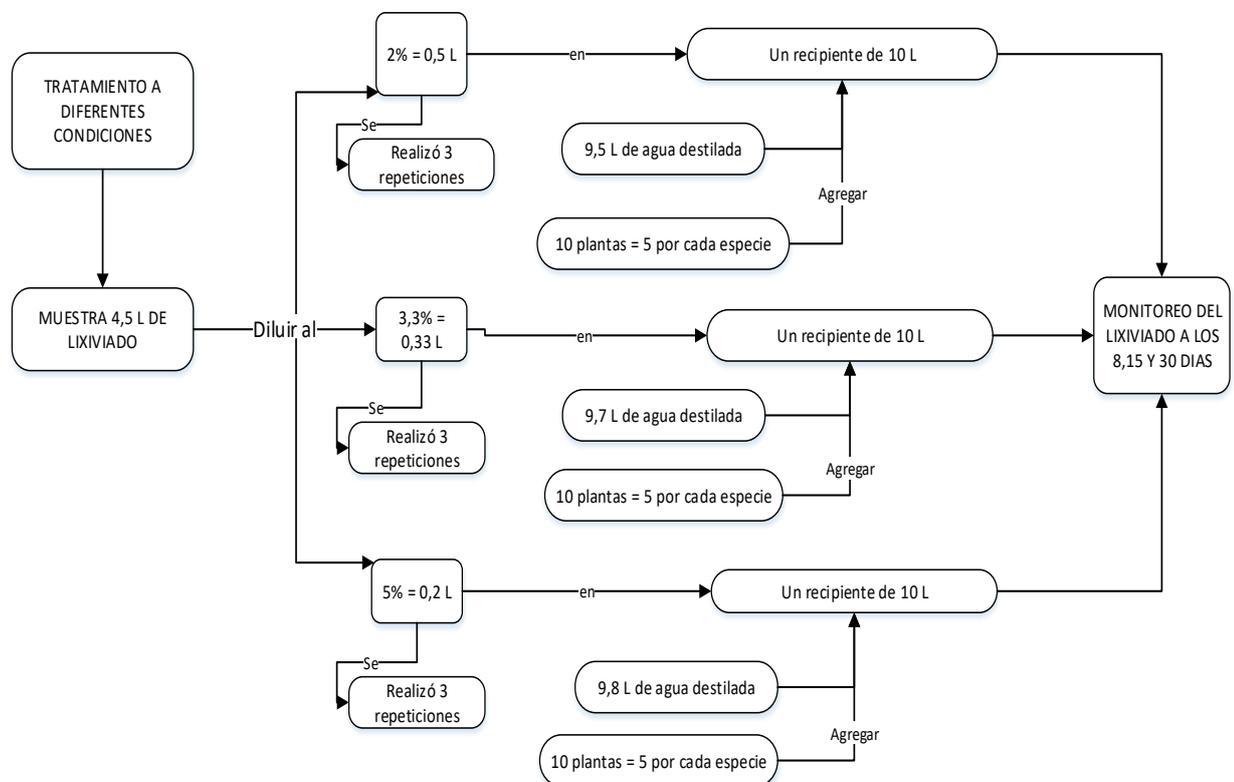
- Acondicionamiento:

Para el desarrollo del experimento se facilitó un espacio en forma rectangular que se ubica en un domicilio acondicionado en el distrito de Concepción, la estructura estuvo cubierta, lo cual nos permitió proteger las muestras por los medios ambientes y así no alterar las muestras. Se utilizó 12 recipientes rectangulares, con una medida de alto: 16,8 cm, ancho: 32 cm y profundidad: 42 cm con una capacidad de 15 L.

- Monitoreo del lixiviado

El monitoreo del lixiviado se realizaron durante un periodo de un mes a los 8, 15 y 30 días para conocer la capacidad de remoción de los contaminantes del lixiviados y la respuesta con el transcurrir del tiempo en las concentraciones de DQO, DBO5, pH, Pb, Cu y Zn. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Ensayos Ambientales S.A.C.

Figura 06. Diagrama de flujo del tratamiento del proceso de tratamiento



Fuente: Elaboración propia

3.5. Técnicas de análisis de datos

Al finalizar el experimento se sistematizaron los datos obtenidos; para cada dato de análisis se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk; si los datos demostraban una distribución normal se procedió a realizar el análisis T de Student para comparar datos iniciales con los finales; si los datos no presentaban distribución normal se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de información

4.1.1. Resultados de la concentración inicial del lixiviado.

Para determinar las características del lixiviado inicial y los parámetros que cumplan con la normativa, se realizó bajo los criterios especificados en los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales en el Decreto Supremo N°003-010-MINAM, como se muestra en la Tabla 08.

Tabla 08. Características de lixiviado, según Decreto Supremo N°003 – 2010 - MINAM

Parámetros	Expresión	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	100
Potencial de Hidrógeno	pH		6,5 – 8,5

Fuente: Decreto Supremo N°003-2010-MINAM

Se realizó los diferentes análisis a la muestra del lixiviado en un laboratorio para tener una línea de base en el desarrollo de la prueba. La Tabla 09 nos muestra el resultado inicial del lixiviado a diferentes condiciones.

Tabla 09. Resultados de los parámetros analizados del lixiviado a dilución de 2%, 3,3% y 5%.

Parámetros	Expresión	Unidad	Condiciones		
			2%	3,3%	5%
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	260,50	232,60	228,80
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO5	mg/L	195,25	167,10	155,30
Potencial de Hidrógeno	pH		6,74	6,69	6,61
Plomo	Pb	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001
Cobre	Cr	mg/L	<0,001	<0,001	<0,001
Zinc	Zn	mg/L	0,091	0,083	0,009

Fuente: Elaboración propia

Las concentraciones de DQO y DBO₅, metales pesados (Pb, Cu y Zn) son presentados en la tabla 10 y se encuentran en el informe de ensayo N°AL/IE-107-21 remitido por Ambiental Laboratorios S.A.C., Huancayo (ver anexo 11)

4.1.2. Efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración de contaminantes del lixiviado

Después de la aplicación de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* el análisis químico del laboratorio dio como resultado lo detallado a continuación:

- Demanda Química de Oxígeno

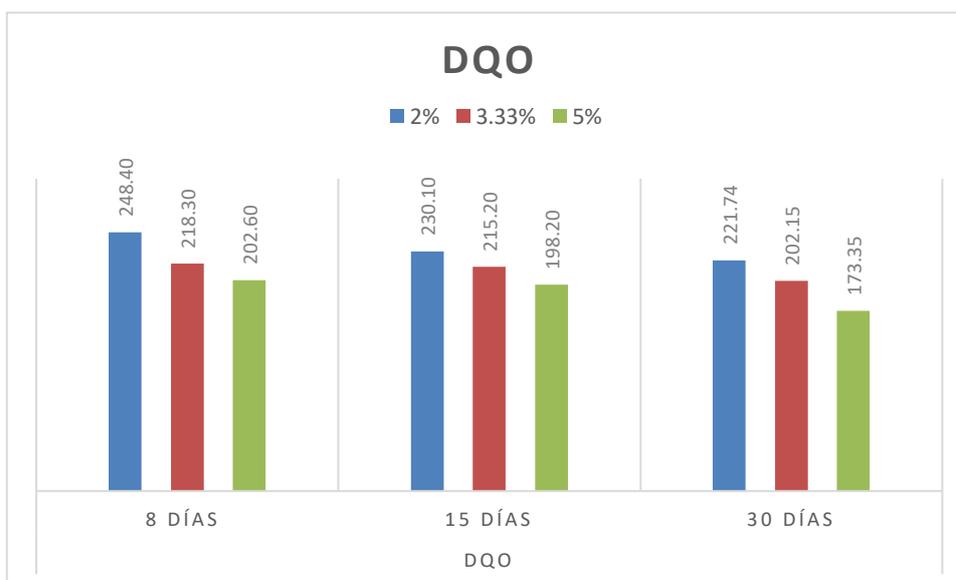
Las concentraciones de DQO presentados en la tabla 10, se encuentran descritos en el informe de ensayo N°120-21 y N°124-21, (Ver anexo 12).

Tabla 10. Resultado del análisis de DQO del lixiviado tratado a los 8,15 y 30 días

DQO				
CONDICIÓN	REPETICIÓN	8 días	15 días	30 días
2%	1	248.36	230.23	221.63
	2	248.43	229.97	221.87
	3	248.41	230.11	221.71
	PROMEDIO	248.40	230.10	221.74
3,3%	1	218.53	215.19	202.18
	2	217.91	215.24	202.14
	3	218.46	215.17	202.12
	PROMEDIO	218.30	215.20	202.15
5%	1	202.49	198.07	173.42
	2	202.71	198.39	173.25
	3	202.61	198.15	173.39
	PROMEDIO	202.60	198.20	173.35

Fuente: Elaboración propia

Figura 07. Remoción de Demanda Química de Oxígeno



Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la figura 07, los resultados obtenidos del DQO a una condición del 2% mostraron, a los 8 días una concentración de 248,40 mg/L, a los 15 días, 230,10 mg/L y a los 30 días, 221,74 mg/L presentando una ligera disminución. A una condición del 3,3% mostraron, a los 8 días una concentración de 218,30 mg/L, a los 15 días, 215,20 mg/L y a los 30 días, 202,15 mg/L. Finalmente a una condición

del 5% mostraron, a los 8 días una concentración de 202,60 mg/L, a los 15 días, 198,20 mg/L y a los 30 días, 173,55 mg/L. Los tratamientos realizados en el DQO mostraron una tendencia a disminuir, pero aún se encuentran fuera del rango de los límites máximo permisibles para el D.S. N°003-2010-MINAM, el cual indica un valor de 200 mg/L.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno

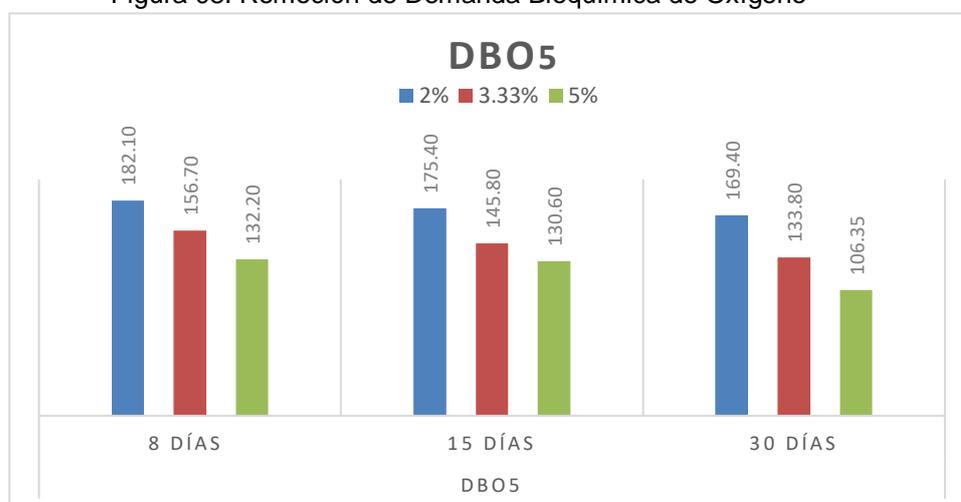
Las concentraciones de DBO5 presentados en la tabla 11 se encuentran descritos en los informes de ensayos N°124-21, N°125-21 y N°126-21 (Ver anexo 12).

Tabla 11. Resultados del análisis de DBO5 del lixiviado tratado a los 8, 15 y 30 días

DBO5				
CONDICION	REPETICION	8 días	15 días	30 días
2%	1	181.10	175.75	168.84
	2	183.13	174.76	169.75
	3	182.08	175.68	169.61
	PROMEDIO	182.10	175.40	169.40
3,3%	1	156.31	145.48	133.43
	2	157.36	146.42	134.39
	3	156.42	145.51	133.57
	PROMEDIO	156.70	145.80	133.80
5%	1	132.52	130.59	106.27
	2	131.58	130.63	106.41
	3	132.49	130.57	106.38
	PROMEDIO	132.20	130.60	106.35

Fuente: Elaboración propia

Figura 08. Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno



Fuente: ElFuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en la figura 08, los resultados obtenidos del DBO5 a una condición del 2% mostraron, a los 8 días una concentración de 182,10 mg/L, a los 15 días, 175,40 mg/L y a los 30 días, 169,40 mg/L presentando una ligera disminución. A una condición del 3,3% mostraron, a los 8 días una concentración de 156,70 mg/L, a los 15 días, 145,80 mg/L y a los 30 días, 133,80 mg/L.

Finalmente a una condición del 5% mostraron, a los 8 días una concentración de 132,20 mg/L, a los 15 días, 130,60 mg/L y a los 30 días, 106,35 mg/L. Los tratamientos realizados en el DBO5 mostraron una tendencia a disminuir, pero aún se encuentran fuera del rango de los límites máximos permisibles para el D.S. N°003-2010-MINAM, el cual indica un valor de 100 mg/L.

- Potencial de hidrógeno

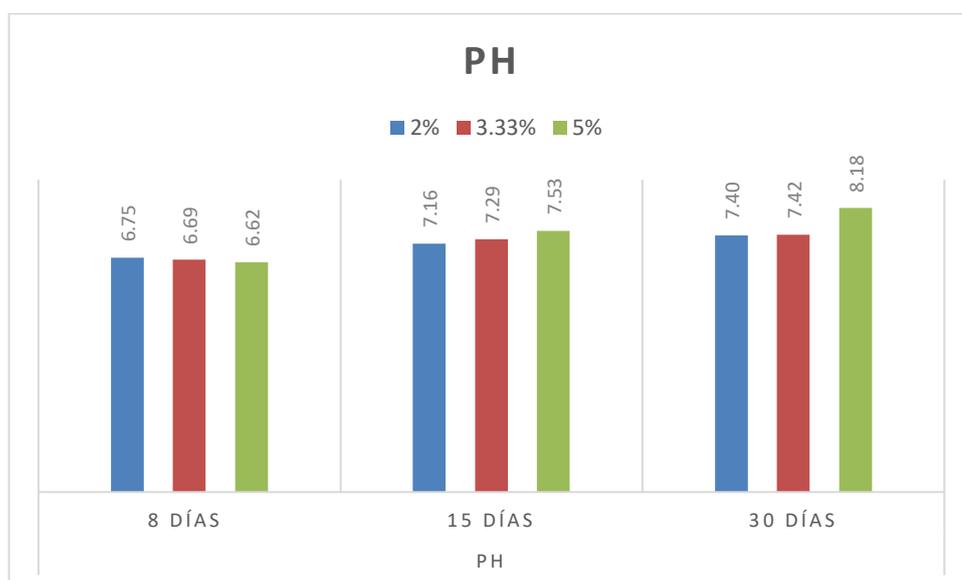
Las concentraciones obtenidas a las diferentes condiciones del 2%, 3,3% y 5% de lixiviado, se encuentran descritos en la tabla N°12.

Tabla 12. Resultado del análisis de pH del lixiviado tratado a los 8,15 y 30 días

CONDICIÓN	REPETICIÓN	pH		
		8 días	15 días	30 días
2%	1	6.79	7.20	7.41
	2	6.74	7.17	7.38
	3	6.72	7.12	7.42
	PROMEDIO	6.75	7.16	7.40
3,3%	1	6.75	7.32	7.45
	2	6.62	7.28	7.39
	3	6.71	7.27	7.43
	PROMEDIO	6.69	7.29	7.42
5%	1	6.65	7.57	8.21
	2	6.59	7.49	8.14
	3	6.63	7.52	8.19
	PROMEDIO	6.62	7.53	8.18

FuentFuente: Elaboración propia

Figura 09. Valores de pH obtenidos por los tratamientos a los 8, 15 y 30 días



Fuente: Elaboración propia

Tal como se observa en la figura 09 los resultados obtenidos del pH a una condición del 2% mostraron a los 8 días, 6,75 a los 15 días, 7,16 y a los 30 días 7,40. A una condición del 3,3% mostraron a los 8 días, 6,69 a los 15 días, 7,20 y a los 30 días 7,42. Finalmente a una condición del 5% mostraron a los 8 días, 6,62 a los 15 días 7,53 y a los 30 días 8,18.

El pH se incrementó respecto al valor inicial a condición ligeramente alcalino en las diferentes condiciones del lixiviado, por lo tanto, en comparación con los valores que establece el D.S. N°003-2010-MINAM; según los Límites Máximos Permisibles para el vertimiento al cuerpo de agua es de 6,5 a 8,5.

- Metales pesados

Las concentraciones de metales pesados se encuentran descritos en la tabla 13 se encuentran presentados en los informes de ensayos N°124-21, N°125-21 y N°126-21 (Ver anexo 12).

Tabla 13. Análisis de metales pesados (Pb, Cu y Zn) del lixiviado tratado a los 30 días

Metales pesados				
Condición	Repetición	Plomo 30 días	Cobre 30 días	Zinc 30 días
2%	1	<0.001	<0.001	<0.001
	2	<0.001	<0.001	0.012
	3	<0.001	<0.001	<0.001
	PROMEDIO	<0.001	<0.001	0.012
3,3%	1	<0.001	<0.001	<0.001
	2	<0.001	<0.001	<0.001
	3	<0.001	<0.001	<0.001
	PROMEDIO	<0.001	<0.001	<0.001
5%	1	<0.001	<0.001	<0.001
	2	<0.001	<0.001	<0.001
	3	<0.001	<0.001	<0.001
	PROMEDIO	<0.001	<0.001	<0.001

Fuente: Elaboración propia

Tal como se observa en la tabla 13 los resultados obtenidos en Plomo a una condición del 2%, 3,3% y 5% mostraron a los 30 días una concentración promedio de <0,001 respectivamente. En Cobre a una condición del 2%, 3,3% y 5% mostraron a los 30 días una concentración promedio de <0,001 respectivamente. Finalmente, en Zinc a una condición del 2% mostró a los 30 días una concentración promedio de 0,012, al 3,3%, <0,001 y al 5%, <0,001. No mostró ser significativo en la remoción de metales pesados del lixiviado, pero en el Zinc muestra una variación del inicial y final.

4.2. Prueba de hipótesis

Para la aplicación de la estadística se comparó individualmente los parámetros químicos (DQO, DBO5 y pH) con la concentración inicial de lixiviado. El análisis se

realizó de acuerdo al lixiviado a diferentes condiciones y los resultados obtenidos por cada factor estudiado.

A. Demanda Química de Oxígeno

Ha: El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* es significativa en la concentración del DQO del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

H0: El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* no es significativa en la concentración del DQO del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

- Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk:

H0: Los datos de la variable tienen una distribución normal.

H1: Los datos de la variable no tienen distribución normal.

Tabla 14. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para DQO

Prueba de Normalidad			
Shapiro - Wilk DQO			
	Estadístico	Gl	Sig.
DQO	,838	3	,210

Fuente: Elaboración propia

En la prueba de normalidad de la tabla 16, de acuerdo a Shapiro – Wilk (menos de 30 datos) donde de nivel de significancia $\alpha = 0,05 = 5\%$ donde el P – valor = 0,210 es mayor que $\alpha = 0,05$, entonces tienen una distribución normal. En tal sentido, se utilizará estadístico paramétrico T de Student de grupos relacionados (causal de un inicio y un final)

- T de Student de grupos relacionados

H1: La DQO inicial es mayor que la DQO final en la concentración del lixiviado

H0: La DQO inicial no es mayor que la DQO final en la concentración del lixiviado

Tabla 15. Prueba de muestras relacionadas para la DQO (antes y después)

		Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					t	Gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	INICIAL - FINAL	41,5533 3	12,73193	7,35078	9,92547	73,18120	5,653	2	,030

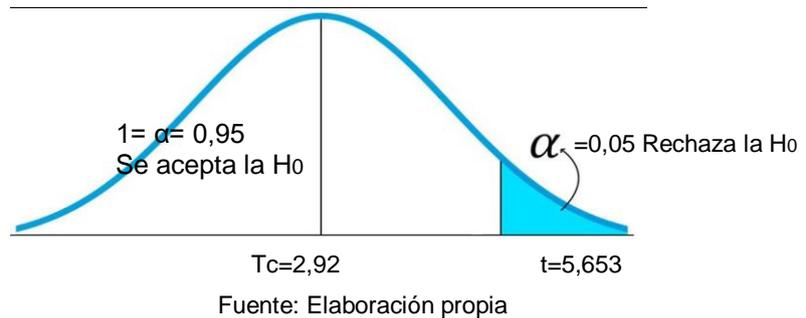
Fuente: Elaboración propia empleando SPSS

En la tabla 15 se observa que el valor de t es de 5,653, para 2 grados de libertad y una significancia estadística de 0,030, la cual es menor que 0,05, por lo que la DQO antes es diferente a la DQO final, los cuales son datos que se direccionan a la toma de una decisión de la hipótesis correspondiente al DQO.

- Decisión de rechazo de H0:

Para la decisión de la hipótesis, primero se coteja el valor crítico, lo cual es de 2,920 correspondiente a un límite donde la diferencia entre los valores se considera estadísticamente significativa, con un valor de t = 5,653 se toma la decisión de rechazo a la hipótesis nula.

Figura 10. Presentación gráfica de la prueba de hipótesis de DQO



El valor estadístico de $t=5,653$ es mayor que al valor crítico de prueba, entonces se puede concluir que se acepta la H_1 donde la DQO inicial es mayor que la DQO final en la concentración del lixiviado. Así mismo, se observa que el valor de significancia estadística es de 0,030, el cual es menor a la significancia de $\alpha=0,05$, por lo tanto, se ratifica el rechazo de la hipótesis nula.

Entonces existe suficientes pruebas para afirmar que el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* es significativa en la concentración del DQO del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021, con un nivel de confianza del 95%.

B. Demanda Bioquímica de Oxígeno

H_a : El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* es significativa en la concentración del DBO5 del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

H_0 : El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* no es significativa en la concentración del DBO5 del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

- Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk:

H_0 : Los datos de la variable tienen una distribución normal.

H_1 : Los datos de la variable no tienen distribución normal.

Tabla 16. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para DBO5

Prueba de Normalidad			
Shapiro - Wilk DBO5			
	Estadístico	Gl	Sig.
DBO5	,994	3	,858

Fuente: Elaboración propia

En la prueba de normalidad de la tabla 16, de acuerdo a Shapiro – Wilk (menos de 30 datos) donde de nivel de significancia $\alpha = 0,05 = 5\%$ donde el P – valor = 0,858 es mayor que $\alpha = 0,05$, entonces tienen una distribución normal. En tal sentido, se utilizará estadístico paramétrico de T de Student de grupos relacionados (causal de un inicio y un final)

- Prueba de T de Student

H1: La DQO inicial es mayor que la DQO final en la concentración del lixiviado

H0: La DQO inicial no es mayor que la DQO final en la concentración del lixiviado

Tabla 17. Prueba de muestras relacionadas para la DQO (antes y después)

Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas					T	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 INICIAL - FINAL	36,0333 3	11,79007	6,80700	6,74517	65,32150	5,294	2	,034

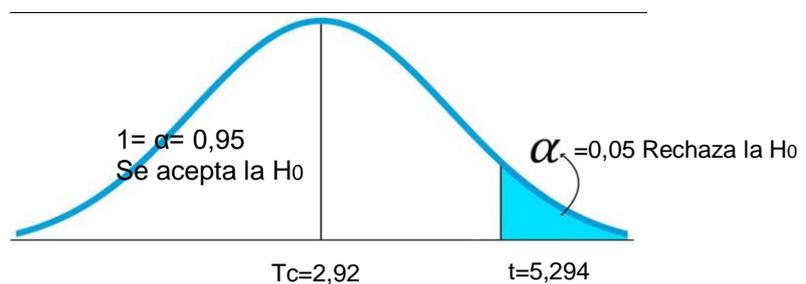
Fuente: Elaboración propia empleando SPSS

En la tabla 17 se observa que el valor de t es de 5,294, para 2 grados de libertad y una significancia estadística de 0,034, la cual es menor que 0,05, por lo que la DBO5 antes es diferente al DBO5 final, los cuales son datos que se dirigen a la toma de una decisión de la hipótesis correspondiente al DBO5.

- Decisión de rechazo de H_0 :

Para la decisión de la hipótesis, primero se coteja el valor crítico, lo cual es de 2,920 correspondiente a un límite donde la diferencia entre los valores se considera estadísticamente significativa, con un valor de $t = 5,294$ se toma la decisión de rechazo a la hipótesis nula.

Figura 11. Presentación gráfica de la prueba de hipótesis de DBO5



Fuente: Elaboración propia

El valor estadístico de $t=5,294$ es mayor que al valor crítico de prueba, entonces se puede concluir que se acepta la H_1 donde la DBO5 inicial es mayor que la DBO5 final en la concentración del lixiviado. Así mismo, se observa que el valor de significancia estadística es de $P - \text{valor} = 0,034$, el cual es menor a la significancia de $\alpha=0,05$, por lo tanto, se ratifica el rechazo de la hipótesis nula.

Entonces existe suficientes pruebas para afirmar que el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* es significativa en la concentración del DBO5 del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021, con un nivel de confianza del 95%

C. Potencial de Hidrógeno

H_a : El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* es significativa en el pH del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

H0: El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* no es significativa en el pH del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

- Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk:

H0: Los datos de la variable tienen una distribución normal.

H1: Los datos de la variable no tienen distribución normal.

Tabla 18. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para pH

Prueba de Normalidad			
Shapiro - Wilk pH			
	Estadístico	Gl	Sig.
pH	,769	3	,043

Fuente: Elaboración propia

En la prueba de normalidad de la tabla 18, de acuerdo a Shapiro – Wilk (menos de 30 datos) donde de nivel de significancia $\alpha = 0,05 = 5\%$ donde el P – valor 0,043 es menor que $\alpha = 0,05$, entonces no tienen una distribución normal. En tal sentido, por tanto, se utilizará un estadístico no paramétrico Prueba de Wilcoxon.

- Prueba de Wilcoxon

Tabla 19. Prueba de Wilcoxon para pH

Estadísticos de prueba ^a	
	FINAL - INICIAL
Z	-1,604 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,109

a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

b. Se basa en rangos negativos.

En la tabla 19, se observa que el P – valor es 0,109 donde el pH es mayor que la significancia $\alpha=0.05$, entonces se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna. Por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* no es significativo en el pH del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021.

- Metales pesados

Ha: El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* es significativa en la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) del lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

H0: El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* no es significativa en la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021.

- Datos de metales pesados:

Tabla 20. Metales pesados Pb, Cu y Zn

Condición	Metales pesados					
	Plomo inicial	Plomo 30 días	Cobre inicial	Cobre 30 días	Zinc inicial	Zinc 30 días
2%	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,091	0.012
3,3%	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,083	<0.001
5%	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0,009	<0.001

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se observa que no existen efectos significativos en la concentración de plomo y cobre. Por lo que se acepta la hipótesis nula, donde el efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* no es significativa en la concentración de metales pesados (Pb y Cu) lixiviado del relleno sanitario CEPASC - Concepción, 2021. Pero se observa en el Zinc que si existe una variación del dato inicial con el resultado final porque se procedió a realizar la prueba de normalidad.

- Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk:

H0: Los datos de la variable tienen una distribución normal.

H1: Los datos de la variable no tienen distribución normal.

Tabla 21. Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk para Zinc

Prueba de Normalidad			
Shapiro - Wilk Pb, Cu y Zn			
	Estadístico	Gl	Sig.
Zinc	,750	3	,000

Fuente: Elaboración propia

En la prueba de normalidad, de la tabla 21, de acuerdo a Shapiro Wilk (menos de 30 datos) se observa para el zinc el P-valor 0,000 es menor que $\alpha=0,05$, entonces no tiene una distribución normal, por tanto, se utilizará un estadístico no paramétrico Prueba de Wilcoxon.

- Prueba de Wilcoxon

Tabla 22. Estadísticos de Wilcoxon para Zinc

Estadísticos de prueba^a	
	FINAL - INICIAL
Z	-1,604 ^b
Sig. asintótica (bilateral)	,109

a. Prueba de Wilcoxon de los rangos con signo

b. Se basa en rangos positivos.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 22, se observa que el P – valor es 0,109 para zinc siendo mayor que la significancia $\alpha=0.05$, entonces se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna. Por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para afirmar que el efecto fitorremediador de las especies

Myriophyllum quitense y *Elodea densa* no es significativo en la concentración de metales pesados (Zn) del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021.

4.3. Discusión de resultados

Para determinar las características del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, se desarrolló el análisis de los siguientes parámetros: DQO, DBO₅, pH y metales pesados (Pb, Cu y Zn). Los resultados obtenidos se compararon con los Límites Máximos Permisibles del D.S. N°003-2010- MINAM.

- Demanda Química de Oxígeno

Los resultados obtenidos nos muestran que existe una tendencia por parte de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* en depurar la DQO como lo demuestra en el análisis realizado a los 30 días donde la solución diluida al 2% obtuvo un resultado de 221,74 mg/L, al 3,3% un resultado de 202,15 mg/L y al 5% a un resultado de 173,33 mg/L respectivamente. Mas no logró llegar al rango de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N°003-2010-MINAM que establece un valor de 200 mg/L en la solución diluida al 2% y 3,3%.

Asímismo, los resultados obtenidos en la investigación realizada por Ayala, R (18) muestra que la eficiencia de remoción en este parámetro fue más alta en *Eichharnia crassipes*, con un 90,77%, frente a un 84,77% y 82,12% de remoción de *Nasturtium officinale* y *Nymphoides humboldtiana*, respectivamente.

Los resultados obtenidos realizado en la investigación por Aranda, G (2) muestra una remoción DQO del 17,6% con la especie de Jacinto de agua, en comparación de la investigación realizada por Castañeda quien logro obtener una eficiencia de remoción de hasta el 86,7% con la especie del *Carrizo*.

- Demanda Bioquímica de Oxígeno

Los resultados obtenidos nos muestran que existe una tendencia por parte de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* en depurar la DBO₅ como se muestra en los análisis realizados a los 30 días, donde la solución diluida al 2% tiene un resultado de 169,4 mg/L, al 3.3% tiene un resultado de 133,8 mg/L y al 5% es de 106,35 mg/L. Mas no logró llegar al rango de los Límites Máximos Permisibles del D.S. N°003-2010-MINAM que establece un valor de 100 mg/L.

En mayor concentración el DBO₅ es altamente contaminante produciendo daños y muerte a los tejidos vegetales, a diferencia de concentraciones bajas que se demuestran benéficos. Por lo tanto, el desarrollo vegetativo de las especies utilizadas en los diversos tratamientos presento diferencia de acuerdo con la variación de las diluciones utilizadas. Lo cual refleja la resistencia de las especies a distintas concentraciones de lixiviados (36).

Similares resultados se obtuvieron en el estudio realizado por Carrión, L. (36), en el cual la depuración de DBO₅ en las especies estudiadas mostraron un valor y porcentaje siguiente, tendiendo un valor inicial de DBO₅ de 188 mg/L: *Berro* terminado los 30 días de tratamiento se obtuvo un valor de 21,75 mg/L con un porcentaje de 11,6; *Jacinto* obtuvo un valor de 5,25 mg/L y un porcentaje de 2,85 y *Elodea densa* obtuvo un valor de 14,25 mg/L y un porcentaje de 7,6. Por lo tanto, los resultados corroboran que si existe un efecto depurador de las especies.

Según la investigación realizada por Muñoz (22), donde evalúa dos tipos de tratamiento, concluyo que el rango general de remoción de humedales artificiales utilizando la macrófita *Juncus* sp *Junco* varia de 74,13% a 81,67% de depuración en la DBO₅: *Phragmites australis* Carrizo varia de 67% a 89,5; *Typha dominguensis* Totorá el rango de remoción de 88,1% a 96,77%, *Chrysopogon zizanioides* (vetiver) varias de 88,09% a 91% *Cyperus papyrus* (papiro) alcanzo una remoción total de 88%, Por lo tanto los resultados corroboran que existe un efecto fitorremediador en la DBO₅.

- pH

Los resultados obtenidos nos muestran que existe un efecto fitorremediador por parte de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* en estabilizar el potencial de hidrógeno, como lo demuestra en el análisis realizado a los 30 días donde a solución diluida al 2% tiene un resultado de 7,40; al 3,3% tiene un resultado de 7,42 y al 5% se obtuvo un resultado de 8,18. Esto debido a que las especies de macrófitas generan una actividad biológica favorable, teniendo una mayor eficiencia en la descomposición de la materia orgánica, lo cual origina una disminución del pH.

En el estudio realizado Carrión, L. (36) nos muestra que la especie de *Elodea densa* contribuye en aguas con problemas de acidez, ya que puede utilizarse su acción alcalinizadora como mejorador del pH, el efecto alcalinizador reveló una eficiencia en un rango de 7,46 a 9,02, lo que corrobora la investigación.

Similares resultados se obtuvieron en el estudio realizado por Ayala, R. (18), donde mostró que la especie *Eichhornia crassipes* logra que el pH del agua residual se aproxime a la neutralidad, el agua residual utilizado en el tratamiento presento un pH de 8,78. En el tratamiento con *Eichhornia crassipes* bajó los niveles de pH en un 21,41% dejando el pH del agua aproximado a un estado neutro, mientras que *Nasturtium officinale* y *Nymphoides humboldtiana* redujeron los niveles el pH en un 19,3% y 18,70%, respectivamente.

En el estudio similar realizado por Jiménez, L., (15) utilizando las macrófitas *Myriophyllum* y *Elodea*, mostró que el pH se mantuvo neutro con excepción de *Elodea* que tendió a alcalinizar el agua, el resultado obtenido en las aguas analizadas fue de 9,33, este resultado confirma que las macrófitas de pH bajo (por debajo de 7) son ácidas y se destruyen a diferencia de las macrófitas de pH 7 o neutras que tienen mejores oportunidades de vida. Las macrófitas que viven en medio alcalinos de pH 7 a 8,5 (medios alcalinos) tienen mayor potencial de vida larga. Estos resultados obtenidos corroboran la resistencia de las macrófitas en estados

ácidos tendiendo a neutralizar o alcalinizar el medio en el que se encuentran.

A diferencia de la investigación realizada por Gloria (2), en el que nos muestra que el pH presentó un valor alcalino de 8,19 a través del tratamiento con macrófitas mostró un cambio semejante en cuanto a nivel de pH obteniéndose en ambos tratamientos de 6 que equivalió a un 26,8% de eficiencia de remoción convirtiéndose en un pH ligeramente ácido. La macrófitas como el *Jacinto de agua* utilizada en esta investigación suelen favorecer al cambio de un pH alcalino a un pH cercano a la neutralidad lo que muestra su capacidad de amortiguación en las aguas contaminadas.

- Metales pesados

Los resultados obtenidos nos muestran que no existe un efecto fitorremediador por parte de las especies *Myriophyllum quitense* y *Elodea densa* en depurar los metales pesados como se muestra en el análisis realizado a los 30 días donde en el tratamiento de Cobre a diferentes diluciones como al 2%, 3,3% y 5% se obtuvo una concentración de <0,001; así mismo en Plomo a diferentes diluciones de 2%, 3,3% y 5% obtuvo una concentración de < 0,001 y a diferencia del Zinc que mostró a una dilución de 2% una concentración de 0,091; 3,3% una concentración de 0,0083 y 5% una concentración de 0,009.

Estos resultados reportados se debieron a que al realizar el análisis mostraron valores mínimos lo cual no fue relevante a diferencia del Zinc que obtuvo valores más alto, pero que en la etapa de fitorremediación no fue relevante debido al corto periodo de análisis.

En un estudio similar realizado por Jara, E. (19), obtuvo los siguientes resultados acumulación de cadmio en *Calamagrostis rigida* y en *Myriophyllum quitense* el mayor contenido fue obtenido en la raíces de *Calamagrostis rigida* con un valor de 7,93 mg a diferencia de la acumulación en *Myriophyllum quitense* con 1,53 mg.

La acumulación de cobre en *Myriophyllum quítense* fue en la raíces con 96,43 de materia seca a diferencia de *Myriophyllum quítense* que obtuvo 19,5 mg, El plomo en *Calamagrostis rigida* y en *Myriophyllum quítense* fue de 160,15 mg con una menor concentración de plomo total, fue obtenido en los tejidos de las raíces de *Myriophyllum quítense* con 41,53 mg.

La acumulación de Zinc el valor obtenido en los tejidos de *Calamagrostis rigida* fue de 597 mg por otro lado la menor concentración fue obtenido con 147,8. Cabe resaltar que es relacionado directamente con el mayor contenido de metales pesados encontrado en el agua. Lo que demuestran que las especies tienden a eliminar los metales pesados en diferentes proporciones.

En la investigación realizada por Carlos M. (6) en el que se evaluó los tejidos de las plantas utilizados en el siguiente orden raíz > hoja > tallo que tuvo variaciones dependiendo de la especie vegetal y de la concentración del metal. La distribución de los metales pesados vario de la siguiente manera en *Colocasia esculenta* no distribuye en buena manera en sus tejidos el metal acumulado dejando gran cantidad en la raíz, el cadmio no fue detectado en dos de las tres especies estudiadas, siendo *Gynerum sagittatum* la especie que logro acumular en todo sus tejidos, en el caso de *Heliconia psittacorum* la especie que mostró mejor distribución en sus tejidos, en los cuales los valores fluctuaron 0,4 y 1,2.

Por otro lado *Gynerum sagittatum* y *Heliconia psittacorum* transfirieron más mercurio a las hojas y tallos que la otra especie vegetal, el plomo se transfirió en mayor medida en la parte área cuando la concentración de plomo fue baja en el lixiviado. El estudio reveló que las tres especies vegetales acumularon más plomo que cadmio, esto debido que es posible que utilizaron un mecanismo de defensa contra la toxicidad de cadmio.

Las especies vegetales evaluadas no lograron la concentración de metales en sus tejidos, para ser clasificadas como hiperacumuladoras, así mismo mostraron un buen desempeño para hacer catalogadas como acumuladoras de los metales pesados.

CONCLUSIONES

- El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC, con un nivel de confianza del 95%, fue significativo respecto a los parámetros químicos DQO y DBO₅; teniendo en cuenta el tiempo de remoción a los 8, 15 y 30 días.
- En la variabilidad de pH el efecto fitorremediador de las especies macrófitas no fue significativa estadísticamente; sin embargo, fue mostrando una tendencia a alcalinizar con el tiempo de la investigación (30 días).
- El efecto fitorremediador de las especies *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa* en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC, con un nivel de confianza del 95% respecto al Pb, Cu y Zn no fueron significativos en el periodo de 8, 15 y 30 días evaluados.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar más estudios a las especies macrófitas en su estructura vegetal para evaluar su eficiencia en la remoción de contaminantes.
- Se recomienda realizar otros estudios para determinar la remoción y absorción de estas especies macrófitas en la fitorremediación de metales pesados a una escala mayor y por un periodo de tiempo más prolongado.
- Se recomienda utilizar especies macrófitas propia de la región a utilizarse para favorecer en el tiempo de aplicación debido a que no tendrá que pasar por un periodo de adaptación que a su vez disminuir los altos costos de inversión en el tratamiento de lixiviados.
- Se recomienda ampliar la normativa aplicable para límites máximo permisibles para los efluentes para plantas de tratamientos de aguas residuales domesticas o municipales en metales pesados debido a su relevancia.
- Con el fin de darle un uso eficiente al lixiviado tratado se recomienda hacer uso para riego de cultivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHAVEZ, M. *Tratamiento de lixiviados generados en el relleno sanitario en la sede CD. de Chihuahua, MÉXICO*. Chihuahua : s.n. 2011.
2. SABOYA, G., ARANDA, S. y GREENWICH, X. *Eficiencia de las macrofitas Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y Repollo de agua (Pistia stratiotes) en la remoción de nutrientes en las aguas contaminadas de la laguna ricuricocha por los efluentes de la ganadería del aguila - morales - san martin*. Tarapoto : Universidad Peruana Unión. 2020.
3. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Conceptos básicos sobre medio ambiente y desarrollo sustentable*. Lima : s.n. 2014.
4. LIBERATO, N. *Microorganismos eficientes y su efecto en el tratamiento de lixiviados generados en proceso de compostaje en el centro ecoturístico de protección ambiental "Santa Cruz" - CEPASC, Concepción, 2019*. Huancayo : Universidad Continental. 2020.
5. MINAM. *Decreto Supremo N°014-2017-MINAM*. [En línea] 21 de diciembre de 2017. [Citado el: 03 de julio de 2021.] https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/ds_014-2017-minam.pdf.
6. PARRA, C., PEÑA E. Y SOLARTE, J. *Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios*. Cali : s.n.2014.
7. TCHOBANOGLIOUS, G. y KREITH, F. *Handbook of Solid Waste Management, second edition. Second Edition*. New York : The McGraw-Hill Companies, Inc. 2002.
8. HOORNWENG, B. *What a Waste a Global Review of Solid Waste Management*. India : Urban Development Series Knowledge Papers, 2012.
9. SHIRAISHI, H, y otros *Endocrine disrupters in the leachate from waste disposal sites*. Japon : s.n., 1999.

10. GRXEGORZ P, W and KANOWNIK. *Impact of sl municipal solid waste landfill on groundwater quality*. Polonia : Environmental Monitoring and Assesment , 2019.
11. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Ambientes Saludables para los niños*. [En línea] 07 de Abril de 2003.
12. BANCO MUNDIAL- *What a Waste 2.0: A global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington : Washington: International Bank for Reconstruction and Development/ The World Bank. 2018.
13. SISTEMA NACIONAL DE INFORMACION AMBIENTAL. SINIA - Minam. *Sinia - Minam*. [En línea] 2018.
14. VALDIVIA, C. *Eficiencia de Eichhornia crassipes (mart) Solms laub - Pontederiaceae y Nasturtium officinale w.t.aiton - Brassicaceae en la remoción de DBO5 y DQO del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín*. Cajamarca : Universidad Nacional de Cajamarca . 2019.
15. JIMÉNEZ, L. *Tratamiento de aguas eutrofizadas con el uso de dos macrofitos de la bahía interior de Puno*. Puno : Universidad Nacional del Altiplano. 2016.
16. CARRION, L. y CUENCA, N. *Bioensayo con macrofitas acuaticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichacay*. Pichacay : Universidad de Cuenca. 2009.
17. ZIMMELES, Y., MALKOVSKAJA, F. y KIRZHNER Y. A. *Appliacion of Eichhornia crassipes and Pistia stratiotes for treatment of uran sewage in Israel*. 4, Israel : El Sevier, Vol. 81. 2006.
18. ORDOÑEZ, R., CALDERÓN, E. Y RASCÓN, S. Y COLLAZOS, R. *Fitorremediacion de aguas residuales utilizando las especies Eichhornia Crassipes, Nymphoides humboldtiana y Nasturtium officinale*. Chachapoyas : Instituto de investigación para el desarrollo sustentable de ceja de selva. Vol. 3. 2018.
19. JARA, E. y GOMEZ, J. *Acumulación de metales pesados en Calamagrostis rigida y Myriphyllum quitense evaluadas en cuatro humedales altoandinos del Perú*. 2, Lima, Perú : Arnaldoa. Vol. 24. 2017.
20. CARRANZA, A. Y PLASENCIA, T. *Tratamiento de los lixiviados generados en la planta de residuos solidos de Cajarmaca con humedales artificiales de Juncus*

balticus wild (junco) y *Shoenoplectus californicus (Totor)*. Cajamarca : Universidad Privada del Norte. 2018.

21. MUÑOZ, K. y VASQUEZ, M. *Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domesticas con humedales artificiales de cinco especies de macrofitas*. Cajamarca : Universidad Privada del Norte. 2020.

22. DELGADO, P. Y ROCHA, V. *Eficiencia de remocion de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo sub superficial horizontal a traves de la especie macrofita emergente Carrizo (Phragmites australis)*. Lima : Universidad Peruana Unión. 2019.

23. CUADRADO, J., CAMPO, W., VICUÑA, C. Y TORRES, E. *Evaluación de la planta Scirpus californicus (Totor) en la eficiencia de remoción de fierro en un prototipo de humedal construido de flujo superficial*. 42- 48 , Tarma : Universidad Nacional del Centro del Perú. Vol. 11. 2015.

24. CHAGUA OROSCO, R y TARDÍO OSORIO, J. *Evaluación de Remoción de Cobre y Zinc por la planta nativa Scirpus Californicus (Totor) en la comunidad de Pomachaca - Tarma*. Tarma, Perú : Universidad Nacional del Centro. 2015.

25. AGENCIA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE ESTADOS UNIDOS. EPA. [En línea] 15 de Octubre de 2018. [Citado el: 10 de Julio de 2021.] <https://espanol.epa.gov/>.

26. DELGADO, P y VERA, W. *Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a traves de la especie macrófita emergente (phragmites australis)*. Lima, Perú : Universidad Peruana Unión. 2019.

27. MARTELO, J. Y LARA, J. *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado de arte*. 15, Bogota : Ingenieria y Ciencia, ing. cienc. . Vol. 8. 2012.

28. IAGUA. IAGUA. *Los humedales artificiales*. [En línea] 20 de Setiembre de 2012. [Citado el: 20 de Julio de 2021.]

29. CARRIÓN, J. ESPINOZA, C. Y PERÉZ, M. *Turismo sostenible, un aporte a la responsabilidad social empresarial: Sus inicios, características y desarrollo*. 1, Republica del Ecuador : Universidad y Sociedad. Vol. 9. 2016.
30. Herrera, A. *Evaluacion de remocion de contaminantes emergentes de aguas superficiales utilizando metales de tratamiento*. Puebla : Universidad Autonoma de Puebla. 2016.
31. Sandoval, D. *Eficiencia de Jacinto de agua Eichhorenia crassipes y lenteja de agua lemna minor I. en la remocion de cadmio en aguas residuales*. Lima : Universidad Nacional Federico Villareal. 2019.
32. CEGARRA, J. *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Barcelona : Díaz Santos. 2004.
33. Hernández, R. *Metodología de la Investigación*. Mexico D.F. : Interamericana editores, 2014. 6.
34. SANTIAGO, R. *Evaluación de la bioconcentración de dos especies de macrófitas acuáticas (Eichhornia crassipes y Lemna spp) en la fitorremediación de un medio contaminado con plomo*. Ecuador : Escuela superior politecnica de Chimborazo.2016.
35. CARRIÓN, L y CUENCA, N. *Bioensayo con macrofitas acuáticas para el tratamiento de lixiviados procedentes del relleno sanitario de Pichacay*. Ecuador : s.n. 2005.
36. GARCÍA, E.Y MONTSERRAT, Z. *Fundamentos del Manejo de los Residuos Urbanos*. Granada : Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. 2000.
37. FASANI, E, y otros. *Phytoremediatory efficiency of Chrysopogon zizanioides in the treatment of landfill leachate: a case study*. Germany : Environmental Science and Pollution Research. Vol. 26. 2019.
38. MADERA PARRA, C y PEÑA, E. y SOTO, J. *Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados*

provenientes de rellenos sanitarios. 2, Cali, Colombia : Ingeniería y Competitividad. Vol. 16. 2014

39. PARRA, C. *Tratamiento de lixiviados de relleno sanitario por medio de humedales construidos sembrados con policultivos de plantas nativas*. 2, Cali, Colombia : Ingeniería y Competitividad. Vol. 18. 2016.

40. ARANDA, X.y GREENWICH, P. *Eficiencia de las macrófitas Jacinto de agua (Eichhornia Crassipes) y repollo de agua (Pistia stratiotes) en la remoción de nutrientes en las aguas contaminadas de la laguna Ricuricocha por los efluentes de la ganadería del Águila - Morales - San Martín*, 2. Tarapoto, Perú : Universidad Peruana Unión. 2019.

41. LAZO, Y. *Diseño de u Humedal Artificial con la especie "Schoenoplectus Californicus" en el tratamiento de aguas residuales, en el distrito de Ahuac*, 2018. Junín, Perú : Universidad César Vallejo. 2018.

ANEXOS

ANEXO 01. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA GENERAL ¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021?</p> <p>PROBLEMA ESPECÍFICOS -¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en la concentración del DQO del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021? -¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en la concentración del DBO5 del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021? -¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en el pH del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021? -¿Cuál es el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL Determinar el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021</p> <p>OBJETIVO ESPECÍFICOS -Determinar el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en la concentración del DQO del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021 -Determinar el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en la concentración del DBO5 del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021 -Determinar el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en el pH del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021 -Determinar el efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> en la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL El efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> es significativa en la concentración de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021</p> <p>HIPÓTESIS ESPECIFICAS -El efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> es significativa en la concentración del DQO del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021 -El efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> es significativa en la concentración del DBO5 del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021 -El efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> es significativa en el pH del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021 -El efecto fitorremediador de las especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> es significativa en la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) del lixiviado del relleno sanitario CEPASC – Concepción, 2021.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE Especies <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i></p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE Remoción de contaminantes del lixiviado</p>	<p>MÉTODO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN Hipotético – Deductivo</p> <p>METODO ESPECIFICO DE LA INVESTIGACIÓN Experimental</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativo</p> <p>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Preprueba – Posprueba – Control</p> <p>POBLACIÓN Los lixiviados generados por la disposición final de los residuos orgánicos del relleno sanitario CEPASC.</p> <p>MUESTRA 4,5 L de lixiviado</p>

ANEXO 02. Operacionalización de variables

Tipo de Variable		Definición Conceptual	Dimensiones	Indicador	Unidad de Medida	Tipo de Variable	Escala de medición
Variable Independiente	<i>Tiempo de remoción de Myriophyllum quítense y Elodea densa</i>	Son especies vegetales que hace que el lixiviado mediante parámetros químicos de la planta remuevan contaminantes progresivamente	Tiempo	08, 15 y 30	Días	Cuantitativa discreta	-
Variable Dependiente	Remoción de contaminantes del lixiviado	Consiste en la diferencia de concentración de contaminantes que se encuentran en los lixiviados antes y después	Características de los parámetros químicos	Concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn)	mg/L	Cuantitativa continua	Razón
				DQO	mg/L	Cuantitativa continua	Razón
				DBO ₅	mg/L	Cuantitativa continua	Razón
				pH	Unidad de pH	Cuantitativa continua	Razón

ANEXO 3. Carta de autorización para el ingreso y toma de muestras de la poza de lixiviados del relleno sanitario CEPASC – Concepción

"AÑO DEL BINCENTENARIO DEL PERÚ: 200 AÑOS DE INDEPENDENCIA"

CARTA N°001 - 2021

A : ING. BENJAMIN DE LA CRUZ PALOMINO

DIRIGIDO : Gerente de Ecología y Medio Ambiente

A

: Autorización para el ingreso y Toma de muestras de la Poza de Lixiviados del Relleno Sanitario CEPASC – Concepción.

ASUNTO

REFERENCIA : Ejecutar Investigación de Tesis a Nivel de Pre - Grado

FECHA : Concepción, 09 de agosto del 2021.



Nosotras, Madueño Porras Fiorela Akemy identifica con DNI 73250639 y Orellana Quiñonez Adriana Andrea identificada con DNI 72296612, con grados académicos de bachilleres en Ingeniería Ambiental de la Universidad Continental - Huancayo, ante Usted con el debido respeto me presento y expongo lo siguiente:

Que, deseando obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, realizaremos la tesis con el tema de investigación de Fitorremediación con especies en la remoción de contaminantes del lixiviado del relleno sanitario del CEPASC - Concepción, con el fin de disminuir los contaminantes generados en el lixiviado, para lo cual SOLICITO se me brinde el permiso para el ingreso y la toma de muestras de 6L de la poza de lixiviados en el proceso de compostaje.

Sin otro particular hago propicia la oportunidad para expresarle las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



Madueño Porras Fiorela A.
DNI: 73250639



Orellana Quiñonez Adriana A.
DNI: 72296612

ANEXO 4. Panel Fotográfico del Centro Ecoturístico de Protección Ambiental
“Santa Cruz” – Concepción



Fotografía 1. Área de compostaje del CEPASC

ANEXO 5. Toma de muestra de la poza del relleno sanitario CEPASC – Concepción



Fotografía 2 y 3. Poza de lixiviado



Fotografía 4 y 5. Recolección de muestra de la poza de lixiviado

ANEXO 6. Resultado del análisis del lixiviado de la muestra tomada en la poza de lixiviado de DQO y DBO5 CEPASC – Concepción



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DEL PERÚ
Vicerrectorado de Investigación
Laboratorio de Investigación de Aguas
"Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia"

REPORTE DE ANÁLISIS DE AGUAS

NOMBRE DEL PROYECTO	N ° DE REPORTE: 034/2021	DATOS DEL SOLICITANTE	
EFECTO FITORREMEDIADOR DE LAS ESPECIES <i>Myriophyllum quitense</i> y <i>Elodea densa</i> EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DEL LIXIVIADO DEL RELLENO SANITARIO CEPASC – CONCEPCIÓN, 2021	MADUEÑO PORRAS FIORELA		FECHA DE MUESTREO
	ORELLANA QUIÑÓNEZ ADRIANA		16/08/2021
	FECHA DE ANÁLISIS		16/08/2021
FUENTE:	RELLENO SANITARIO CEPASC CONCEPCIÓN	PUNTO DE MUESTREO	
LOCALIDAD:	CONCEPCIÓN	POZA DE LIXIVIADOS DEL CENTRO ECOTURISTICO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL SANTA CRUZ - CEPASC – CONCEPCIÓN	
DIST/PROV/DEP.	CONCEPCIÓN/CONCEPCIÓN/JUNIN		
PARAMETROS:	DBO ₅ , DQO		
MUESTREADO POR	MADUEÑO PORRAS FIORELA / ORELLANA QUIÑÓNEZ ADRIANA		

RESULTADOS

PARAMETROS FISICOQUIMICOS	UNIDAD	RESULTADO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	(mg/L)	2400
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO ₅)	(mg/L)	793

OBSERVACIONES:

*Las muestras fueron proporcionales por el interesado(s)

*Documentos de referencia: Standard Methods for examination of water and wastewater 23rd Edition -2017

*DQO: SM 5220 C: Método Reflujo Cerrado

* DBO: SM 5210D: Método Respirométrico

*Parámetros no acreditados



[Firma]
 Dra. María Cecilia Villanueva
 COORDINADORA GENERAL



[Firma]
 Ing. Heidi De la Cruz Solano

ANEXO 7. Resultado del análisis del lixiviado de la muestra tomada en la poza de lixiviado de metales pesados CEPASC – Concepción



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 047



INFORME DE ENSAYO N° 154441 - 2021
CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Agua Residual
Matriz analizada			Agua Residual
Fecha de muestreo			2021-08-16
Hora de inicio de muestreo (h)			13:35
Condiciones de la muestra			Refrigerada/ Preservada
Código del Cliente			HX-01
Código del Laboratorio			21080918
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Plata (Ag)	0.0008	mg/L	<0.0008
Aluminio (Al)	0.01	mg/L	3.16
Arsénico (As)	0.001	mg/L	0.439
Boro (B)	0.002	mg/L	2.307
Bario (Ba)	0.002	mg/L	0.419
Berilio (Be)	0.0003	mg/L	0.0014
Calcio (Ca)	0.03	mg/L	>400
Cadmio (Cd)	0.0005	mg/L	0.0109
Cerio (Ce)	0.002	mg/L	0.007
Cobalto (Co)	0.0004	mg/L	0.1080
Cromo (Cr)	0.0005	mg/L	0.0500
Cobre (Cu)	0.0008	mg/L	0.5189
Hierro (Fe)	0.002	mg/L	34.260
Mercurio (Hg)	0.001	mg/L	<0.001
Potasio (K)	0.04	mg/L	>350
Litio (Li)	0.003	mg/L	0.280
Magnesio (Mg)	0.04	mg/L	>100
Manganeso (Mn)	0.0003	mg/L	7.2768
Molibdeno (Mo)	0.002	mg/L	0.022
Sodio (Na)	0.02	mg/L	>350
Níquel (Ni)	0.0007	mg/L	0.2529
Fósforo (P)	0.003	mg/L	>60
Plomo (Pb)	0.0005	mg/L	0.1107
Antimonio (Sb)	0.002	mg/L	0.120
Selenio (Se)	0.003	mg/L	0.121
Silice (SiO ₂)	0.02	mg/L	44.99
Estaño (Sn)	0.001	mg/L	0.035
Estroncio (Sr)	0.001	mg/L	4.544
Titanio (Ti)	0.0003	mg/L	0.0798
Talio (Tl)	0.003	mg/L	<0.003
Vanadio (V)	0.0006	mg/L	0.0408
Zinc (Zn)	0.003	mg/L	3.310

L.D.M.: límite de detección del método.

Uma, 31 de Agosto del 2021.

ANEXO 8. Panel fotográfico de recolección de macrófitas *Myriophyllum quítense* y *Elodea densa*



Fotografía 6 y 7. Reconocimiento de la laguna Pomacocha – Comas – Concepción



Fotografía 8 y 9. Recolección de muestras *Myriophyllum quítense* y *Elodea Densa*

ANEXO 9. Panel fotográfico de instalación y acondicionamiento del proyecto.



Fotografía 12 y 13. Conteo de muestras de *Mvriophyllum aútense* v *Elodea Densa*



Fotografía 14 y 15. Adecuación de peceras con grava



Fotografía 16. Vertimiento de agua destilada a las macrófitas



Fotografía 17. Tratamiento a dilución de 2%. 3.3% v 5%

ANEXO 10. Resultado del laboratorio de análisis, caracterización de dilución al 2%, 3,3% y 5% del lixiviado



**LABORATORIO DE ENSAYOS
"AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"**

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-107-21

III. RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
NX-01-20	Demanda Bioquímica de Oxígeno	195.25	mg/L
	pH	6.74	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	260.50	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	0.091	mg/L
NX-01-30	Demanda Bioquímica de Oxígeno	167.10	mg/L
	pH	6.69	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	232.60	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	0.083	mg/L
NX-01-50	Demanda Bioquímica de Oxígeno	155.30	mg/L
	pH	6.61	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	228.80	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	< 0.009	mg/L



Huancayo 06 de Setiembre del 2021

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Ing. Irma E. Laurente Colarza
JEFE DE LABORATORIO
CIP N° 172912

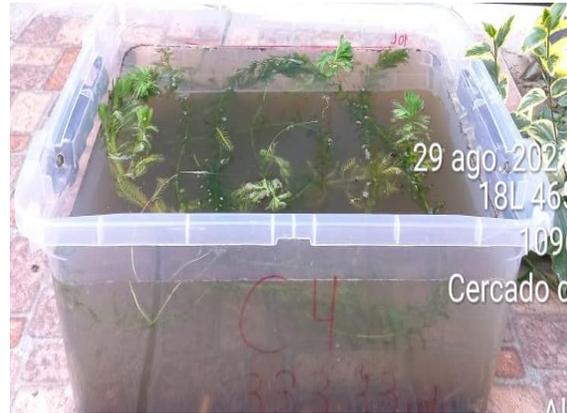
LAB-FR-004/VERSION 03/ F.E: 12/2020

El presente informe es redactado íntegramente en AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C, su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública, Está prohibido la reproducción parcial o total salvo autorización escrita de AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C. Las muestras serán conservadas en un periodo máximo de 30 días de haber ingresado al laboratorio, excedido el tiempo se procede a su eliminación. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ANEXO 11. Panel fotográfico del tratamiento realizado los lixiviados a diferentes condiciones 2%, 3,3% y 5% a los 8, 15 y 30 días.



Fotografía 18. Tratamiento a dilución a 2%, primer día



Fotografía 19. Control a dilución a 3,3%, primer día



Fotografía 20. Control a dilución a 5%, primer día



Fotografía 21. Tratamiento a dilución de 2% a los 8 días



Fotografía 22. Tratamiento a dilución de 3,3% a los 8 días



Fotografía 23. Tratamiento a dilución de 5% a los 8 días



Fotografía 24. Tratamiento a dilución de 2% a los 15 días



Fotografía 25. Tratamiento a dilución de 3,3% a los 15 días



Fotografía 26. Tratamiento a dilución de 5% a los 15 días



Fotografía 27. Tratamiento a dilución de 2% a los 30 días



Fotografía 28. Tratamiento a dilución de 3,3% a los 30 días



Fotografía 29. Tratamiento a dilución de 5% a los 30 días

ANEXO 12. Resultados de laboratorio de los tratamientos por cada repetición a los 30 días a diferentes condiciones de dilución al 2%, 3,3% y 5% de lixiviado



**LABORATORIO DE ENSAYOS
"AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"**

INFORME DE ENSAYO N° AL/IE-124-21

EL RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
NX-01-20	Demanda Bioquímica de Oxígeno	168.84	mg/L
	pH	7.41	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	221.63	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	< 0.001	mg/L
NX-01-30	Demanda Bioquímica de Oxígeno	133.43	mg/L
	pH	7.43	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	202.18	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	< 0.001	mg/L
NX-01-50	Demanda Bioquímica de Oxígeno	106.27	mg/L
	pH	8.21	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	173.42	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	< 0.001	mg/L

Huancayo 14 de Octubre del 2021



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Ing. Jairo E. Guzmán Torres
Jefe de Laboratorio
01-01041



**LABORATORIO DE ENSAYOS
"AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"**

INFORME DE ENSAYO N° AL/E-125-21

EL RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
NX-01-20	Demanda Bioquímica de Oxígeno	169.75	mg/L
	pH	7.38	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	221.87	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	0.012	mg/L
NX-01-30	Demanda Bioquímica de Oxígeno	133.39	mg/L
	pH	7.39	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	202.14	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	< 0.001	mg/L
NX-01-00	Demanda Bioquímica de Oxígeno	106.41	mg/L
	pH	8.14	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	173.25	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	< 0.001	mg/L



Huancayo 14 de Octubre del 2021

AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
[Firma]
Ing. Jairo R. Sandoval Castro
DIRECCIÓN GENERAL
01-000000000



**LABORATORIO DE ENSAYOS
"AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C"**

INFORME DE ENSAYO N° AL/E-126-21

EL RESULTADOS:

Código del Cliente	Ensayo	Resultado	Unidad
NX-01-20	Demanda Biológica de Oxígeno	162.61	mg/L
	pH	7.42	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	221.71	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	< 0.001	mg/L
NX-01-30	Demanda Biológica de Oxígeno	133.57	mg/L
	pH	7.43	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	202.12	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	< 0.001	mg/L
NX-01-50	Demanda Biológica de Oxígeno	106.38	mg/L
	pH	8.19	Unidad pH
	Demanda Química de Oxígeno	173.39	mg/L
	Cobre	< 0.001	mg/L
	Plomo	< 0.001	mg/L
	Zinc	< 0.001	mg/L

Platocayo 14 de Octubre del 2021



AMBIENTAL LABORATORIOS S.A.C.
Ing. JUAN PABLO GARCIA
JEFE DE LABORATORIO
CP # 0000