

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

Efecto de *Typha angustifolia* L. (Totorá) y *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nutrientes en la planta de tratamiento de agua residual Omo - Moquegua, 2021

Samuel Morocco Llampi
Karen Mislenia Paye Huallpa

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Arequipa, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



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

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos salud y guiarnos con sabiduría en las situaciones difíciles para poder culminar nuestro objetivo.

A la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS) Moquegua S.A. por otorgarnos los permisos para el desarrollo de nuestra investigación en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Omo.

Al Ing. Walter Villasante por su apoyo incondicional en todo el periodo de ejecución del trabajo de investigación. Además, por sus palabras de ánimo y motivación en todo momento.

Queremos agradecer a nuestro asesor, Ing. Steve Dann Camargo Hinojosa por su paciencia y por habernos guiado exitosamente en el desarrollo de nuestra tesis.

DEDICATORIA

A mis padres Juan Paye y Agustina Huallpa, por brindarme sus buenos consejos, valores, tiempo, amor, cariño, comprensión y paciencia para forjar en mí una persona de bien. Además, por su apoyo incondicional y ser mi motivación constante para lograr alcanzar mis metas en las distintas etapas de mi formación académica.

A mi hermano Paul Paye por alegrar e iluminar mis días, confiar siempre en mí y darme apoyo moral en todo momento.

A mis perritos Zeus y Betho por su compañía y amor incondicional.

Karen Mislenia Paye Huallpa

A mis padres Celia y Pedro por el esfuerzo dado y por mostrarme día a día el camino hacia la superación; a mis hermanos por estar siempre para mí. Esto es posible gracias a ustedes.

Samuel Morocco LLampi

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1. Problema General.....	16
1.1.2. Problemas Específicos	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos	17
1.3. Justificación e importancia.....	17
1.3.1. Ambiental.....	17
1.3.2. Económico	18
1.3.3. Social.....	18
1.4. Hipótesis	18
1.4.1. Hipótesis general.....	18
1.4.2. Hipótesis específicas	18
1.5. Variables de investigación	20
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	21
2.1. Antecedentes de la investigación	21
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales	24
2.1.3. Antecedentes locales	26
2.2. Bases teóricas.....	27

2.2.1. Aguas residuales domésticas.....	27
2.2.1.1. Características físicas del agua residual	27
2.2.1.2. Características químicas del agua residual	28
2.2.2. Tratamiento de aguas residuales domésticas	29
2.2.3. Nutrientes	30
2.2.4. Remoción de nutrientes.....	30
2.2.4.1. Fósforo.....	31
2.2.4.2. Nitrógeno	32
2.2.5. Humedales artificiales (HHAA).....	33
2.2.5.1. Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HHAA FSS)	34
2.2.5.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HHAA FSSH)	35
2.2.5.3. Partes de los humedales de flujo subsuperficial.....	35
2.2.6. <i>Typha angustifolia</i> L. (Totora).....	37
2.2.6.1. Características generales	37
2.2.6.2. Características morfológicas	38
2.2.7. <i>Phragmites australis</i> (Carrizo)	39
2.2.7.1. Características generales	39
2.3. Marco legal	41
2.3.1. Marco Legal Internacional.....	41
2.3.1.1.Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua – Ecuador	41
2.4. Definición de términos básicos	43
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	46
3.1. Método y alcance de la investigación	46
3.1.1. Método General	46
3.1.2. Método Específico	46

3.1.3. Tipo de la investigación	46
3.1.4. Nivel de la investigación.....	47
3.2. Diseño de la investigación	47
3.2.1. Diseño experimental	47
3.3. Población y muestra.....	48
3.3.1. Población.....	48
3.3.2. Muestra	48
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	48
3.4.1. Técnicas e instrumentos	48
3.4.2. Materiales.....	49
3.4.3. Procedimientos.....	50
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.1. Presentación de resultados	55
4.1.1. Efecto de la remoción de nitrógeno y fósforo con <i>Typha angustifolia</i> L. (totora)	55
4.1.2. Efecto de la remoción de nitrógeno y fósforo con <i>Phragmites australis</i> (carrizo).....	58
4.1.3. Comparación de las especies <i>Typha angustifolia</i> L. (totora) y <i>Phragmites australis</i> (carrizo) en la remoción de nitrógeno y fósforo	62
4.1.4. Comparación de los resultados con Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua – Ecuador	66
4.2. Prueba de hipótesis	67
4.2.1 Hipótesis específica 1	67
4.2.1.1. Fósforo	68
4.2.1.2. Nitrógeno.....	69
4.2.2 Hipótesis específica 2	69
4.2.2.1. Fósforo.....	70
4.2.2.2. Nitrógeno	71

4.2.3. Hipótesis específica 3	71
4.2.3.1. Fósforo.....	72
4.2.3.2. Nitrógeno	73
4.3. Discusión de resultados.....	74
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	20
Tabla 2. Taxonomía de <i>Typha angustifolia</i> L. (Totora).	38
Tabla 3. Taxonomía de <i>Phragmites australis</i> (carrizo).	41
Tabla 4. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.	41
Tabla 5. Número de tratamientos con <i>Typha angustifolia</i> L. (totora).	47
Tabla 6. Número de tratamientos con <i>Phragmites australis</i> (carrizo).....	48
Tabla 7. Resultados a la salida del humedal con <i>Typha angustifolia</i> L.....	55
Tabla 8. Análisis de varianza para el fósforo a la salida del humedal con <i>Typha angustifolia</i> L.....	55
Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador fósforo, a la salida del humedal con <i>Typha angustifolia</i> L.....	56
Tabla 10. Análisis de varianza para el nitrógeno a la salida del humedal con <i>Typha angustifolia</i> L.....	57
Tabla 11. Prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador nitrógeno, a la salida del humedal con <i>Typha angustifolia</i> L.....	57
Tabla 12. Resultados a la salida del humedal con <i>Phragmites australis</i>	58
Tabla 13. Análisis de varianza para el fósforo a la salida del humedal con <i>Phragmites australis</i>	59
Tabla 14. Prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador fósforo, a la salida del humedal con <i>Phragmites australis</i>	59
Tabla 15. Análisis de varianza para el nitrógeno a la salida del humedal con <i>Phragmites australis</i>	60
Tabla 16. Prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador nitrógeno, a la salida del humedal con <i>Phragmites australis</i>	61
Tabla 17. Resultados de la Fase de Tratamiento con <i>Typha angustifolia</i> L.	62
Tabla 18. Resultados de la Fase de Tratamiento con <i>Phragmites australis</i>	62
Tabla 19. Análisis de varianza para los datos de remoción del indicador fósforo con la <i>Typha angustifolia</i> L. y <i>Phragmites australis</i>	63
Tabla 20. Prueba de diferencia medias de <i>Typha angustifolia</i> L. y <i>Phragmites australis</i> para la remoción de fósforo.	63

Tabla 21. Análisis de varianza para los datos de remoción de nitrógeno en <i>Typha angustifolia</i> L. y <i>Phragmites australis</i>	64
Tabla 22. Prueba de diferencia medias de <i>Typha angustifolia</i> L. y <i>Phragmites australis</i> para la remoción de nitrógeno.	65
Tabla 23. Comparación de resultado de la especie <i>Typha angustifolia</i> L. con límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	66
Tabla 24. Comparación de resultado de la especie <i>Phragmites australis</i> con límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	67
Tabla 25. Matriz de Consistencia.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de metabolismo del nitrógeno.	32
Figura 2. Humedales Artificiales de Flujo Superficial HHAA FSS.....	34
Figura 3. Lagunas de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Omo.	51
Figura 4. Comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador fósforo, a la salida del humedal con <i>Typha angustifolia</i> L.	56
Figura 5. Comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador nitrógeno, a la salida del humedal con <i>Typha angustifolia</i> L.....	58
Figura 6. Comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador fósforo, a la salida del humedal con <i>Phragmites australis</i>	60
Figura 7. Comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador nitrógeno, a la salida del humedal con <i>Phragmites australis</i>	61
Figura 8. Comparación de medias de las especies <i>Typha angustifolia</i> L. y <i>Phragmites</i> <i>australis</i> en la remoción de fósforo.	64
Figura 9. Comparación de medias de las especies <i>Typha angustifolia</i> L. y <i>Phragmites</i> <i>australis</i> en la remoción de nitrógeno.	65

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Omo, del distrito de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto del departamento de Moquegua, se planteó el siguiente problema general: ¿Cuál es el efecto en la remoción de nutrientes con *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo? y como objetivo general: Analizar el efecto de la remoción de nutrientes con *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo. La hipótesis general nula fue la siguiente: No existe efecto significativo de *Typha angustifolia* L. (totora) y el *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nutrientes de la planta de tratamiento de agua residual Omo y la hipótesis general alterna: Existe efecto significativo de *Typha angustifolia* L. (totora) y el *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nutrientes de la planta de tratamiento de agua residual Omo. El método de investigación realizado fue el científico, de nivel explicativo y el diseño de investigación fue experimental. La investigación concluyó que, la especie *Typha angustifolia* L. (totora) fue la que más removió fósforo total con un 47.97%, mientras que la especie *Phragmites australis* (carrizo) solo removió un 20.81% de fósforo total. En cuanto al nitrógeno total la especie *Phragmites australis* (carrizo) fue la que más remoción tuvo con un 36.89%. a comparación de la especie *Typha angustifolia* L. (totora) que solo tuvo un 31.64%.

Palabras clave: agua residual, nitrógeno, fósforo, *Typha angustifolia* L, *Phragmites australis*.

ABSTRACT

The present investigation was carried out in the Omo Wastewater Treatment Plant (WWTP), in the district of Moquegua, province of Mariscal Nieto, department of Moquegua, the following general problem was raised: What is the effect on the removal of nutrients with *Typha angustifolia* L. (totora) and *Phragmites australis* (reed) at the Omo? And the general objective: Analyze the effect of nutrient removal with *Typha angustifolia* L. (totora) and *Phragmites australis* (reed) in the Omo wastewater treatment plant. The general null hypothesis was as follows: There is no significant effect of *Typha angustifolia* L. (totora) and *Phragmites australis* (reed) on the removal of nutrients from the Omo wastewater treatment plant and the alternate general hypothesis: There is a significant effect of *Typha angustifolia* L. (totora) and *Phragmites australis* (reed) in the removal of nutrients from the Omo wastewater treatment plant. The research method carried out was the scientific, explanatory level and the research design was experimental. The investigation concluded that the species *Typha angustifolia* L. (totora) was the one that removed the most total phosphorus with 47.97%, while the species *Phragmites australis* (reed) only removed 20.81% of total phosphorus. Regarding total nitrogen, the species *Phragmites australis* (reed) was the one that had the most removal with 36.89% compared to the species *Typha angustifolia* L. (totora) that only had 31.64%.

Key words: wastewater, nitrogen, phosphorus, *Typha angustifolia* L, *Phragmites australis*.

INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento poblacional en la ciudad de Moquegua, se desarrollaron diferentes actividades socioeconómicas que se han ido incrementando con el pasar de los años, generando el vertimiento indiscriminado de las aguas residuales, provocando que la planta de tratamiento de agua residual Omo llegue a su capacidad máxima de operación en su primera etapa.

La planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Omo, ubicada en el distrito de San Antonio, fue puesta en operación en el año 2014 para un caudal de 134 L/s, el proceso de operatividad está a cargo de la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento (EPS) Moquegua S.A.

Esta planta de tratamiento cuenta con diferentes lagunas de oxidación para el tratamiento que busca garantizar que el efluente final cumpla con la normativa vigente, pero los niveles de nutrientes de nitrógeno y fósforo pueden ocasionar impacto ambiental negativo como la eutrofización y la incomodidad de los agricultores del valle de Moquegua por la mala calidad organoléptica, por lo que es necesario desarrollar de manera inmediata alternativas para mejorar el tratamiento, estas deben ser sostenibles en el ámbito social, económico y ambiental.

Actualmente los humedales artificiales son utilizados a nivel mundial y en muchos países desarrollados por la efectividad de la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos, obteniendo al mismo tiempo efluentes de buena calidad, esto se debe a que no requieren de energía para operar ya que producen poco o ningún olor, son agradables a la vista y sobre todo sustentable. Asimismo, el uso de humedales artificiales para tratar aguas residuales industriales y domésticas se ha incrementado en los últimos veinte años, siendo una opción reconocida y recomendada para el tratamiento de aguas residuales. Cabe resaltar que este sistema se utiliza como tratamiento secundario, ya que, requiere de un afluente pre-tratado.

“Los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSH), son más eficientes en la remoción de la carga orgánica (DBO5, DQO, fósforo y nitrógeno), como es el caso de Costa Rica, donde utilizaron el papiro (*Cyperus papyrus*) obteniendo resultados de remoción de 91% para el caso del DBO5 y 72% para el DQO. En cuanto a nutrientes, se obtuvo una remoción de 75% para el fósforo soluble. Además, demostró ser apta para crecer en ambientes con temperaturas de 20 a 33°C” (1).

Del mismo modo, en España, realizaron un estudio sobre HAFSH utilizando juncos (*Phragmites australis*), que resultó en una reducción del 90% en DBO5 y DQO y una reducción del 50% en nitrógeno (2).

“La eficiencia de remoción de carga orgánica se debe a que el agua circula en un ambiente granular horizontal (arena fina, arena gruesa, grava mediana y grava gruesa), donde se encuentran los rizomas y raíces de las plantas. crecimiento de microorganismos, contribuyendo así al tratamiento de aguas residuales domésticas” (3).

Como dice Eduardo: “Vemos uno de sus beneficios: mejora la calidad del medio ambiente, es decir, reduce la materia orgánica, regenera y asimila nutrientes, almacena y/o elimina toxinas, crean y restauran nichos, contribuyen a la mejora del paisaje y la creación de zonas de amortiguamiento de crecidas e inundaciones, son fuente de agua en procesos de reciclaje de residuos para riego y piscicultura y aportan ventajas frente a otras actividades turísticas y económicas” (4).

En este sentido, el presente proyecto se refiere a la implementación de un humedal artificial subsuperficial (HAFSS) en la PTAR de Omo con *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) como vegetación emergente para reducir el contenido de nutrientes en las aguas residuales PTAR. En HAFSS, el objetivo de la evaluación es la remoción de nitrógeno total (Nt) y la remoción de fósforo total (Pt). Asimismo, comparar las especies de *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de ambos parámetros (nitrógeno total y fósforo total).

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

Las aguas residuales que son vertidas al medio ambiente sin tratamiento previo son devueltas a los ríos ocasionando contaminación orgánica e inorgánica, estas a la vez provocan degradación en los ecosistemas y efectos adversos en la salud pública.

De acuerdo con la Organización de Las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, “Los países de bajos ingresos tratan solo el 8% de las aguas residuales domésticas e industriales, esta es una tasa muy baja en comparación con el 70% en los países de ingresos altos, debido a que las aguas residuales no tratadas y contaminadas con bacterias, nitratos, fosfatos y disolventes se vierten en lagos y ríos” (5).

En América Latina el 70% de aguas residuales no son tratadas, lo que dificulta completar el ciclo del agua, principalmente por la reutilización del agua debido a su contaminación (6).

Según el informe de la Autoridad Nacional del Agua y el Ministerio de Agricultura, por consideraciones de “Salud pública, ambientales, económicas y sociales, las aguas residuales provenientes de los usos poblacionales o procesos industriales, no pueden ser eliminadas evacuándolas directamente a fuentes naturales o reusándolas de la misma forma para fines agrícolas; toda vez que es una obligación de quien lo produce, asumir los costos que representa su tratamiento previo; sin embargo, la mayor proporción de las aguas residuales generadas en el país no son tratadas, vertiéndose directamente a los cauces naturales continentales, al mar o por falta de agua superficial para la agricultura. Sólo una pequeña fracción recibe algún tratamiento previo, antes de su evacuación” (7).

En el Perú existen 143 plantas de tratamiento de agua residual, pero solo el 14% cumple con la normativa vigente (5). El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, señala que “En nuestro país de 50 Entidades Prestadoras de Servicios (EPS) de saneamiento que brinda el servicio de alcantarillado, cubre solo el 69,65% de la población urbana, por la tanto, la población no cubierta vierte sus aguas

residuales sin tratamiento al mar, ríos, lagos, quebradas o emplean para el riego de cultivos” (8).

En la región Moquegua, provincia de Mariscal Nieto y distrito de Moquegua, se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales Omo, la cual es administrada por la Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Moquegua S.A. Esta planta de tratamiento de agua residual, se diseñó para un caudal de 134 L/s, pero con el crecimiento demográfico y el consumo desigual del recurso hídrico, se genera un caudal de 150 L/s, por lo tanto, se presenta el riesgo de no mantener un adecuado tratamiento debido a la reducción de su capacidad máxima de diseño en sus primeras etapas con los efectos de aumentar las concentraciones de nutrientes como nitrógeno total y fósforo total en las aguas residuales.

En este caso, el problema común es la eutrofización, causada por un aumento en la concentración de nitrógeno y fósforo que son nutrientes necesarios para que la biomasa se multiplique en cada fuente de agua y afecte la calidad del agua.

García afirma que, “El consumo de tratamiento de agua enriquecida provoca un proceso de descomposición después de la vegetación, cambia el consumo de oxígeno disuelto en el agua y también varía en varios parámetros, provocando cambios rápidos en los recursos hídricos en ríos, lagos, etc. ambiente hipertrófico durante cinco años o décadas, por lo que esto puede ser un problema global” (9). El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de la remoción de nitrógeno y fósforo en *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis* en Omo. planta de tratamiento de aguas residuales para mejorar la calidad de las aguas vertidas al río Moquegua.

1.1.1. Problema General

¿Cuál es el efecto en la remoción de nutrientes con *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo?

1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es el efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Typha angustifolia* L. (totora) en la planta de tratamiento de agua residual Omo?

- ¿Cuál es el efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo?
- ¿La especie *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) tienen efectos diferentes en la remoción de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Analizar el efecto de la remoción de nutrientes con *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto de la remoción de nitrógeno y fósforo con *Typha angustifolia* L. (totora) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.
- Determinar el efecto de la remoción de nitrógeno y fósforo con *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.
- Comparar las especies *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Ambiental

Esta investigación permitirá reducir las concentraciones de nitrógeno y fósforo con las especies vegetales *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) provenientes de los residuos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Omo en el distrito de Moquegua. Además, previene el proceso de eutrofización (agotamiento del oxígeno) y mejora la calidad del medio fluvial como cuerpo receptor.

1.3.2. Económico

Siempre que sea posible, la EPS Moquegua S.A. puede realizar tratamientos a mayor escala, sin necesidad de mantenimiento, consumo de energía y uso de insumos químicos, además existen especies que abundan en la zona, lo que contribuye un importante ahorro en los costos de operación.

1.3.3. Social

La investigación de ser factible podría permitir brindar una buena calidad de agua, por lo tanto, se evitaría conflictos con la población aledaña, también se podría contribuir a optimizar las actividades de agricultura, disminuir los olores desagradables y optimizar la calidad de vida de la población.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Ho: No existe efecto significativo de *Typha angustifolia* L. y el *Phragmites australis* en la remoción de nutrientes de la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Ha: Existe efecto significativo de *Typha angustifolia* L. y el *Phragmites australis* en la remoción de nutrientes de la planta de tratamiento de agua residual Omo.

1.4.2. Hipótesis específicas

1.4.2.1. Hipótesis específica 1

Hipótesis nula (Ho): No existe efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Typha angustifolia* L. (totora) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Hipótesis alterna (Ha): Existe efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Typha angustifolia* L. (totora) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

1.4.2.2. Hipótesis específica 2

Hipótesis nula (H₀): No existe efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Hipótesis alterna (H_a): Existe efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

1.4.2.3. Hipótesis específica 3

Hipótesis nula (H₀): No existe diferencia significativa en las especies *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Hipótesis alterna (H_a): Existe diferencia significativa en las especies *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

1.5. Variables de investigación

Tabla 1. Operacionalización de variables.

	Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala
Variable independiente	<i>Typha angustifolia</i> L. (totora) y Phragmites <i>australis</i> (carrizo)	Especies vegetales utilizadas en humedales artificiales para el tratamiento de agua residual.	Aplicación de <i>Typha angustifolia</i> L. (totora)	Tiempo de retención	Días	Razón
	Aplicación de <i>Phragmites australis</i> (carrizo)		Tiempo de retención	Días	Razón	
Variable dependiente	Remoción de nutrientes	Consiste en la reducción de las concentraciones de nitrógeno y fósforo a la salida del efluente.	Remoción de Nitrógeno	Concentración de Nitrógeno	mg/L	Razón
			Remoción de Fósforo	Concentración de Fósforo	mg/L	Razón

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

El artículo científico titulado “Uso de plantas de humedales en la eliminación de nutrientes de las aguas residuales municipales, tuvo como objetivo determinar la eficiencia de remoción del nitrógeno total y del fósforo total; donde utilizaron las especies de *Phragmites australis*, *Typha* y *Rush*, los cuales fueron divididos por células para sembrar dichas especies. Los resultados obtenidos fueron: la especie *Typha* removió 49,39% de nitrógeno total y 17,98% de fósforo total, la especie de *Phragmites australis* (carrizo) removió un total de 44,62% de nitrógeno total y 13,22% de fósforo total y la especie *Rush* removió 27,62% de nitrógeno total y 9,46% de fósforo total. Concluyendo que las especies *Typha* y *Phragmites australis* fueron las más eficientes en la remoción de dichos nutrientes” (10).

Vymazal en su artículo científico “Eliminación de nutrientes en varios tipos de humedales artificiales, desarrolló la comparación de la remoción de nitrógeno total y fósforo total de las aguas residuales, entre los dos tipos de humedales artificiales tanto de flujo vertical como horizontal, donde se utilizó la especie macrófitas flotante *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) para el humedal vertical y para el horizontal las especies de *Typha spp* (totora) y *Phragmites australis* (carrizo), donde se obtuvieron resultados de remoción de nitrógeno total de 40% en humedal vertical y 55% en el humedal horizontal; en caso del fósforo se obtuvieron valores de remoción de 40% para el humedal vertical y 60% para el humedal horizontal. Llegando a la conclusión de que los humedales de flujo vertical eliminaron con éxito el amoníaco, pero la desnitrificación fue muy limitada, en cambio en los humedales de flujo horizontal proporciona buenas condiciones para la desnitrificación y la nitrificación del amoníaco es limitada. Vymazal, recomienda que para tratar el nitrógeno y fósforo de las aguas residuales se debe crear sistemas híbridos los cuales son la combinación de ambos humedales (vertical y horizontal)” (11).

En Morelos, México, se realizó la investigación titulada: “Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la

remoción de la carga orgánica cuyo objetivo fue evaluar el porcentaje de remoción de la carga orgánica y nutrientes de aguas residuales, en un sistema de tratamiento por humedales artificiales de flujo horizontal y con dos especies vegetales. El sistema fue diseñado con tres módulos instalados de manera secuencial: en el primero, se integraron organismos de la especie *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel; en el segundo, organismos de la especie *Typha dominguensis* (Pers.) Steudel y en el tercero, las dos especies. Los módulos experimentales fueron instalados a la salida de un tratamiento primario, el cual contiene aguas residuales municipales provenientes de un edificio de investigación. Todos los organismos tenían una talla aproximada de 40 cm. una vez que los módulos fueron instalados y las plantas fueron colocadas, se canalizaron las aguas residuales abriendo y cerrando las llaves de paso para permitir un tiempo de residencia del agua en los humedales hasta que las plantas se reprodujeron y alcanzaron una talla promedio de un metro, después de establecer el sistema y las plantas como se describe arriba, se tomaron muestras de agua residual diariamente durante nueve días. Los resultados de fósforo total con el carrizo en la época de estiaje, donde la muestra que ingresó al sistema presentó una concentración de 0.9 mg/L de la cual se remueve 3.13 % (0.87 mg/L). En el caso de la totora, la concentración del fósforo total aumentó a 0.9 mg/L. Al final del sistema, se presenta una remoción total de 21.87 % (0.7 mg/L). En la época de lluvias, la concentración del fósforo total presentó una concentración de 1.96 mg/L antes de su entrada al sistema y se removió 40.35 % al final del tratamiento. Se demostró que el sistema es una opción para la remoción de la carga orgánica y de nutrientes con bajo costo de operación y mantenimiento” (12).

El artículo científico realizado en Yazd, Irán, titulado “Comparación de la eficiencia de *Cyperus alternifolius* y *Phragmites australis* en el tratamiento de aguas residuales municipales por el método de humedales subsuperficiales, donde se utilizaron tres reactores (piloto de control, planta piloto con *Cyperus alternifolius* y planta piloto con *Phragmites australis*), los cuales fueron diseñados por el método de humedal subsuperficial construido. Se tomaron 90 muestras de entrada y salida de los reactores, el tiempo de retención fue de cuatro días. Estas muestras fueron analizadas y finalmente se mostraron los resultados de la eficiencia de eliminación de los parámetros tales como DQO, DBO5, SST, NO3-

N, N-NH₃, PO₄ -P, coliformes totales y coliformes fecales fue de 74, 73, 84, 40, 36, 70, 33 y 38% en el humedal con *Cyperus alternifolius*, 44, 34, 77, 15, 0,3, 1, 17 y 26% en el humedal de control y 59, 54, 73, 6, 3, 10, 93 y 50 en el humedal con *Phragmites australis*, respectivamente. Esta tasa de reducción en todos los parámetros, excepto en coliformes fecales fue estadísticamente significativa ($p = 0,05$). Los resultados de este estudio mostraron la macrófita *Cyperus alternifolius* ha tenido una mayor eficiencia en la eliminación de los parámetros químicos, mientras que *Phragmites australis* tuvo eficacia adecuada en la eliminación de los parámetros microbiológicos. Por lo tanto, se puede concluir que la aplicación de estas dos plantas puede ser eficaz en el tratamiento de aguas residuales” (13).

En la investigación “Remoción de nutrientes en un sistema piloto de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas en ecosistemas de montaña, se utilizaron tres humedales construidos a escala piloto, en dos de los pilotos se utilizaron variedades nativas de *Phragmites australis* (carrizo), *Scirpus californicus* (totora), mientras que en el tercero no se sembró vegetación emergente. En cada piloto se colocó grava de 18 a 25 mm de diámetro (porosidad del 38%), excepto en los primeros y últimos 15 cm, donde se colocó grava mayor a 25cm para evitar obstrucciones (estructuras de entrada y salida), dando un volumen efectivo de aproximadamente 0,6 m³. Los resultados muestran que el desempeño de los mismos en la remoción de nitrógeno total alcanza valores promedio entre 60 y 88%, mientras que, para el fósforo total se obtuvieron valores promedio entre 35 y 49%, para el tiempo de retención hidráulica entre cinco y nueve días respectivamente lo que demuestra la factibilidad de su uso para las condiciones de altura y temperatura de la ciudad de Cuenca” (14).

De acuerdo con la investigación de Solís et al., titulada “Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales usando diferentes especies de vegetación macrófita, se implementaron humedales artificiales de flujo libre operando con *Typha domingensis* (totora) y *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y humedales de flujo subsuperficial empleando *Paspalum paniculatum* (camalote) y *Cyperus articulatus* L (chintul) para remover contaminantes del agua residual, también se implementaron lagunas sin vegetación y lagunas con grava como controles. Se empleó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias

significativas entre los cuatro tratamientos y los controles. El humedal que presentó la mayor eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual fue el de flujo libre utilizando *Typha domingensis* (eficiencias de remoción de turbiedad, color, DQO, DBO5, NT, PT y SST de 97,1; 83,4; 97,8; 97,5; 97,2; 91,1 y 97,7% respectivamente), seguido por el humedal de flujo subsuperficial empleando *Paspalum paniculatum* con remociones de 94,8; 71,5; 94,7; 94,8; 92,7; 52,2 y 93,0% respectivamente. Los humedales de flujo libre empleando *E. crassipes* y de flujo subsuperficial que utilizó *C. articulatus* L presentaron las menores eficiencias de remoción de contaminantes. Los tiempos de retención hidráulica fueron de 5,5 y 7,5 día” (15).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En la investigación titulada “Evaluación de la eficiencia de las plantas totora y carrizo en la absorción y remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de Namora - Cajamarca, 2020”, el análisis de los resultados arroja turbidez, TSS, TDS, NA, NT, aluminio, bario, DBO5 y DQO y mostraron que *Scirpus californicus* (totora) fue más eficaz en la recepción y eliminación de los nutrientes tratados, el agua residual doméstica, obtuvo eficiencias 94,5% turbiedad, 97,2% SST, 95,4% NA, 95,99% NT, 98,98% aluminio, 51,06% bario, 93,39% DBO5 y DQO, en el análisis de parámetros microbiológicos de coliformes, el *Phragmites Australis* (carrizo) tenía una mayor capacidad de limpieza, es decir tiene mayor eficiencia con 92% C-de Total, 95% C-Term y 95.2% E-Coli (16).

Según la investigación de Eduardo, la construcción de un humedal artificial o HAFSS en la planta de tratamiento de aguas residuales de Esmeralda Corp SAC, utiliza la especie *Typha domingensis* Pers. (totora) como vegetación emergente. En la operación se evaluaron parámetros físicos como pH, turbidez y temperatura, pero durante el horario estándar de funcionamiento se evaluaron parámetros primarios y complementarios, tanto de impacto como de efluente. Los parámetros más importantes incluyen: N-total, N-amoniaco, N-nitratos, P-total, ortofosfatos y anhídrido de fósforo, siendo parámetros adicionales: pH, turbidez y temperatura. “Se reportó una remoción final de 87.8% de N total, 90% de N-amoniaco y 99.6% de N-nitrato; en relación al fósforo, en la remoción final se registró un 94,5% de

P-total, un 99,4% de ortofosfatos y un 94,3% de anhídrido de fósforo. Estos valores indican la alta eficiencia de HAFSS en la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo” (4).

El trabajo realizado por Maldonado, “Separó 02 sub-fases en la fase experimental, la primera sub-fase de la semana 11 a la semana 17 y la segunda sub-fase de la semana 18 a la semana 34. Durante la primera sub-fase, correspondiente a la fase en la que en comparación con el campo nuevo, se encontró que la entrada promedio de nitrógeno total es de 69 mg/l, mientras que la salida de H1 es de 56 mg/l y en H2 de 63 mg/l. de nitrógeno amoniacal al impacto fue de 54 mg/l, las descargas en H1 fue de 47 mg/l y en H2 de 53 mg/l. Se concluyó que H1 tiene una mayor capacidad para remover nitrógeno que H2 debido a que las raíces de carrizo en H1 fueron más fuertes y permitieron una mayor oxigenación del agua remanente. La segunda evaluación comparó la capacidad de eliminar nitrógeno del suelo húmedo con aireación intermitente de H3 con H2 convencional. En este caso, la hora de inicio es 03 grados. En la primera fase (semana 05 a semana 10) se utilizó tiempo de aireación de 6 horas encendida y 6 horas apagada, en la segunda fase (semana 11 a semana 16) se utilizó un tiempo de aireación de 3 horas encendida y 3 horas apagada y en la tercera fase (de la semana 17 a la semana 22) se utilizó un período de aireación de 2 horas encendido y 4 horas apagado. Cada fase duró 6 semanas, lo que resultó en una fase inicial total de 18 semanas. La mayor eficiencia de remoción de nitrógeno se presentó en la fase 3. De igual manera, la fase experimental tuvo una duración de 12 semanas (semanas 23 a 34), durante las cuales se encontró un promedio de nitrógeno total de 44 mg/l. en impacto, mientras que en aguas residuales en H2 es de 37 mg/l y en H3 de 24 mg/l. De igual forma, la cantidad promedio de nitrógeno amoniacal al impacto fue de 38 mg/l, mientras que en la salida de H2 fue de 32 mg/l y en el agua de H3 fue de 4 mg/l. Se concluyó que la eficiencia del H3 en la remoción de nitrógeno es mayor que la eficiencia del H2, ya que el proceso de nitrificación y desnitrificación del H3 se apoya en la aireación intermitente” (17).

Según la investigación que realizó Mellado, “Los humedales artificiales son conocidos como una alternativa al tratamiento de aguas residuales domiciliarias. Para ello, se determinó la efectividad de tres especies de macrófitas: *Typha domingensis* (totora), *Phragmites australis* (carricillo) y *Schoenoplectus*

americanus (junco) sembradas en tres sistemas subterráneos de turba artificial para el tratamiento de aguas residuales” (18). Primer sistema (H1); especie *Typha domingensis* (totorá), en el segundo sistema (H2); especie *Phragmites australis* (carricillo) y en el tercer sistema (H3); *Schoenoplectus americanus* (junco). El tiempo de mantenimiento de cada sistema es de 48 horas, la calidad del agua residual se determina antes de ingresar a los prados ya la salida de cada sistema. Las eficiencias de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) fueron 86,7%, 83,4% y 87% para *Typha domingensis* (totorá), *Phragmites australis* (carricillo) y *Schoenoplectus americanus* (junco), respectivamente para DQO se obtuvo 70,37%, 72,85% y 70,12%; para fosfatos, 43,89%, 35,91% y 47,96%; para aceite y grasa, 97,10%, 95,91% y 96,90%. Otros parámetros examinados (parámetros estándar, amonio, SST) muestran valores de salida aceptables de los sistemas (18).

El trabajo titulado “Remoción de fósforo y nitrógeno de aguas residuales domésticas por humedal artificial de flujo vertical con antracita y tereftalato de polietileno, en Toma, Carhuaz – Ancash”, tiene como objetivo el proceso de remoción de fósforo y nitrógeno en aguas residuales domésticas utilizando Humedales Artificiales de Flujo Vertical. Se utilizó como sustrato filtrante antracita y tereftalato de polietileno y macrófitas acuáticas de la zona. El estudio se basa en la obtención de estos parámetros en cada una de las fases del proceso, es decir, los parámetros de medición son los siguientes: fósforo y nitrógeno total, tales como temperatura, pH, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, insolubles volátiles. El agua restante de las casas encuestadas se utilizará como fuente de energía eléctrica. En términos de fósforo total, los resultados muestran una eficiencia del sistema relativamente baja de más del 50% y menos del 62% a pesar del período de monitoreo. En cuanto al nitrógeno total, se logró una reducción de 34,6 mg/l a 22,5 mg/l en el caso de la antracita y el tereftalato se redujo de 34,6 mg/l a 22,4 mg/l, se obtuvo como resultado una tasa de remoción del 35% (19).

2.1.3. Antecedentes locales

En la investigación desarrollada por Coayla et al., en el valle de Moquegua, quienes examinaron la capacidad de fitodepuración de las aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR Omo a través de un sistema de

tratamiento hecho con plantas de junco, instalado con el apoyo de una estructura habilitada por flotadores. La evaluación del agua tratada, se realizó en el efluente del sistema de fitodepuración a los tres, seis y nueve días de afectadas las plantas. Para el análisis de datos también se utilizó un diseño completamente al azar con análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de hipótesis de Tukey. El sistema de tratamiento se presentó con mayor eficacia luego de nueve días de continuidad para parámetros de sólidos totales en suspensión (TSS) con valores de 51 mg/l y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) con valores de 52 mg/l y para parámetros de potencial de hidrógeno (pH) son muy similares (20).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales domésticas

Según el Ministerio de Agricultura en el Decreto Supremo N° 001-2010-AG, menciona que: “Las aguas residuales domésticas, son aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana” (21) .

De igual manera, “Presentan un alto contenido de materia orgánica, compuestos químicos domésticos (detergentes), compuestos clorados y microorganismos patógenos. En ocasiones, el agua generada por varias industrias puede entrar también en esta clasificación si no contiene una gran proporción de sustancias de síntesis química” (22).

2.2.1.1. Características físicas del agua residual

a. Temperatura

La temperatura de las plantas de tratamiento de aguas residuales, “Es importante porque afecta la operación y el proceso de tratamiento, también cambia la concentración de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y la actividad microbiana, por lo tanto, la temperatura del agua residual puede alterar los organismos acuáticos de un cuerpo de agua receptor. La temperatura óptima para la actividad bacteriana es de 25°C a 35°C” (23).

b. Sólidos totales

La medición de sólidos totales, incluye los sólidos disueltos y sólidos suspendidos. “La parte solida quedaría retenida por una membrana filtrante con un tamaño de poro de 1,2 micras, que constituye los sólidos suspendidos, y el resto los sólidos disueltos” (24).

c. Turbidez

Teniendo en cuenta al Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, “La turbiedad es producida por las partículas que componen los sistemas coloidales (arcillas, limo, tierra finamente dividida, etc.); es decir, aquellas que por su tamaño se encuentran suspendidas y reducen la transparencia del agua en menor o mayor grado. Las mediciones de turbidez se realizan con un turbidímetro o nefelómetro. La unidad utilizada es por lo general, la unidad nefelométrica de turbiedad (UNT)” (25).

d. Color

En aguas residuales, “El color es causado por los sólidos en suspensión, material coloidal y sustancias en solución, asimismo, el color puede ser usado para estimar la condición general del agua residual” (26).

2.2.1.2. Características químicas del agua residual:

a. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Como expresa la Secretaría General de la Comunidad Andina, “La demanda bioquímica de oxígeno mide la cantidad de oxígeno requerida o consumida para la descomposición microbiológica (oxidación oscura de 5 días) de la materia orgánica en el agua por los microorganismos para oxidar la materia orgánica descompuesta” (27).

b. Demanda química de oxígeno

Ramírez et al., menciona que: “Representa una medida de toda la materia orgánica e inorgánica presente en disolución y/o suspendida que puede ser químicamente oxidada, por la acción de agentes oxidantes, bajo condiciones ácidas y se mide como miligramos de

oxígeno equivalentes a la fracción orgánica disuelta y/o suspendida por litro de disolución” (28).

c. Oxígeno disuelto

Cantidad de oxígeno gaseoso (O_2) en el agua, “Se expresa en su presencia en el volumen de agua (miligramos de O_2 por litro) o de su proporción en el agua saturada (porcentaje). La concentración de oxígeno disuelto es importante para evaluar la calidad del agua superficial y controlar el proceso de tratamiento de desechos” (27).

d. pH

De acuerdo con Romero, “La concentración de iones de hidrógeno en una disolución. Se utiliza como medida de la naturaleza ácida o alcalina de una solución acuosa, muchas propiedades de las sustancias químicas dependen de la concentración del ión hidrógeno en solución” (23).

2.2.2. Tratamiento de aguas residuales domésticas

Según el Ministerio del Ambiente: “El objetivo de proteger al medio ambiente, así como la salud de la población, las aguas residuales domésticas precisan de un tratamiento adecuado antes de proceder a su disposición final o reutilización para proteger al medio ambiente, así como la salud de la población. Para ello, se debe considerar la mejor combinación de opciones tecnológicas, la cual conlleve a lograr el mayor beneficio ambiental con un uso mínimo de recursos y al menor costo económico. Por lo tanto, en función de las diversas operaciones y procesos existentes para la depuración de aguas residuales, existen diversos niveles de tratamiento” (29).

a. Pretratamiento o tratamiento preliminar

Teniendo en cuenta a Miranda quien manifiesta que es el tratamiento donde se elimina los sólidos de gran tamaño (gruesos) en las aguas residuales y que la presencia de estos puede ocasionar problemas en el funcionamiento de varios tipos de procesos, mantenimiento, operaciones y sistemas auxiliares.

“Desbaste por interceptación elimina sólidos gruesos y sedimentables; el desarenado elimina la materia en suspensión gruesa; la flotación elimina

partículas con densidades cercanas al agua (aceites y grasas) y sólidos en suspensión finamente divididos” (30).

b. Tratamiento primario

“Consiste principalmente en la remoción de sólidos suspendido mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalinidad excesiva y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química” (31).

c. Tratamiento secundario o biológico

De acuerdo con Vidal et al., “Se entiende por tratamiento secundario a la degradación de la materia orgánica presente en el agua residual, mediante un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos que utilizan dicha materia orgánica como nutriente. Su objetivo es remover la materia orgánica contaminante, es decir, reducir la demanda de oxígeno en el agua” (32).

d. Tratamiento terciario

Belzona menciona que, “Consiste en procesos físicos y químicos especiales con los que se consigue limpiar las aguas de contaminantes concretos: fósforo, nitrógeno, minerales, metales pesados, virus, compuestos orgánicos, etc. Es un tipo de tratamiento más caro que los anteriores y se usa en casos más especiales como por ejemplo para purificar desechos de algunas industrias” (33).

2.2.3. Nutrientes

Como expresa el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento los nutrientes son sustancias que al ser asimiladas por organismos, promueve su crecimiento, en aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales (34).

2.2.4. Remoción de nutrientes

Desde el punto de vista de Noyola et al., “Las aguas residuales poseen altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo), en el agua provoca problemas como la eutrofización acelerada en lagos, favorece el crecimiento de algas, provoca un consumo de oxígeno adicional en los cuerpos hídricos, es tóxico para los organismos acuáticos superiores, reduce la eficiencia de cloración del agua. Para

la remoción de nutrientes es posible aplicar procesos fisicoquímicos, pero sus elevados costos y generación de lodo no fácilmente tratable, los hacen en muchos casos no recomendables. La utilización de sistemas biológicos para este objeto es lo más adecuado. Existen sistemas de tratamiento con biomasa suspendida concebidos para la remoción simultánea de nitrógeno y fósforo” (35).

2.2.4.1. Fósforo

Según Bergmann, “El fósforo está presente de diversas formas en el agua residual se encuentra casi exclusivamente como fosfato; los cuales se clasifican como ortofosfatos (fosfato PO_4^{-3}), fosfatos condensados (polifosfatos) y fosfatos unidos orgánicamente. Estos pueden estar en solución, en partículas o detritus o en los cuerpos de los organismos acuáticos” (36).

a. Remoción de fósforo

Como señala De Miguel et al., “El fósforo se encuentra en las aguas residuales en forma de fosfatos sean disueltos o en partículas, estos se clasifican en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro- meta- y poli-fosfatos) y fosfatos en compuestos orgánicos (fósforo orgánico). Los fosfatos orgánicos se forman por procesos biológicos y en el agua residual son componentes de restos de alimentos, organismos y otros residuos orgánicos” (37).

Kolb define: “En términos de utilización, en la planta de tratamiento lo que importa es la concentración de fosfato orgánico antes que la concentración de fósforo total. La remoción de ortofosfato ocurre principalmente como una consecuencia de la adsorción, complejización y reacciones de precipitación con Al, Fe, Ca y materiales arcillosos en la matriz del sustrato. El consumo de fósforo por planta puede ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción y los valores del 3% de la carga anual han sido reportados. Dependiendo del valor de pH dentro del sustrato, el fósforo está presente en forma de sal soluble o minerales insolubles, que significa que el fósforo puede ser transferido dentro de un humedal construido. Debido al contenido de óxidos metálicos en el sustrato, la fijación de fósforo como fosfatos por medio de la adsorción, se modifica” (38).

2.2.4.2. Nitrógeno

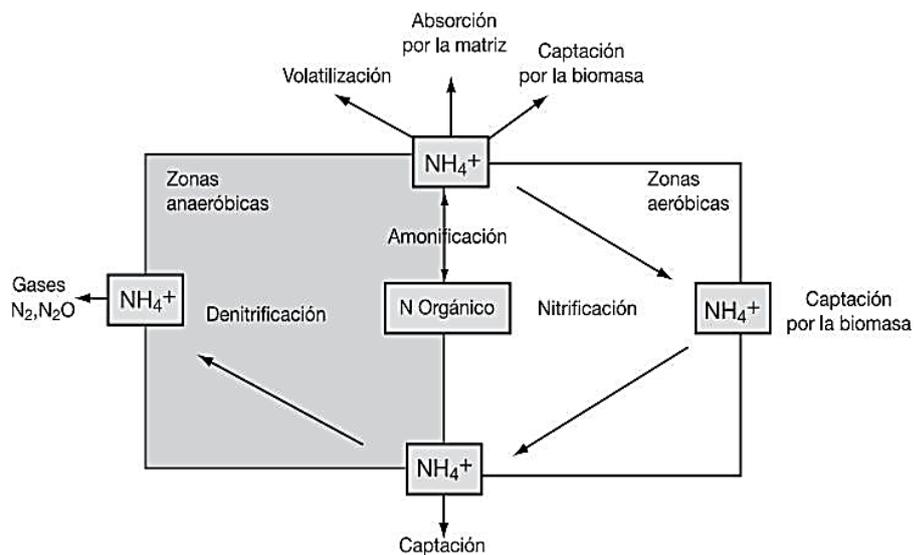
En el agua los componentes nitrogenados inorgánicos más frecuentes son el amonio, nitrito y nitrato. “En algunos casos cuando la contaminación es producida por fertilizantes inorgánicos o por algún proceso industrial, pueden encontrarse cantidades significativas de nitritos y nitratos” (39).

a. Remoción de nitrógeno

Según Delgadillo et al., “Al momento que ingresa agua residual al humedal, la mayor parte del nitrógeno está presente como nitrógeno orgánico, que es fácilmente transformado a amonio. Los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales construidos son la nitrificación y la desnitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato. Todo el proceso puede ser dividido en pasos, iniciando con la amonificación, seguido por la nitrificación y desnitrificación” (24).

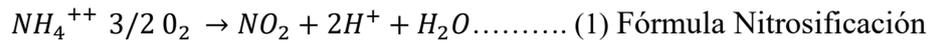
La amonificación ocurre en las zonas aeróbicas y anaeróbicas, por la mineralización del nitrógeno contenido en los orgánicos.

Figura 1. Diagrama de metabolismo del nitrógeno.

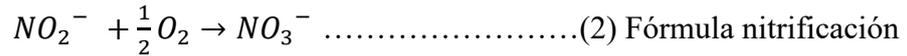


Fuente: Delgadillo et al. (24).

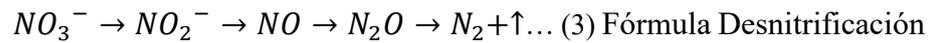
La nitrificación requiere la presencia de oxígeno disuelto (condiciones aeróbicas), amonio o nitrito como fuente de energía y dióxido de carbono como fuente de carbono.



En este paso, “La liberaci\u00f3n de iones de hidr\u00f3geno baja el pH, por lo que es necesario un medio fuertemente alcalino para mantener un pH en el rango de 7.5 a 8.6, el g\u00e9nero bacterial que es considerado para catalizar esta reacci\u00f3n es el nitrosomas, y el g\u00e9nero nitrobacter es responsable para la transformaci\u00f3n de nitrito a nitrato” (40).



“Un amplio rango de bacterias anaer\u00f3bicas facultativas, siendo las m\u00e1s comunes *Pseudomonas sp.*, *Achromobacter sp.* y *Aerobacter sp.*, realizan el proceso. Toda la reacci\u00f3n que incluye como primer paso la conversi\u00f3n de nitrato a nitrito, seguida de la producci\u00f3n de \u00f3xido n\u00edtrico y gas nitr\u00f3geno” (24). Se resume de la siguiente manera:



Los tres productos son gaseosos, pero especialmente el gas nitr\u00f3geno es perdido en la atm\u00f3sfera debido a que los primeros dos productos son pasajeros en la mayor\u00eda de los casos.

2.2.5. Humedales artificiales (HHAA)

Seg\u00fan The Interstate Technology & Regulatory Council Wetlands Team (ITRC) los define como “sistemas de ingenier\u00eda, dise\u00f1ados y contruidos para utilizar las funciones naturales de los humedales, de la vegetaci\u00f3n, los suelos y de sus poblaciones microbianas para el tratamiento de contaminantes en aguas residuales” (41).

Los humedales artificiales, como los suelos naturales, pueden reducir grandes cantidades de contaminaci\u00f3n del agua como: DBO sin disolver, nutrientes, metales, pat\u00f3genos y nitr\u00f3geno y f\u00f3sforo. “Esta eliminaci\u00f3n ocurre a trav\u00e9s de una variedad de procesos, que incluyen la sedimentaci\u00f3n, filtraci\u00f3n, el metabolismo microbiano aer\u00f3bico y anaer\u00f3bico, la absorci\u00f3n por la planta y la respiraci\u00f3n. La principal diferencia entre una turbera natural y una artificial, es que la una turbera artificial, permite el tratamiento de aguas residuales seg\u00fan dise\u00f1os basados en

objetivos específicos de calidad de aguas residuales. La acción de los pantanos artificiales se basa en tres principios básicos: la actividad bioquímica de los microorganismos, el aporte de oxígeno a las plantas por el sol y el soporte físico del lecho inerte, que sirven de soporte a la raíz de la planta y como material filtrante” (42).

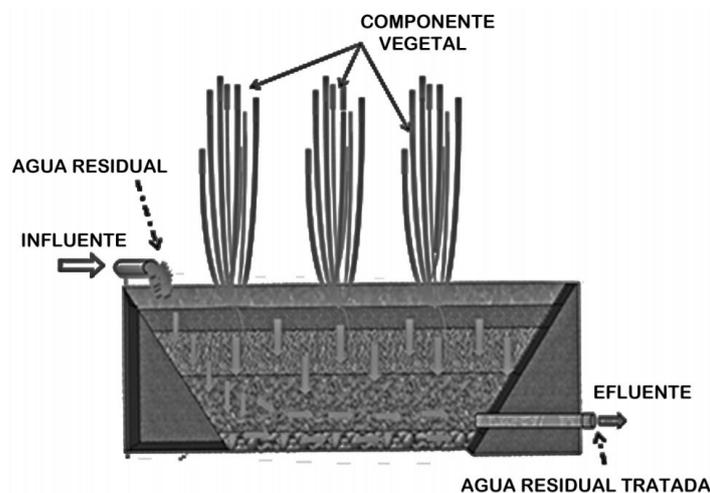
Según Delgadillo et al., “Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato enraizada o macrófitas flotantes libres. Los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos de acuerdo con la circulación del agua que se emplee:

- 1) Humedales de flujo superficial: si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas.
- 2) humedales de flujo subsuperficial: si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal” (24).

2.2.5.1. Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HHAA FSS)

En los humedales de flujo subsuperficial, “La circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. La profundidad de la lámina de agua suele ser de entre 0,3 y 0,9 m. La biopelícula que crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas tiene un papel fundamental en los procesos de descontaminación del agua” (43).

Figura 2. *Humedales Artificiales de Flujo Superficial HHAA FSS.*



Fuente: Luna y Aburto (44).

2.2.5.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HHAA FSSH)

Los Humedales Artificiales de flujo Subssuperficial Horizontal (HHAA FSSH), “Consisten en una cubeta, generalmente impermeabilizada para reducir intercambios con las aguas subterráneas, en la cual se dispone un material granular a modo de lecho que puede dividirse en tres zonas” (45).

- Cuerpo principal, donde se desarrollan las plantas y donde tienen lugar la mayor parte de los procesos de intercambio de agua y sus componentes.
- Zona de entrada y zona de amortiguamiento de la corriente para asegurar una distribución homogénea de la corriente a lo ancho del lecho.
- Zona de salida de agua donde hay un conducto canalizador que recoge el agua y pasa por la salida. “El agua ingresa a través de un dispositivo que la esparce a lo ancho del lecho y fluye lentamente por debajo de la superficie a través del medio poroso hasta llegar al dispositivo de salida, donde se recolecta y descarga” (45).

2.2.5.3. Partes de los humedales de flujo subsuperficial

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial, se componen puntualmente de cuatro componentes: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos.

a) Agua residual

De acuerdo con Rolim: “Las aguas residuales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal, en este caso. Según su uso precedente, estas aguas resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con residuos de industrias, de actividades agrícolas, así como las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación” (46).

b) Sustrato

El sustrato o medio granular consiste en arena, grava, piedra, cimientos y desechos acumulados en el pantano por crecimiento biológico. “La

característica más importante del medio, es que debe tener suficiente permeabilidad para que el agua pase. Esto obliga al uso de suelos de tipo granular, generalmente gravas seleccionadas con un diámetro de unos 5 mm y con una finura pequeña”, El sustrato, los cimientos y los desechos en los campos designados son importantes por varias razones:

- Sostienen muchos organismos vivos en el humedal.
- Muchos cambios químicos y biológicos (principalmente microbianos) ocurren en el sustrato lo que proporciona un almacenamiento para muchas impurezas.
- La acumulación de desechos vegetales puede aumentar la cantidad de materia orgánica en el pantano. “La materia orgánica provoca intercambio de masa, repara microorganismos y es fuente de carbono que también es fuente de energía para algunas de las reacciones biológicas más importantes en el lodo”.
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del suelo húmedo (47).

c) **Vegetación**

La función de la vegetación en el sustrato está determinada básicamente por raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir, captan la energía solar para convertir el carbono inorgánico en carbono orgánico, tienen la capacidad de transferir oxígeno de la atmósfera a través de las hojas y los tallos al medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea áreas aeróbicas donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para realizar diversas reacciones de degradación y nitrificación de la materia orgánica (48).

Según Lara (47): Las plantas emergentes contribuyen de muchas maneras al tratamiento de desechos y escombros, fortalecen el sustrato y reducen el flujo de desechos, conducen a bajas velocidades del agua y permiten el asentamiento de materiales en suspensión, extraen carbono, nutrientes y los integran en tejidos vegetales, aportan en la transferencia de oxígeno entre la atmósfera y el sustrato.

d) Microorganismos

Según Arias: “Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección” (48).

Los microorganismos presentes en la biopelícula del suelo húmedo son: “Bacterias, levaduras, hongos y protozoos. La biomasa microbiana consume la mayor parte del carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de convertir grandes cantidades de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inofensivas e insolubles y cambiar las condiciones reductoras y el potencial de oxidación del sustrato, afectando así la capacidad de proceso del humedal. Asimismo, muchos contaminantes liberan gases con actividad biológica hacia la atmósfera” (47).

2.2.6. *Typha angustifolia* L. (Totora)

2.2.6.1. Características generales

Como muestra la revista flores y plantas, “es una planta perenne y rizomatosa que tiende a expandirse con facilidad y en condiciones óptimas puede superar fácilmente el metro de altura. También es una planta de crecimiento rápido, muy rústica y al desarrollarse fácilmente por rizomas, la podemos catalogar como planta invasora. Por ello debemos controlar que no invada el espacio de otras plantas que también deseamos preservar. Su multiplicación es muy sencilla mediante la división de matas, fraccionando sus rizomas” (49).

Las helófitas son plantas que se adaptan a las condiciones de saturación húmeda e inundación, si no están completamente llenas de agua. “Esto significa que soportan una fuerte reducción en la disponibilidad de oxígeno en el suelo. Incluye una parte debajo de la superficie del agua y otra parte en el aire, el papel de las helófitas en el campo artificial se resume en los siguientes aspectos: filtración para mejorar los procesos físicos de secreción de partículas,

actúa como soporte para la formación de biopelículas de microorganismos, actúa depurando el agua en el proceso de degradación aeróbica” (50).

Según Lahora, “Las helófitas aportan en la asimilación directa de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo mediante la fijación son incorporados a los tejidos vegetales, transporta grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es aprovechado por los microorganismos” (51).

Tabla 2. *Taxonomía de Typha angustifolia L. (Totora).*

Reino	Vegetal
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Typhaceae
Género	<i>Typha</i>
Especie	<i>Typha angustifolia L.</i>
Nombre común	Totora

Fuente: Linnaeus, Carl Von (52).

2.2.6.2. Características morfológicas

La totora y los helófitos en general son ancestros directos de los llamados "vegetales de raíz" y por lo tanto son similares. “Tienen una epidermis muy fina que reduce la resistencia al paso de gases, agua, nutrientes y tejidos. Poseen grandes espacios intercelulares que forman una red de canales huecos donde el aire se almacena y está rodeado de oxígeno. Permite la transferencia de oxígeno desde el aire y los órganos fotosintéticos y de allí a las raíces” (53).

a) Rizomas

La Torora cuenta con rizomas, que son tallos subterráneos que crecen paralelos a la superficie del suelo, tiene raíces adventicias por un lado y ramas con hojas y brotes por el otro, acumulan cepas, que a su vez aumentan su número y en los buenos tiempos los brotes de estas cepas se benefician de la germinación (54).

b) Tallos

Varía de 1m a 4 m erguidos a distancia o cerca uno del otro; liso, triangular o subterráneo, de color amarillo verdoso o seco. Los tallos tienen quimas aireados, tejidos incoloros con grandes espacios intercelulares llenos de aire, que facilitan la puesta y suministro de aire a los órganos sumergidos (24).

c) Xilema

Se forman por tráqueas o vasos leñosos, esto incluye las llamadas traqueidas, que están formadas por células alargadas con orificios que se comunican entre sí. (24).

d) Floema

“El floema está constituido por tubos o células cribosas, entre las células existen tabiques con agujeros o cribas que se obturan a bajas temperaturas y dificultan la conducción de sustancias orgánicas” (24).

2.2.7. *Phragmites australis* (Carrizo)

2.2.7.1. Características generales

Como indica Hidalgo, “pertenece a la familia Poaceae, alcanza una altura de 1,5 a 3m, con una profundidad de 0,7 - 0,8m, posee rizomas internos que penetran vertical y profundamente en el sustrato o lodo del suelo húmedo, por lo que es posible el efecto del oxígeno, germina en 5 días en condiciones de humedad 20 - 24°C, el carrizo es una planta que produce mucha biomasa y tiene un pH entre 2 - 8, cabe señalar que a pesar de su eficacia es uno de los factores más importantes. Para esta especie hay que tener en cuenta que, no elimina el fósforo porque no lo absorbe” (55).

Según el manual de fito depuración, se desarrolla en aguas no contaminadas y en aguas tratadas de naturaleza orgánica, alcalina o salina. La expansión está asociada con un aumento de la contaminación de las aguas minerales (especialmente con nitratos) y un aumento de su salinidad. Tolerancia muy amplia para varios parámetros de contaminación, que pueden estar relacionados con propiedades específicas del eco tipo. El carrizo se utiliza como helófito por encima y por debajo del suelo, que fluye casi exclusivamente a través de pantanos artificiales, por ser una planta rústica, polimórfica y con una amplia gama de eco tipos. Aumenta el efecto oxidante al liberar oxígeno

de los rizomas. “La capacidad de absorción de nutrientes se puede estimar a partir de la composición de sus tejidos: la biomasa aérea contiene aproximadamente un 1,1 % de nitrógeno y un 0,12 % de fósforo y la subterránea un 1,0 % de nitrógeno y un 0,15 % de fósforo” (56).

a) Hojas

Las hojas lanceoladas, alargadas y estrechas de 50 cm de largo por 5 cm de ancho, se disponen de manera alterna a cada lado del tallo. Sus láminas lisas y envainadoras tienen el ápice agudo, lígula pilosa, márgenes ásperos y de color verde-grisáceo o azulado, durante el verano son de color verde y durante el invierno de color pardo rojizo (57).

b) Flores

Las pequeñas flores comprimidas lateralmente se agrupan en panículas terminales o espigas de aspecto ramoso, de 40-50 cm de longitud y color amarillento o marrón-violáceo. Cada espiga se divide en numerosas ramas, cada una con 12 flores o más, exhibiendo un aspecto plumoso. La floración se presenta al final del verano o inicio del otoño (57).

c) Hábitat y distribución

Según Vázquez (57), el hábitat natural de la especie *Phragmites australis* se localiza sobre terrenos húmedos e inundados como humedales emergentes y persistente con lenta circulación de agua. Se desarrolla al margen de lagunas, estanques o canales de desagüe, asimismo al borde de arroyos, quebradas y riachuelos.

- Crece sobre terrenos húmedos o inundados, con alta acumulación de materia orgánica, de preferencia arcillosos y pesados. El drenaje debe ser lento con el objeto de mantener el medio continuamente húmedo.
- En cuanto al riego, cuando las condiciones ambientales lo requieran, se debe realizar de manera frecuente. Se debe regar todos los días, incluso a los alrededores para evitar que se seque el sustrato circunvecino.
- Es una planta que no requiere abonado o fertilización, a menos que el terreno donde se desee plantar sea demasiado pobre o lavado.

Tabla 3. *Taxonomía de Phragmites australis (carrizo).*

Reino	Vegetal
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Arundinoideae
Género	<i>Phragmites</i>
Especie	<i>Phragmites australis</i>
Nombre común	Carrizo

Fuente: Trin. Ex Steud (58).

2.3. Marco legal

2.3.1. Marco Legal Internacional

2.3.1.1. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua - Ecuador

La norma técnica, establece los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistema de alcantarillado.

Tabla 4. *Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.*

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/L	30.0
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5.0
Arsénico total	As	mg/L	0.1
Bario	Ba	mg/L	2.0
Boro total	B	mg/L	2.0
Cadmio	Cd	mg/L	0.02

Cianuro total	CN	mg/L	0.1
Cinc	Zn	mg/L	5.0
Cloro activo	Cl	mg/L	0.5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/L	0.1
Cloruros	Cl	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1.0
Cobalto	Co	mg/L	0.5
Coliformes fecales	NMP	NMP/10 0 ml	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0.2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO ₅	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200
Estaño	Sn	mg/L	5.0
Fluoruros	F	mg/L	5.0
Fósforo total	P	mg/L	10.0
Hierro total	Fe	mg/L	10.0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20.0
Manganeso total	Mn	mg/L	2.0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0.005
Níquel	Ni	mg/L	2.0
Nitrógeno amoniaco	N	mg/L	30.0

Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/L	50.0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0.05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/L	0.1
Plata	Ag	mg/L	0.1
Plomo	Pb	mg/L	0.2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/L	0.1
Solidos suspendidos totales	SST	mg/L	130
Solidos totales	ST	mg/L	1600
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	mg/L	1000
Sulfuros	S ²⁻	mg/L	0.5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
	Sustancias activas		
Tensoactivos	al azul de metileno	mg/L	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/L	1.0

Fuente: Tomada de Registro oficial – Edición Especial (59).

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Definiciones

a) Absorción: es el evento en el que átomos, moléculas o iones pasan de una fase, sea líquida o gaseosa, a otra líquida o gaseosa. Las plantas a menudo tienden a absorber los nutrientes mediante las raíces, aunque también pueden ser ligeramente absorbidos por las hojas cuando se colocan en una solución de fertilización foliar (60).

- b) Adsorción:** fenómeno en el cual las moléculas, átomos o iones en gases, líquidos o sólidos se disuelven en otra sustancia y que al eliminar los contaminantes en una solución acuosa utilizando biomasa residual, se puede utilizar en procesos de descontaminación, evitando así una serie de problemas, como la formación de lodos químicos y el uso alternativo de materiales que se consideran residuos. (61).
- c) Afluente:** son aguas residuales crudas o sin tratamiento que circulan a través del alcantarillado y entran a la planta de tratamiento de agua residual (24).
- d) Efluente:** líquido residual que fluye de una instalación aguas y contienen desechos sólidos, líquidos o gaseosos que son descargados por los hogares y/o la industria, por lo general a través de vías fluviales o conectado por una corriente de tierra por la lluvia (16).
- e) Sustrato:** es un medio en el que crecen plantas y microorganismos y donde tiene lugar el proceso de limpieza más importante (24).
- f) Fitorremediación:** es aprovechar “la capacidad de ciertas plantas para absorber, recolectar, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o en las bases como: metales pesados, metales radiactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo” (62).
- g) Macrófitos:** es un tipo de planta, especialmente acuáticas. Las que incluyen macrófitas son las macroalgas, las pteridófitas que alteran la vida acuática y las angiospermas (16).
- h) Eutrofización:** es el desarrollo excesivo de algas y plantas en parte interior del agua, lo que se traduce en un consumo excesivo de oxígeno, lo que impide el crecimiento de muchos otros microorganismos (24).
- i) Fosfatos (P-PO₄):** “son las sales o los ésteres del ácido fosfórico, tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica” (63).
- j) Nitrógeno Amoniacal:** es el Nitrógeno combinado en forma de amoníaco (NH₃) o amonio (NH₄⁺). El amoníaco y el amonio son gases que se producen de forma natural por fermentación microbianas de productos nitrogenados (63).

- k) Bacterias:** “nombre de los organismos unicelulares y microscópicos que carecen de un núcleo claro y se reproducen por división celular simple” (24).
- l) Filtración:** es un proceso en el cual las partículas sólidas en el líquido son separadas por un tamiz o filtro de tamaño mediano, a través del cual pasa el líquido, pero las partículas sólidas permanecen (64).
- m) Infiltración:** “flujo de agua u otro líquido a través de los poros de un sólido. Flujo de agua subterránea” (64).
- n) Ión:** es un átomo o grupo de átomos que ha perdido o ganado uno o más electrones y por lo tanto tiene una carga positiva o negativa. Los iones cargados positivamente se llaman cationes y los iones cargados negativamente se llaman aniones (24).
- o) Retención:** “es la relación entre el volumen del tanque y el caudal, también llamado tiempo de llenado” (24).
- p) Sedimentación:** proceso mediante el cual el material sólido que circula por una corriente de agua es depositado bajo un río, embalse, canal artificial o equipo especialmente diseñado para este fin (24).
- q) Aerobios:** son organismos que necesitan oxígeno diatómico para sobrevivir o los procesos que necesita para desarrollarse, el ambiente aeróbico es rico en oxígeno. “El adjetivo aeróbico se usa no solo en los organismos, sino en los procesos en los que participan el metabolismo aeróbico y en el medio ambiente en el que ocurren” (24).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método General

El método general que se utilizará es el científico porque, “Se caracteriza por ser fáctico, parte de los hechos de la realidad, trasciende los hechos, traspasa de lo particular y concreto, hacia lo conceptual, se atiene a reglas metodológicas. Una metodología comprende la aplicación de operaciones, estrategias, normas y procedimientos, fijados de antemano, con sus técnicas e instrumentos” (65). Complementariamente, “La investigación se estructura con el método experimental (diseño), donde se incluyen los métodos de muestreo, así como las variables consideradas, métodos de laboratorio, en caso de ser requerido, las técnicas de laboratorio, método de gabinete, considerando en forma sistemática desde la obtención de resultados hasta su evaluación” (66).

Asimismo, Bernal plantea que, “sigue procedimientos desde la búsqueda del problema, la hipótesis y su validación correspondiente para la formulación de las conclusiones” (67).

3.1.2. Método Específico

La presente investigación tiene como método específico, al método de campo de diseño experimental, donde se observó el efecto de la *Typha angustifolia L.* y *Phragmites australis* en la remoción de nitrógeno y fósforo, utilizando el agua residual de la laguna de maduración de la planta de tratamiento de Omo. Se realizó el diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, que se dividió para emplear las especies vegetales de totora y carrizo.

De acuerdo con el tiempo de retención se analizó cada unidad experimental, con un total de 18 muestras (incluido el grupo control) para nitrógeno y fósforo.

3.1.3. Tipo de la investigación

El tipo de investigación realizada es aplicada, se la conoce como investigación práctica o empírica, se caracteriza porque toma en cuenta los fines prácticos del conocimiento. El propósito de este tipo de investigación, es el desarrollo de un

conocimiento técnico que tenga una aplicación inmediata para solucionar una situación determinada (68).

3.1.4. Nivel de la investigación

El nivel de investigación es explicativo, “Ya que busca una determinación de los fenómenos y una explicación. En el contexto cuantitativo, se pueden aplicar estudios de tipo predictivo, donde se puede establecer una relación causal entre diversas variables, por ejemplo, estudios de modelos explicativos basados en ecuaciones estructurales donde propone una teoría que busque una comprensión de un fenómeno. Por otro lado, los estudios experimentales, donde se puede generar una manipulación intencionada de la variable independiente, pueden permitir comprobar hipótesis que expliquen el comportamiento de un determinado fenómeno. En este nivel de la investigación, es obligatorio el planteamiento de la hipótesis de investigación que busque determinar los elementos de causa y efecto de los fenómenos de interés para el investigador” (69).

3.2. Diseño de la investigación

3.2.1. Diseño experimental

“Una acepción particular de experimento, más armónica con un sentido científico del término, se refiere a un estudio en el que se manipulan intencionalmente una o más variables independientes, supuestas causas, antecedentes. Para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes supuestos efectos consecuentes, dentro de una situación de control para el investigador” (70).

El diseño para nuestra investigación será el diseño experimental, experimento puro, para el cual se aplicará el método estadístico ANOVA (Análisis de Varianza), con tres repeticiones para cada indicador de la variable dependiente y a un nivel de significancia del 5 %.

Tabla 5. Número de tratamientos con *Typha angustifolia* L. (totora).

Tratamientos	a ₁	a ₂	a ₀
Tiempo de retención	4to día	10mo día	Grupo control
Repeticiones	3	3	3

Fuente: elaboración propia.

Tabla 6. Número de tratamientos con *Phragmites australis* (carrizo).

Tratamientos	b ₁	b ₂	b ₀
Tiempo de retención	4to día	10mo día	Grupo control
Repeticiones	3	3	3

Fuente: elaboración propia.

Así también se realizará la comparación de las especies *Typha angustifolia* L. (tatora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

Las aguas residuales domésticas del efluente de la PTAR Omo - Moquegua, que tiene un caudal promedio de 9386 m³/día, esta población, se identificó de acuerdo con un aspecto ambiental, que es la descarga del efluente hacia cuerpos receptores, llegando a alterar la composición natural de los recursos hídricos y otras relacionadas con el ecosistema.

3.3.2. Muestra

En esta investigación se trabajará con un caudal de 0.5 m³/día de agua residual proveniente de la laguna de maduración de la planta de tratamiento de agua residual Omo.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas e instrumentos

Para obtener resultados en la investigación se empleó la técnica del experimento y observación, donde se utilizó agua residual de la planta de tratamiento Omo (PTAR OMO) del distrito de Moquegua.

Se tomaron muestras a la salida de la laguna de maduración para la caracterización previa antes de ingresar al humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

Antes de la adaptación de las especies vegetales, se procedió a realizar la construcción de los humedales artificiales, seguidamente, se realizó la siembra

de las especies vegetales: en el humedal 1, *Typha angustifolia* L. y en el humedal 2 *Phragmites australis*, donde el ingreso total del caudal de fue de 0.5 m³/día, este a su vez se dividió en 0.25 m³/día para la entrada de ambos humedales. Después de la adaptación de las especies en el sistema de humedales, se inició el monitoreo de acuerdo con los tratamientos especificados en las tablas 2 y 3 (tiempo de retención de 4 días y 10 días).

En total, se obtuvo 18 muestras las cuales fueron destinadas para el análisis de cada uno de los parámetros de nitrógeno y fósforo. Durante el proceso también se tomaron los parámetros de campo temperatura y pH, las mediciones se realizaron según el tiempo de retención establecido.

Al final del experimento los datos obtenidos de laboratorio y los parámetros de campo de cada una de las especies vegetales, se registraron en las fichas de control, estos registros facilitaron el análisis de los datos recabados en esta investigación.

3.4.2. Materiales

a. Materiales para el sembrío de las especies:

- 2 tinas de plástico
- Grava
- 2 baldes de plástico
- Lampa cuchara

b. Materiales para la construcción del humedal:

- Geomembrana de 1.5 mm
- Tuberías de ½”
- Llaves de paso de ½”
- Codos de ½”
- Tuberías de 4”
- Te de PVC de ½”
- Pegamento para PVC de ⅛”
- Cinta teflón ¾
- Grava
- Arena fina
- Lampa cuchara

- Pico punta
 - Carretilla
 - Wincha
- c. Materiales y equipos para la medición de parámetros de campo:
- Multiparámetro de marca Hanna
 - Jarras desinfectadas previamente
 - Libreta de apuntes
 - Lapicero
- d. Materiales para monitoreo (envió a laboratorio):
- Frascos de plástico esterilizados de capacidad de 250 ml
 - Jarras desinfectadas previamente
 - Plumón indeleble
 - Lapicero
 - Cooler
- e. Equipo de protección personal:
- Sombrero y/o gorras
 - Guantes
 - Lentes de seguridad
 - Zapatos de seguridad

3.4.3. Procedimientos

3.4.3.1. Etapa de Pre-campo

Se coordinó con la EPS (Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento) - Moquegua S.A. a fin de solicitar los permisos para la ejecución del proyecto de investigación y el reconocimiento de la planta de tratamiento de agua residual Omo.

- Ubicación de la planta de tratamiento de agua residual Omo.
- Recorrido por planta de tratamiento de agua residual Omo, identificando los procesos de tratamiento.
 - 1-2 Lagunas primarias
 - 3-4 Lagunas facultativas
 - 5-6 Lagunas de maduración

Figura 3. *Lagunas de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Omo.*



Fuente: EPS Moquegua (71).

Para el diseño del humedal de flujo subsuperficial horizontal, se utilizó la información de Jairo Rojas y con ello, se determinó el ancho y largo del humedal, considerando la concentración de DBO_5 y el caudal (72). El parámetro de conductividad hidráulica para el tipo agua residual doméstica, esta estandarizado por la norma OS. 090 por lo tanto, se utilizó una carga hidráulica de $10.00\text{g/m}^2\cdot\text{día}$. Además, se consideró una pendiente de 1%.

- **Caudal**

$$Q = V/T$$

Donde:

Q: Caudal (m^3)

V: Volumen (Litros)

T: Tiempo (día)

$$Q = V/T$$

$$Q = 0.5 \text{ m}^3/\text{dia}$$

- **Cálculo de la carga**

Donde:

$$\text{caudal de ingreso} = 0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}}$$

$$\text{carga orgánica} = 134.50 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$C = Q * DBO_5$$

$$C = 0.5 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * 134.50 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$C = 67.25 \frac{\text{g}}{\text{dia}}$$

- **Cálculo del área superficial**

$$As = \frac{C}{Ks}$$

Donde:

$$Ks = \text{carga hidráulica: } \frac{10\text{g}}{\text{m}^2} * \text{dia}$$

$$As = \frac{67.25 \frac{\text{g}}{\text{dia}}}{10 \frac{\text{g}}{\text{m}^2} * \text{dia}}$$

$$As = 6.725 \text{ m}^2$$

- **Dimensiones del humedal**

$$\text{Área del humedal} = A (\text{ancho}) * L (\text{largo})$$

Donde:

$$A = \left(\frac{As}{2}\right)^{0.5}$$

$$A = \left(\frac{6.725}{2}\right)^{0.5}$$

$$A = 1.84 \text{ m}$$

$$L = 2A$$

$$L = 2 * 1.84$$

$$L = 3.68 \text{ m}$$

3.4.3.2. Etapa de campo

Se realizó la recolección y adaptación de las especies vegetales durante un periodo de 30 días.

Se realizó la construcción de los 2 humedales artificiales.

- Se limpió el terreno retirando piedras, ramas y otros elementos.
- Luego se realizó la instalación de las tuberías de la laguna de maduración.
- Se realizó la excavación con una pequeña pendiente de 1%.
- Se verificó las medidas de largo, ancho y altura de acuerdo con el diseño del humedal.
- Después fue revestido con geomembrana para evitar la contaminación del suelo.
- Luego se procedió con las instalaciones de las llaves de paso, tuberías, codos entre otros accesorios de acuerdo con el diseño.
- Posteriormente se llenó los humedales con arena fina y grava.
- Se procedió con la siembra de *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis*.
- Una vez instalado el sistema, se observó la adaptación de las especies de *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis*.

3.4.3.3. Etapa de experimentación

Luego del inicio del experimento, se realizó el monitoreo con un tiempo de retención de 4 y 10 días. Además, se realizó la medición de los parámetros de campo: pH y temperatura.

3.4.3.4. Etapa de laboratorio

- Se coordinó con el laboratorio acreditado, Servicios Analíticos Generales S.A.C para el envío de frascos con la recolección de muestras.
- Las muestras fueron puestas en los frascos enviados por el laboratorio.
- Se rotularon los frascos con muestras antes del envío.
- Se llenó la cadena de custodia, para finalmente enviarlo a la ciudad de Lima.

3.4.3.5. Etapa de gabinete

Al finalizar el experimento, los datos recolectados fueron analizados y procesados mediante el Software estadístico IBM SPSS.

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Efecto de la remoción de nitrógeno y fósforo con *Typha angustifolia* L. (tatora)

Tabla 7. Resultados a la salida del humedal con *Typha angustifolia* L.

Parámetro	Unidades	Tiempo de Retención	Muestra		
			r ₁	r ₂	r ₃
Fósforo Total (P)	P mg/L	4to día	4.750	4.480	3.610
		10mo día	3.720	3.300	3.280
		Grupo control	8.870	6.130	7.210
Nitrógeno Total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	4to día	52.92	53.35	52.70
		10mo día	39.52	39.30	41.39
		Grupo control	68.07	68.07	68.07

Nota: r₁ = primera repetición; r₂ = segunda repetición; r₃ = tercera repetición.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Análisis de varianza para el fósforo a la salida del humedal con *Typha angustifolia* L.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F calculado	P - valor
Tratamiento	2	26.233	13.116	16.95	0.003
Error Experimental	6	4.643	0.774		
Total	8	30.876			

Fuente: elaboración propia.

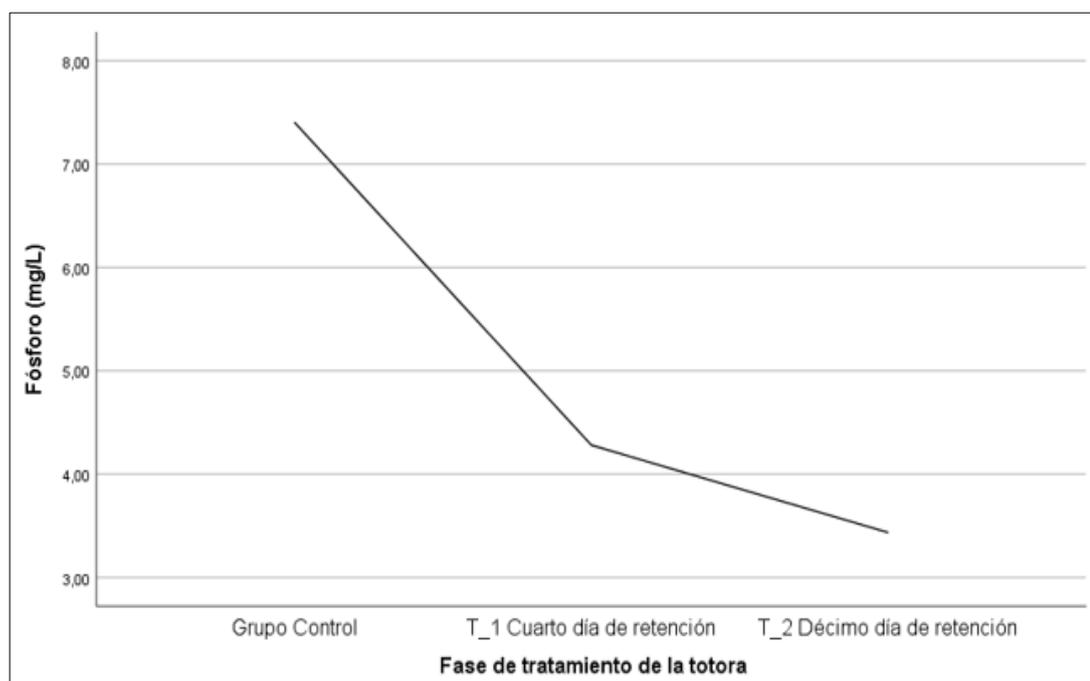
El análisis de varianza aplicado al parámetro de fósforo, permiten observar que la diferencia de medias entre los tratamientos considerados es altamente significativa.

Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador fósforo, a la salida del humedal con *Typha angustifolia* L.

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Grupo Control	3	7.403	A
T_1 Cuarto día de retención	3	4.280	B
T_2 Décimo día de retención	3	3.433	B

Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador fósforo, a la salida del humedal con *Typha angustifolia* L.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados muestran que ambos tiempos de retención (cuarto y décimo día) fueron los más efectivos en la reducción del parámetro fósforo para este sistema, con 4.280 mg/L y 3.433 mg/L. respectivamente.

Tabla 10. *Análisis de varianza para el nitrógeno a la salida del humedal con Typha angustifolia L.*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculado	P - valor
Tratamiento	2	1178.333	589.166	1237.571	0.000
Error Experimental	6	2.856	0.476		
Total	8	1181.189			

Fuente: elaboración propia.

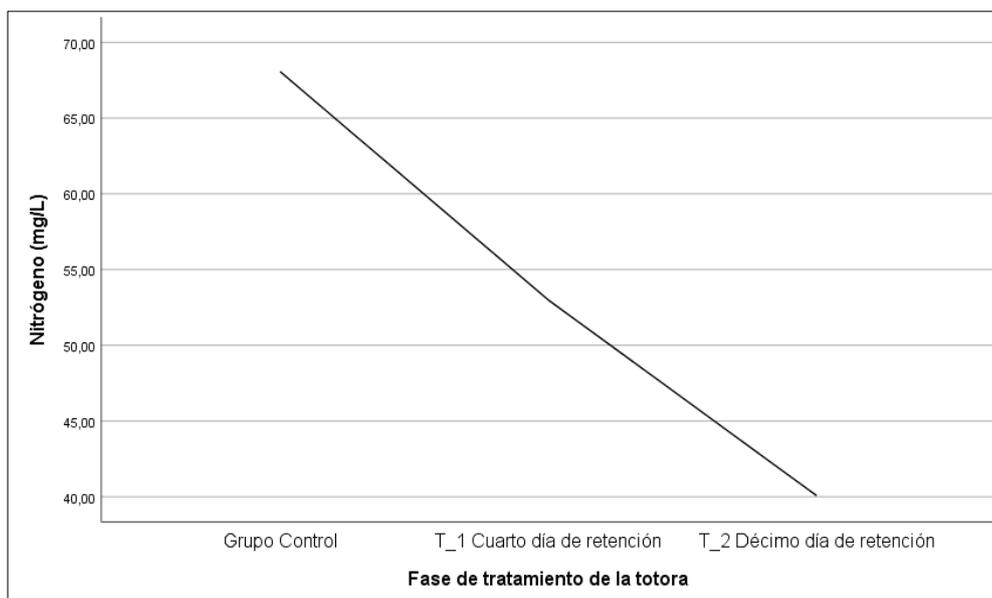
Los resultados del análisis de varianza para el parámetro de nitrógeno muestran que la diferencia de medias entre los tratamientos considerados es altamente significativa.

Tabla 11. *Prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador nitrógeno, a la salida del humedal con Typha angustifolia L.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Grupo Control	3	68.07	A
T_1 Cuarto día de retención	3	52.990	B
T_2 Décimo día de retención	3	40.070	C

Fuente: elaboración propia.

Figura 5. Comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador nitrógeno, a la salida del humedal con *Typha angustifolia* L.



Fuente: elaboración propia.

El tratamiento más efectivo para la reducción del parámetro nitrógeno en este sistema es el décimo día de retención, alcanzando una media de 40.070 mg/L en el efluente.

4.1.2. Efecto de la remoción de nitrógeno y fósforo con *Phragmites australis* (carrizo)

Tabla 12. Resultados a la salida del humedal con *Phragmites australis*.

g	Unidades	Tiempo de Retención	Muestra		
			r ₁	r ₂	r ₃
Fósforo Total (P)	P mg/L	4to día	6.470	5.200	5.840
		10mo día	6.090	5.960	5.620
		Grupo control	8.870	6.130	7.210
Nitrógeno Total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	4to día	44.90	41.72	45.78
		10mo día	41.50	41.83	42.05
		Grupo control	68.07	68.07	68.07

Nota: r₁ = primera repetición; r₂ = segunda repetición; r₃ = tercera repetición.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. *Análisis de varianza para el fósforo a la salida del humedal con Phragmites australis.*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculado	P - valor
Tratamiento	2	4.747	2.374	3.008	0.124
Error Experimental	6	4.734	0.789		
Total	8	9.482			

Fuente: elaboración propia.

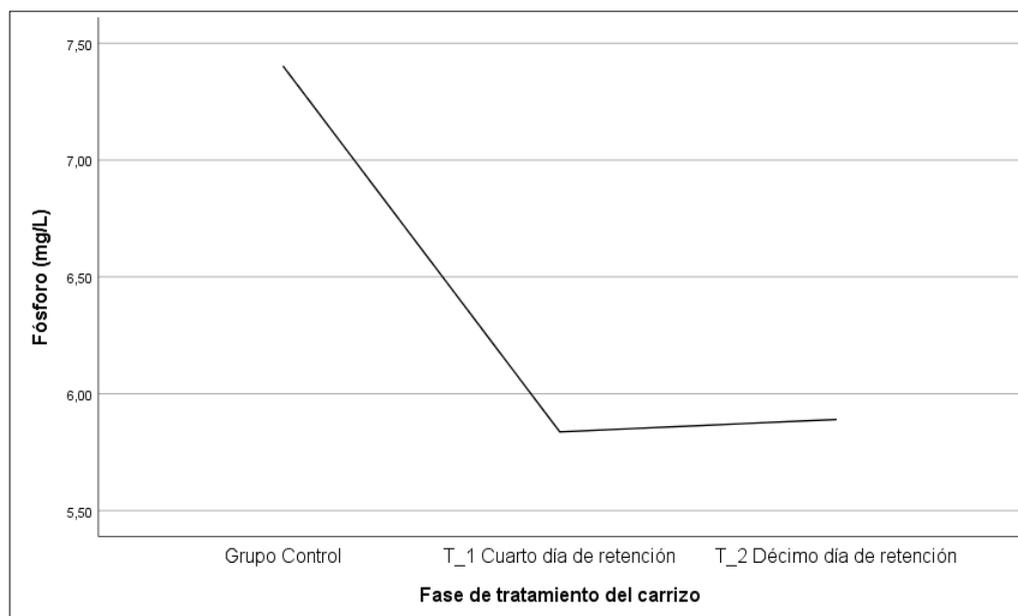
El análisis de varianza aplicado al parámetro de fósforo, permite observar que la diferencia de medias entre los tratamientos considerados no es significativa.

Tabla 14. *Prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador fósforo, a la salida del humedal con Phragmites australis.*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Grupo Control	3	7.403	A
T_2 Décimo día de retención	3	5.890	A
T_1 Cuarto día de retención	3	5.837	A

Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador fósforo, a la salida del humedal con *Phragmites australis*.



Fuente: elaboración propia.

El tratamiento para la reducción del parámetro fósforo en este sistema, muestra que no presentó diferencias significativas. En el cuarto día, se obtuvo una remoción de 5.837 mg/L, en el décimo día de 5.890 mg/L. y el grupo control con 7.403 mg/L.

Tabla 15. Análisis de varianza para el nitrógeno a la salida del humedal con *Phragmites australis*.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculado	P - valor
Tratamiento	2	1268.903	634.451	410.35	0.000
Error Experimental	6	9.277	1.546		
Total	8	1278.18			

Fuente: elaboración propia.

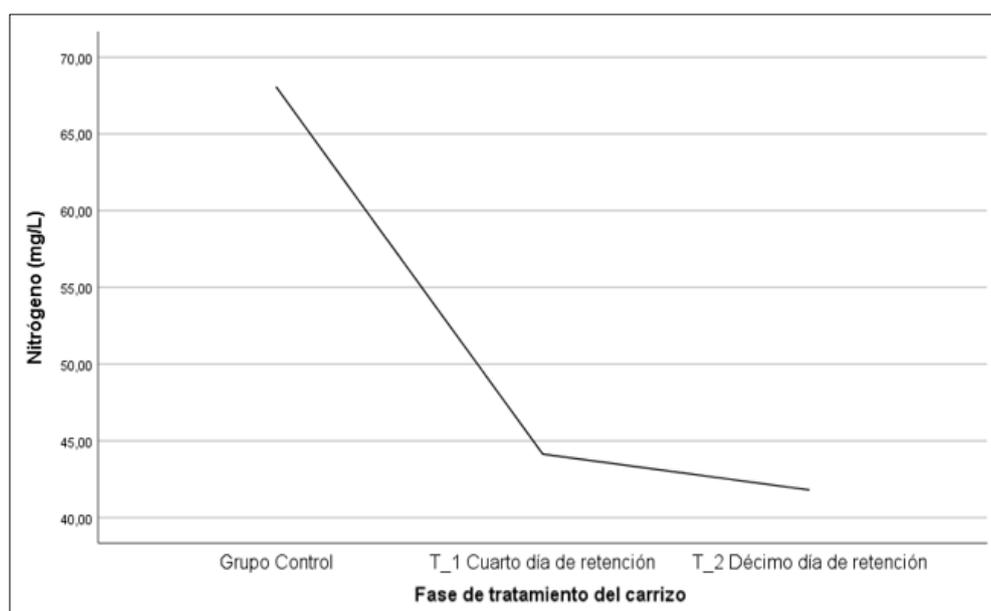
Los resultados del análisis de varianza para el parámetro de nitrógeno muestran que la diferencia de medias entre los tratamientos considerados es altamente significativa.

Tabla 16. Prueba de comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador nitrógeno, a la salida del humedal con *Phragmites australis*

Tratamiento	N	Media	Agrupación
Grupo Control	3	68.07	A
T_1 Cuarto día de retención	3	44.13	B
T_2 Décimo día de retención	3	41.793	B

Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Comparación de medias de Tukey (0.05) del indicador nitrógeno, a la salida del humedal con *Phragmites australis*.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados muestran que, ambos tratamientos propuestos (cuarto y décimo día de retención) fueron los más efectivos en la reducción del parámetro nitrógeno para este sistema, con 44.13 mg/L y 41.793 mg/L. respectivamente.

4.1.3. Comparación de las especies *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nitrógeno y fósforo.

Tabla 17. Resultados de la Fase de Tratamiento con *Typha angustifolia* L.

Ensayo	Unidades	Tratamiento N° 1 (4to día de retención)			Tratamiento N° 2 (10mo día de retención)		
		r ₁	r ₂	r ₃	r ₁	r ₂	r ₃
Fósforo Total (P)	mg/L	4.750	4.480	3.610	3.720	3.300	3.280
Nitrógeno total (NTK)	mg/L	52.92	53.35	52.70	39.52	39.30	41.39

Nota: r₁ = primera repetición; r₂ = segunda repetición; r₃ = tercera repetición

Fuente: elaboración propia.

Tabla 18. Resultados de la Fase de Tratamiento con *Phragmites australis*.

Ensayo	Unidad	Tratamiento N° 1 (4to día de retención)			Tratamiento N° 2 (10mo día de retención)		
		r ₁	r ₂	r ₃	r ₁	r ₂	r ₃
Fósforo Total (P)	mg/L	6.470	5.200	5.840	6.090	5.960	5.620
Nitrógeno total (NTK)	mg/L	44.90	41.72	45.78	41.50	41.83	42.05

Nota: r₁ = primera repetición; r₂ = segunda repetición; r₃ = tercera repetición.

Fuente: elaboración propia.

Se realizó la comparación entre las especies *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis* para comprobar el efecto de remoción del indicador fósforo total, para ello se aplicó el análisis de varianza con el Software IBM SPSS Statistics.

Tabla 19. Análisis de varianza para los datos de remoción del indicador fósforo con la *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis*.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	P - valor
Tratamiento	1	12.08	12.08	42.58	0.000
Error Experimental	10	2.837	0.284		
Total	11	14.917			

Nota: Fc = F calculada; P - valor = valor de probabilidad.

Fuente: elaboración propia.

El análisis de la varianza nos indica que el modelo es significativo, por lo tanto, es aplicable para la comparación de las especies *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis*.

Tabla 20. Prueba de diferencia medias de *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis* para la remoción de fósforo.

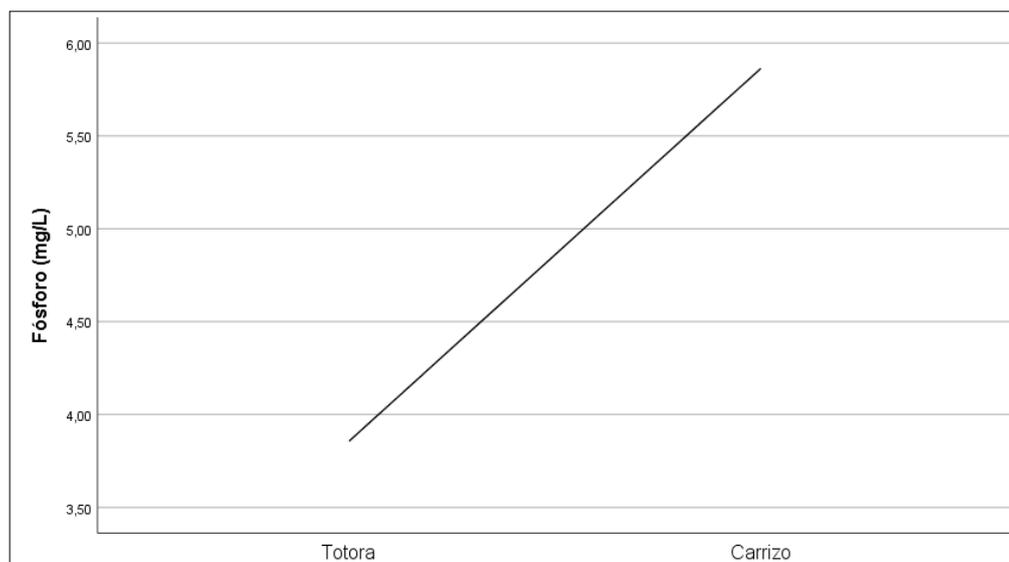
Estadísticas de grupo fósforo	Especies	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Resultados	Totora	6	3,8567	,61782	,25223
	Carrizo	6	5,8633	,43094	,17593

Nota: N = número de datos utilizados.

Fuente: elaboración propia.

La especie que más efecto tuvo, fue la *Typha angustifolia* L. con una concentración final de 3.85 mg/L.

Figura 8. Comparación de medias de las especies *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis* en la remoción de fósforo.



Fuente: elaboración propia.

El gráfico de medias nos indica que la especie *Typha angustifolia* L. tuvo una mejor remoción de fósforo con una concentración final de 3.85 mg/L, en relación a *Phragmites australis* con una concentración final de 5.86 mg/L.

Tabla 21. Análisis de varianza para los datos de remoción de nitrógeno en *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis*.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	Fc	P - valor
Tratamiento	1	174.651	174.651	13.009	0.005
Error Experimental	10	134.249	13.425		
Total	11	308.899			

Nota: Fc = F calculada; P - valor = valor de probabilidad.

Fuente: elaboración propia.

El análisis de la varianza nos muestra que, el modelo es significativo, por lo tanto, es aplicable para la comparación de las especies *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis*.

Tabla 22. Prueba de diferencia medias de *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis* para la remoción de nitrógeno.

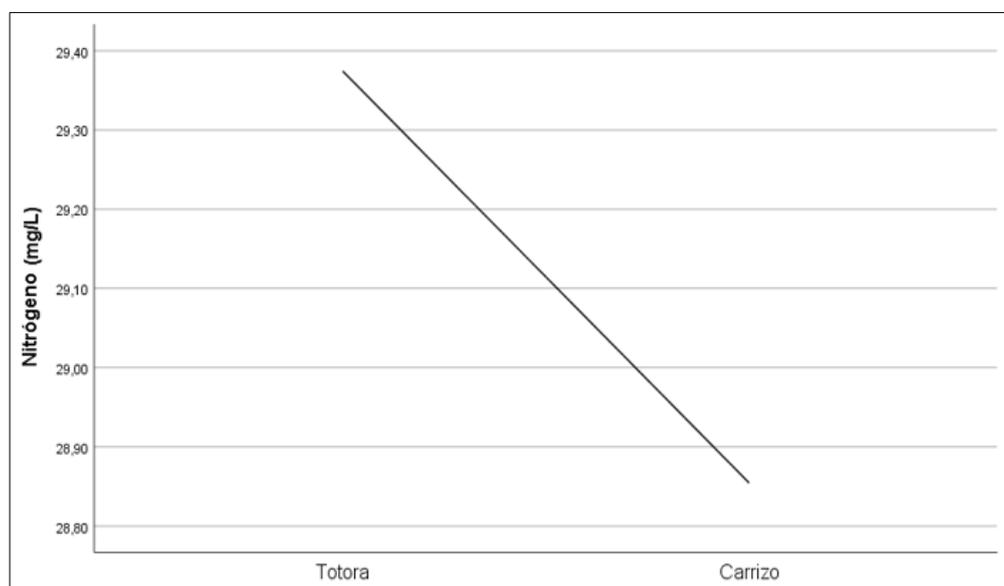
	Especies	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Resultados	Totora	6	46,5300	7,11683	2,90543
	Carrizo	6	42,9633	1,87030	,76355

Nota: N = número de datos utilizados.

Fuente: elaboración propia.

La especie que más efecto tuvo, fue la *Phragmites australis* con una concentración final de 42.96 mg/L.

Figura 9. Comparación de medias de las especies *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis* en la remoción de nitrógeno.



Fuente: elaboración propia.

El gráfico de medias nos demuestra que la especie *Phragmites australis* tuvo una mejor remoción de nitrógeno total, con una concentración final de 42.96 mg/L, en relación a *Typha angustifolia* L. con una concentración final de 46.53 mg/L.

4.1.4. Comparación de los resultados con Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua – Ecuador

4.1.4.1. *Typha angustifolia* L.

Tabla 23. Comparación de resultado de la especie *Typha angustifolia* L. con límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Límite máximo permisible	<i>Typha angustifolia</i> L.	
		Cuarto día de retención	Décimo día de retención
Fósforo total	10.0 mg/L	4.280 mg/L	3.433 mg/L
Nitrógeno total	50.0 mg/L	52.990 mg/L	40.070 mg/L

Fuente: elaboración propia.

El resultado de fósforo total en el cuarto día de retención fue de 4.280 mg/L y el décimo día de retención 3.433 mg/L, encontrándose dentro del rango establecido por los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, siendo su rango máximo 10 mg/L. Se demuestra que se presenta la remoción del parámetro fósforo.

Para el caso de nitrógeno total, en el cuarto día de retención se obtuvo un valor de 52.990 mg/L, este valor no se encuentra dentro del límite máximo permisible. Sin embargo, el resultado en el décimo día de retención fue de 40.070 mg/L, demostrando que se encuentra dentro del rango establecido de 50 mg/L. lo que indica que se obtiene mejor remoción de nitrógeno total en el décimo día de retención.

4.1.4.2. *Phragmites australis*

Tabla 24. Comparación de resultado de la especie *Phragmites australis* con límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetro	Límite máximo permisible	<i>Phragmites australis</i>	
		Cuarto día de retención	Décimo día de retención
Fósforo total	10.0 mg/L	5.837 mg/L	5.890 mg/L
Nitrógeno total	50.0 mg/L	44.130 mg/L	41.793 mg/L

Fuente: elaboración propia.

En el parámetro de fósforo total se obtuvo resultados de 5.837 mg/L en el cuarto día de retención y 5.890 mg/L en el décimo día de retención, demostrando que se encuentran dentro de los límites máximos permisible, donde su rango máximo es de 10 mg/L. De acuerdo a los resultados obtenidos ambos tiempos de retención se encuentran en condiciones aptas para la descarga a un cuerpo de agua dulce.

El resultado obtenido para el parámetro de nitrógeno total en el cuarto día de retención fue de 44.130 mg/L y en el décimo día retención de 41.793 mg/L, en los límites máximos permisible su rango máximo es de 50 mg/L. Por ende, ambos resultados cumplen con el rango establecido.

4.2. Prueba de hipótesis

4.2.1 Hipótesis específica 1

Hipótesis nula (H₀): No existe efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Typha angustifolia* L. (totora) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Hipótesis alterna (H₁): Existe efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Typha angustifolia* L. (totora) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Nivel de Significación

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de prueba

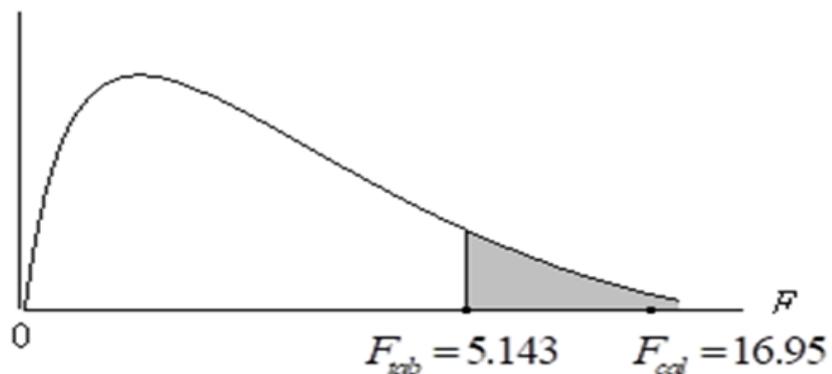
$$F = \frac{CMTra}{CMError} \text{ Que se distribuye según } F(k-1, n-k)$$

4.2.1.1. Fósforo

Región crítica

Para $\alpha = 0.05$, en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95,2,6} = 5.143$$



Cálculos:

$$F_{cal} = \frac{CMTra}{CMError} = \frac{13.116}{0.774} = 16.95$$

Decisión

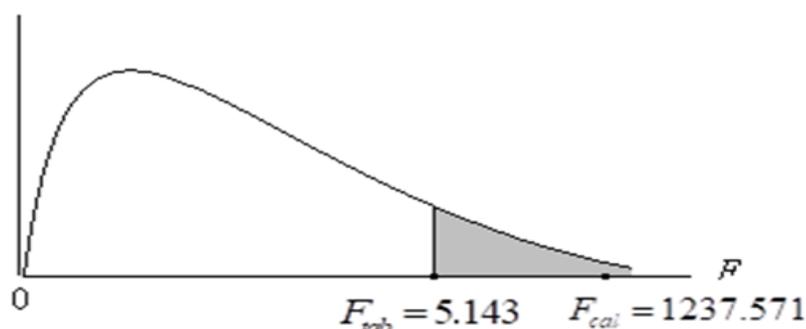
A un nivel de significación del 5% $F_{cal} = 16.95$ cae en la región de rechazo. Se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, concluimos que la especie *Typha angustifolia* L. tiene efectos significativos en la remoción de fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo, es decir es diferente el comportamiento de los tratamientos durante el proceso de experimentación.

4.2.1.2. Nitrógeno

Región crítica

Para $\alpha = 0.05$, en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95,2,6} = 5.143$$



Cálculos:

$$F_{cal} = \frac{CMTra}{CMError} = \frac{589.166}{0.476} = 1237.571$$

Decisión:

A un nivel de significación del 5% $F_{cal} = 1237.571$ cae en la región de rechazo. Se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, concluimos que la especie *Typha angustifolia* L. tiene efectos significativos en la remoción de nitrógeno en la planta de tratamiento de agua residual Omo, es decir es diferente el comportamiento de los tratamientos durante el proceso de experimentación.

4.2.2 Hipótesis específica 2

Hipótesis nula (H_0): No existe efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Hipótesis alterna (H_1): Existe efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con *Phragmites australis* (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Nivel de Significación:

$$\alpha = 0.05$$

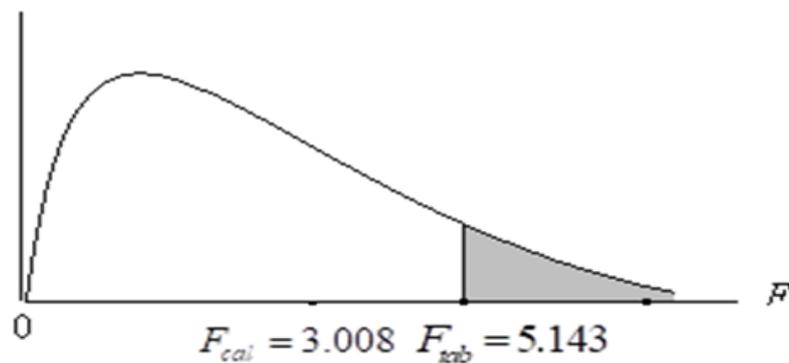
Estadístico de prueba

$$F = \frac{CMTra}{CMError} \text{ Que se distribuye según } F(k-1, n-k)$$

4.2.2.1. Fósforo**Región crítica**

Para $\alpha = 0.05$, en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95,2,6} = 5.143$$

**Cálculos:**

$$F_{cal} = \frac{CMTra}{CMError} = \frac{2.374}{0.789} = 3.008$$

Decisión

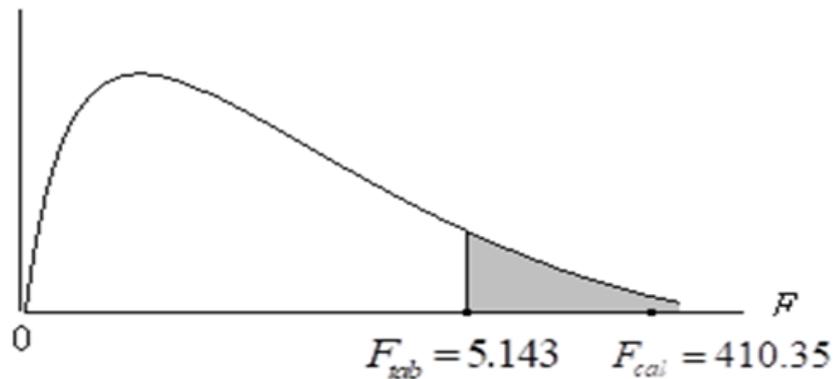
A un nivel de significación del 5% $F_{cal} = 3.008$ cae en la región de aceptación. Se rechaza la hipótesis alterna y aceptamos la hipótesis nula, concluimos que la especie *Phragmites australis* no tiene efectos significativos en la remoción de fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo, es decir es igual el comportamiento de los tratamientos durante el proceso de experimentación.

4.2.2.2. Nitrógeno

Región crítica

Para $\alpha = 0.05$, en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95,2,6} = 5.143$$



Cálculos:

$$F_{cal} = \frac{CMTra}{CMError} = \frac{634.451}{1.546} = 410.35$$

Decisión

A un nivel de significación del 5% $F_{cal} = 410.35$ cae en la región de rechazo. Se rechaza la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna, concluimos que la especie *Phragmites australis* tiene efectos significativos en la remoción de nitrógeno en la planta de tratamiento de agua residual Omo, es decir es diferente el comportamiento de los tratamientos durante el proceso de experimentación.

4.2.3. Hipótesis específica 3

Hipótesis nula (H_0): No existe diferencia significativa en las especies *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Hipótesis alterna (H_1): Existe diferencia significativa en las especies *Typha angustifolia* L. (totora) y *Phragmites australis* (carrizo) en la remoción de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo.

Nivel de significación:

$$\alpha = 0.05$$

Estadístico de Prueba:

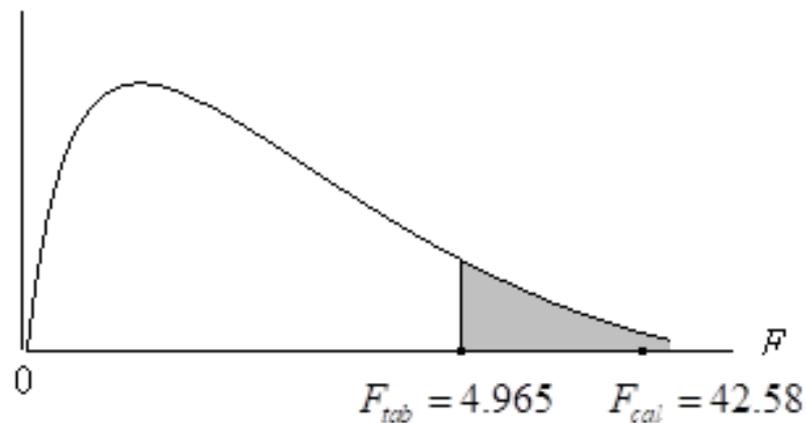
$$F = \frac{CMTra}{CMError} \text{ Que se distribuye según } F(k-1, n-k)$$

4.2.3.1. Fósforo

Región crítica:

Para $\alpha = 0.05$, en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95,1,10} = 4.965 \quad F_{tab} = 4.965$$



Cálculos:

$$F_{cal} = \frac{CMTra}{CMError} = \frac{12.08}{0.284} = 42.58$$

Decisión:

A un nivel de significación del 5% $F_{cal} = 42.58$ cae en la región de rechazo, debemos rechazar la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna y concluimos que existe diferencias significativas entre las

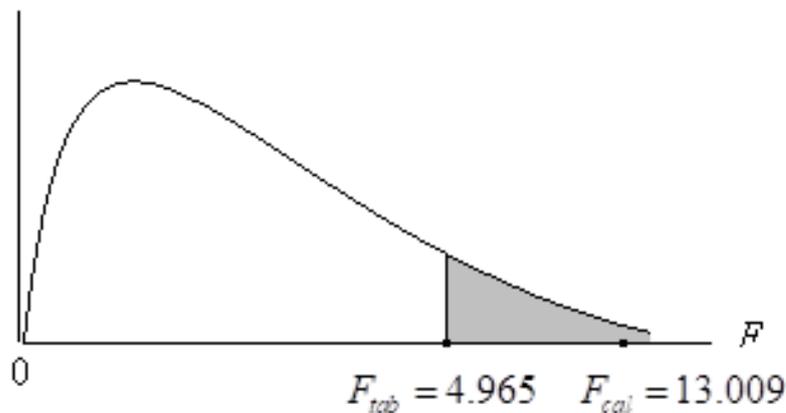
especies *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis* en la remoción de fósforo total en la planta de tratamiento de agua residual Omo, durante el proceso de experimentación

4.2.3.2. Nitrógeno

Región crítica

Para $\alpha = 0.05$, en la tabla F se encuentra el valor crítico de la prueba:

$$F_{0.95,1,10} = 4.965$$



Cálculos:

$$F_{cal} = \frac{CMTra}{CMError} = \frac{174.651}{13.425} = 13.009$$

Decisión

A un nivel de significación del 5% $F_{cal} = 13.009$ cae en la región de rechazo, debemos rechazar la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna y concluimos que existe diferencias significativas entre las especies *Typha angustifolia* L. y *Phragmites australis* en la remoción de nitrógeno en la planta de tratamiento de agua residual Omo, durante el proceso de experimentación.

4.3. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos de la caracterización de la salida de la laguna de maduración de la PTAR Omo, demostraron que se presentaron concentraciones de nitrógeno total con 68.070 mg/L y fósforo total con 7.403 mg/L.

El tratamiento con *Typha angustifolia* L.(totora) en un tiempo de retención de cuatro días para el parámetro de nitrógeno logró la remoción de 22.15% (52.990 mg/L) y para fósforo alcanzó una remoción de 42.19% (4.280 mg/L). En el décimo día de retención, se obtuvo mejores resultados para la remoción de nitrógeno con 41.13% (40.070 mg/L) y para el parámetro de fósforo se experimentó una remoción importante de 53.63% (3.433 mg/L). Al respecto Fazlolahi et al., consiguió una remoción de nitrógeno 49.39% y para fósforo una remoción de 17.98% (10). Sin embargo, Vymazal obtuvo una mayor remoción de nitrógeno con un 55% y para fósforo una remoción de 60% (11) .

La especie *Phragmites australis* (carrizo) para el parámetro de nitrógeno en un tiempo de retención de cuatro días logró una remoción de 35.15% (44.130 mg/L) y en el décimo día obtuvo una remoción de 38.60% (41.793 mg/L), estos resultados no guardan relación con lo que sostiene Padrón et al., quien alcanzó un promedio de 60 a 80% de remoción para este parámetro con un tiempo de retención de cinco a nueve días respectivamente, estos resultados estaría relacionado a las condiciones de altura de 2416 msnm. (14). El fósforo en el cuarto día alcanzó mejores resultados para este parámetro con una remoción de 21.15% (5.837 mg/L), sin embargo, en el décimo día de retención se obtuvo una remoción de 20.44% (5.890 mg/L), por lo tanto, la concentración se incrementó en un 0.053 mg/L, por ende, los valores obtenidos para el fósforo no mostraron diferencia estadística entre tratamientos. Por otro lado, Romero et al., en el diseño utilizó contenedores contruidos de fibra de vidrio y en un tiempo de retención de cinco días obtuvo valores de remoción de 3.13%, (12) y Hossein et al., para la especie *Phragmites australis* consideró la adaptación de 15 días en el humedal y en un tiempo de retención de cuatro días presentó una remoción de 10% para el parámetro fósforo (13).

La investigación titulada “Uso de plantas de humedales en la eliminación de nutrientes de las aguas residuales municipales” (10), dio como resultado que la especie *Typha* (totora) fue la que tuvo más remoción de fósforo total con un

17,98%, pero también fue la que más efecto de remoción tuvo en el nitrógeno total con un 49,39%, en cuanto a la especie de *Phragmites australis* (carrizo) removió un total de 13,22% de fósforo total y 44,62% de nitrógeno total.

En nuestra investigación, la especie *Typha angustifolia L.* (totora) también fue la que más removió fósforo total con 47.97% de efectividad a comparación de la especie *Phragmites australis* (carrizo) que tuvo un 20.8%, debido a que la especie *Typha angustifolia L.* (totora) tuvo una mejor adaptación de raíces y desarrollo, las cuales facilitaron la remoción de fósforo total. En cuanto al nitrógeno la especie *Phragmites australis* (carrizo) fue la que más removió, con un 36.89% de efectividad en comparación de la especie *Typha angustifolia L.* (totora) que tuvo un 31.64%, debido a que la especie *Phragmites australis* (carrizo) tuvo una mejor asimilación de nitrógeno a través de sus raíces.

En relación al trabajo de investigación “Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica” (12), utilizaron las especies *Phragmites australis* (carrizo) y la *Typha dominguensis* (totora). Los resultados de fósforo total con el *Phragmites australis* (carrizo), tuvieron una concentración inicial de 0.9 mg/L de la cual se remueve 3.13% equivalente a 0.87 mg/L. En el caso de la *Typha dominguensis* (totora), la concentración inicial del fósforo total fue de 0.9 mg/L y la concentración al final de 21.87 % equivalente a 0.7 mg/L. Por tanto, guarda relación con nuestra investigación, ya que dieron como resultado en la remoción de fósforo total con la especie *Phragmites australis* (carrizo) una concentración final de 5.86 mg/L con una muestra de concentración inicial de 7.4 mg/L conformando un 20.81% remoción.

Asimismo, en caso de la *Typha angustifolia L.* (totora) tuvo la misma cantidad de muestra, con una concentración final de 3.85 mg/L con un 47.87%. Es decir, ambos estudios aportan con la efectividad de remoción del fosforo total con la especie totora.

CONCLUSIONES

- Se determinó que las especies de *Typha angustifolia* L.(totora) y *Phragmites australis* (carrizo) tuvieron influencia en la remoción de nutrientes (nitrógeno total y fósforo total) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.
- La especie de *Typha angustifolia* L.(totora) en un tiempo de retención de diez días presentó resultados más efectivos en la remoción de nitrógeno con un 41.13%. Para el parámetro de fósforo se demostró una eficiencia significativa de remoción, pero entre los tiempos de retención del cuarto día con 41.13% y el décimo día con 53.63% no se presentó estadísticamente diferencia entre ambos tratamientos.
- La utilización de *Phragmites australis* (carrizo) para el parámetro de nitrógeno presentó una eficiencia significativa de remoción de 21.15% al cuarto día retención y 38.60% al décimo día, sin embargo, estadísticamente no se presentó diferencia entre ambos tratamientos. Para los resultados del parámetro fósforo estadísticamente no hubo efecto significativo, en el cuarto día de retención alcanzó una remoción de 21.15 % y en el décimo día de 20.44 %. Por lo tanto, el parámetro de fósforo presenta efectos similares entre tratamientos.
- Se concluye que, la especie *Typha angustifolia* L. (totora) fue la que más removió fósforo total con un 47.97% (3.85 mg/L), mientras que la especie *Phragmites australis* (carrizo) solo removió un 20.81% (5.86 mg/L) de fósforo total. En cuanto al nitrógeno total la especie *Phragmites australis* (carrizo) fue la que más remoción tuvo con un 36.89% (42.96 mg/L). a comparación de la especie *Typha angustifolia* L. (totora) que solo tuvo un 31.64% (46.53 mg/L).

RECOMENDACIONES

- Efectuar la investigación para tener mayor conocimiento durante la época de otoño e invierno para conocer el desarrollo de las especies en estas condiciones y demostrar si la eficiencia de remoción del sistema es similar.
- Se debe implementar un tratamiento adicional como un humedal artificial de flujo vertical.
- Realizar el lavado del lecho filtrante del humedal para evitar la acumulación de lodos y la formación de flujos preferenciales.
- Preferentemente se recomienda la aplicación de *Typha angustifolia L.* (totora) en humedales artificiales como un tratamiento terciario, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Omo - Moquegua, debido a que en esta investigación se evidenció su mejor adaptabilidad para este tipo de aguas.
- Se recomienda que en futuras investigaciones se empleen otras especies, con el fin de determinar su eficiencia y promover su aplicación en plantas de tratamiento de aguas residuales como una tecnología limpia basada en la naturaleza.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PÉREZ, R., ALFARO, C., SASA, J., Y AGUERO, J. *Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales*. Costa Rica : s.n., 2012.
2. FORERO, I. *Estudio del comportamiento de Humedales Artificiales de flujo Subsuperficial en la Planta experimental de Carrión de los Cespedes*. Sevilla, España : s.n., 2009.
3. *Technology Review Constructed Wetlands*. HEIKE, H., PLASTZAER, C., WINKER, M., Y MUENCH, E. Africa : s.n., 2011.
4. EDUARDO, A. *Evaluación de la eficiencia de la remoción de nutrientes del efluente de la PTAR de la empresa Esmeralda Corp S.A.C. mediante el uso de humedales artificiales, empleando la especie typha domingensis Pers. (totora)*. Lima : s.n., 2015.
5. Organización de Las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. [En línea] 2017. [Citado el: 12 de Julio de 2021.] <https://es.unesco.org/news/son-aguas-residuales-nuevo-oro-negro>.
6. *Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú*. LARIOS , FERNANDO , GONZÁLES, CARLOS y MORALES , YENNYFER . 2, Lima : s.n., 2015, Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL, Vol. II. 2311-7613.
7. FERNANDÉZ, AMARILDO . Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura. [En línea] 2011. [Citado el: 15 de Julio de 2021.] https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/356/mod_page/content/128/Peru%20INFORME%20DE%20PAIS.pdf.
8. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental . Fiscalización ambiental en aguas residuales. [En línea] 2014. [Citado el: 16 de Junio de 2021.] https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
9. GARCÍA, M. CienciAcierta. *CienciAcierta*. [En línea] 2016. [Citado el: 18 de 06 de 2021.] [http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/..](http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/)

10. *Using wetland plants in nutrient removal from municipal wastewater.* FAZLOLAHI, H y ESLAMIAN, S. 1, Octubre de 2014, *Hydrology Science and Technology*, Vol. 4, págs. 68-80. 2042-7816.
11. *Removal of nutrients in various types of constructed wetlands.* VYMAZAL, J. 1, Julio de 2007, *Science of the Total Environment*, Vol. 380, págs. 48-65.
12. *Tratamiento De Aguas Residuales Por Un Sistema Piloto De Humedales Artificiales.* ROMERO , MARIANA , y otros. 3, 2009, Vol. 25. 0188-4999.
13. *Comparing the efficiency of Cyperus alternifolius and Phragmites australis in Municipal wastewater treatment by subsurface constructed wetland.* HOSSEIN , DAVOD , y otros. 8, Yazd : Asian Network For Scientific Information , Abril de 2013, *Revista de Ciencias Biológicas Pakistán* , Vol. 16, págs. 379-384. 1028-8880.
14. PADRÓN, JUANA, y otros. *Remoción de nutrientes en un sistema piloto de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas en ecosistemas de montaña.* [ed.] MAURICIO ESPINOZA. Cuenca : Red Ecuatoriana de Universidades y Escuelas Politécnicas para Investigación y Posgrado, 2017. 9789978301838.
15. *Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita.* SOLÍS, RUDY, y otros. 1, Caracas : Asociación Interciencia, 2016, *Interciencia* , Vol. 41, págs. 40-47. 0378-1844.
16. CHUGDEN, N. y VERASTEGUI, R. *Evaluación de la eficacia de las plantas acuáticas de aguas residuales domésticas del distrito de Namora - Cajamarca.* Cajamarca : s.n., 2020.
17. MALDONADO, L. *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en la remoción de nitrógeno.* Lima : s.n., 2018.
18. MELLADO, G. *Determinación de la eficiencia de tres especies macrófitas para el tratamiento de aguas residuales domésticas.* Lima : s.n., 2019.
19. VILLEGAS, E. *Remoción de fósforo y nitrógeno de aguas residuales domésticas, mediante humedales artificiales de flujo vertical empleando antrasita y tereftalato de*

- polietileno, en la localidad de Toma, Carhuaz - Ancash* . Huaraz : Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2018.
20. *Fitorremediación de Aguas Residuales Domésticas en Moquegua*. COAYLA, Y., y otros. Moquegua : s.n., 2018.
21. Ministerio de Agricultura. *Decreto Supremo N° 001-2010-AG: Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338)*. Lima : Diario Oficial El Peruano, 2010.
22. MARA , D y S, D. *Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura: medidas de protección de la salud pública*. Ginebra : Organizacion Mundial de la Salud, 1990.
23. ROMERO , J. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Bogotá : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2014. 978-958-8060-13-2.
24. DELGADILLO , OSCAR, y otros. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba : Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua, 2010. 978-99954-766-2-5.
25. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida, Manual I: Teoría Tomo I*. [En línea] 2004. [Citado el: 10 de Julio de 2021.] http://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual1/tomo1/ma1_tomo1_indice.pdf.
26. CRITES, RON y TCHOBANOGLOUS, GEORGE. *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogota : Mc. Graw Hill, 2000.
27. Secretaria General de la comunidad Andina. *Manual de Estadísticas Ambientales Andinas*. 2008.
28. RAMÍREZ, LANDY, y otros. *Demanda Química De Oxígeno De Muestras Acuosa*. s.l. : Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, 2008. Vol. I. 968-36-9000-9.
29. Ministerio del Ambiente. *Manual para municipios ecoeficientes*. [En línea] 2009. [Citado el: 18 de Julio de 2021.] https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf.

30. MIRANDA, JAIME . Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas. [En línea] 2010. [Citado el: 17 de Julio de 2021.] <https://es.scribd.com/document/55917206/Tratamientos-de-Aguas-Tratamiento-Aguas-Residuales>.
31. Fondo Nacional del Ambiente . Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú. [En línea] Diciembre de 2010. [Citado el: 27 de Julio de 2021.] [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/\\$FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/$FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf).
32. VIDAL, GLADYS, y otros. *Sistemas de tratamiento convencionales vs sistemas naturales*. [ed.] Jordi Morató y Gustavo Peñuela. Concepción : Red ALFA TECSPAR, 2017. 978-958-44-5307-5.
33. Belzona Inc. [En línea] 2010. [Citado el: 20 de Julio de 2021.] https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf.
34. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. *Norma OS 090. Plantas de tratamiento de aguas residuales*. 2006. http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03_OS/RNE2006_OS_090.pdf.
35. NOYOLA , ADALBERTO, MORGAN, JUAN y GUERRECA, LEONOR . *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. s.l. : Insituto de Ingeniería, 2013. 978-607-02-4822-1.
36. BERGMANN, ELAINE . Techniques for water analysis. [En línea] 22 de Agosto de 2009. [Citado el: 17 de Julio de 2021.] <https://docplayer.net/23649262-Techniques-for-water-analysis.html>.
37. DE MIGUEL , EDUARDO , DE MIGUEL, JOSÉ y FERNÁNDEZ, CURT . Manual de fitodepuración: filtros de macrófitas en flotación. [En línea] [Citado el: 18 de Julio de 2021.] https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf.
38. KOLB, PATRICK. *Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós*. Vienna : Universidad de Recursos Naturales y Ciencias de la Vida Viena., 1998 .

39. *Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública*. CARDENAS , GLORIA y SANCHEZ, IVAN . 3, Nariño : s.n., Junio de 2013, Universidad y Salud , Vol. 15. 0124-7107.
40. COOPER, P y et al. *Reed beds and constructed wetlands for wastewater treatment*,. s.l. : WRc, Swindon, 1996.
41. *Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands*. ITRC, The Interstate Technology & Regulatory Council Wetlands Team. California : s.n., 2003.
42. OSNAYA, M. *Propuesta de diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad de la Sierra Juárez*. Juárez : Universidad de la Sierra Juárez, 2012.
43. GARCIA, J. Y CORZO, A. *Depuración con humedales construidos: Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Barcelona : s.n., 2008.
44. *Revista especializada en ciencias químico - biológicas*. LUNA, V. y ABURTO, S. México : s.n., 2014.
45. SANCHEZ, D. *Diseño y modelización de humedales para el tratamiento de efluentes de depuradora. Aplicación en el entorno del parque nacional de Las Tablas de Daimiel*. Catalunya : s.n., 2013.
46. M, ROLIM. *Sistemas de Lagunas de estabilización. Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego*. Bogotá : McGraw Hill, 2000.
47. LARA, B. *Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales*. Barcelona : s.n., 2009.
48. ARIAS, O. *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Barcelona : Universitat Politècnica de Catalunya, 2004.
49. Floresyplantas.net. Floresyplantas.net. *Floresyplantas.net*. [En línea] Picassent Valencia - España, 2019. [Citado el: 31 de Julio de 2021.] <https://www.floresyplantas.net/typha-angustifolia/>.

50. VALDÉZ, I., CURT, M. D. Y FÉRNANDEZ, J. “*Tolerancia de Phragmites y Typha a la contaminación del agua*” en *Memoria del Encuentro Internacional en Fitodepuración*. Lorca : s.n., 2005.
51. LAHORA, A. “*Los humedales artificiales como tratamiento terciario de bajo coste en la depuración de aguas residuales urbanas*”. 2004.
52. LINNAEUS, C. Tropicos.org. *Tropicos.org*. [En línea] 1 de Mayo de 1753. [Citado el: 21 de Octubre de 2021.] <https://tropicos.org/name/33200001>.
53. FERNÁNDEZ, J. et al. *Manual de fitodepuración, Ayuntamiento de Lorca*. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
54. Botánica general. Botánica General. [En línea] 2004. [Citado el: 15 de 09 de 2021.] www.monografias.com.
55. HIDALGO, C. *Recientes Aplicaciones de la Depuración de Aguas Residuales con Plantas Acuaticas*. Chile : s.n., 2005.
56. CURT, M. *Manual de Fitodepuración, Filtros de Macrófitas en Flotación*. Madrid : s.n., 2009.
57. VÁZQUEZ, J. Y. Carrizo (*Phragmites australis*): características, hábitat, propiedades, cultivo. . 2020.
58. STEUD, T. Tropicos.org. *Tropicos.org*. [En línea] 1841. [Citado el: 21 de Octubre de 2021.] <https://tropicos.org/home>.
59. *Edición especial Nro. 387*. TAPIA, L. Ecuador : s.n., 2015.
60. PÉREZ, F. *Nutrición mineral*. Ucayali : s.n., 2017.
61. *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico*. TEJADA, C. y VILLABONA, A. y GARCEÉS L. Cartagena : s.n., 2015.
62. *Fitorremediación: Como una alternativa para eliminar la contaminación*. DELGADILLO, A. E., y otros. PachucaTulancingo Km 4.5 : Tropical and Subtropical Agroecosystems, 2011.
63. MIYASHIRO, V., MÉNDEZ, L., Y ORIHUELA DE CAMPOS, L. *Gestión del Agua en el Perú: Uso, protección y tratamiento*. Lima : Fondo Editorial de la UNALM, 2014.

64. ACOUA TECNOLOGIA. [En línea] 2021. [Citado el: 18 de 09 de 2021.] <http://acquatecnologiaperu.com/works/filtracion-de-agua#>.
65. NIÑO, M. *Metodología de la investigación*. Bogotá : Ediciones de la U, 2011. 978-958-8675-94-7 .
66. COLEGIO DE BACHILLERES DEL ESTADO DE SONORA. *Métodos de investigación*. s.l. : Dirección Académica del Colegio de Bachilleres del Estado de Sonora, 2011.
67. BERNAL , C. *Metodología de la investigación*. La sabana : Pearson, 2006. 978-958-699-128-5.
68. ESCUDERO, C. y CORTEZ, L. *Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica*. Machala : UTMACH, 2018.
69. *Los alcances de una investigación*. RAMOS, C. Ecuador : Los alcances de una investigación, 2020, CienciAmérica (2020) Vol. 9 (3).
70. HERNÁNDEZ, R. , FERNÁNDEZ, C. Y BAPTISTA, M. *Metodología de la Investigación*. Mexico : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.
71. EPS MOQUEGUA S.A. EPS MOQUEGUA S.A. <https://epsmoquegua.com.pe/>. [En línea] 2021.
72. ROJAS, JAIRO. *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y principios de diseño*. s.l. : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. 9588060133.
73. BELZONA. Tratamiento de aguas residuales. [En línea] 2010. [Citado el: 24 de Julio de 2021.] https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_maps.pdf.
74. Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento Moquegua. *Comercialización de aguas residuales y sub productos generados en la Planta de Tratamiento Omo*. Moquegua : s.n., 2021.
75. Ecuador, Ministerio del Ambiente. *Registro Oficial - Edición Especial N° 387*. Quito : s.n., 2015. pág. 21.
76. Ministerio del Ambiente Ecuador. *Registro oficial - Edición Especial N° 387*. Quito : s.n., 2015. pág. 21.

ANEXOS

Anexo 01
MATRÍZ DE CONSISTENCIA

Tabla 25. Matriz de Consistencia.

Problema de Investigación	Objetivos	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología	Población y Muestra
<p>Problema General</p> <p>¿Cuál es el efecto en la remoción de nutrientes con <i>Typha angustifolia</i> L. (totora) y <i>Phragmites australis</i> (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p>¿Cuál es el efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con <i>Typha angustifolia</i> L. (totora) en la planta de tratamiento de agua residual Omo?</p> <p>¿Cuál es el efecto de remoción de nitrógeno y fósforo con <i>Phragmites australis</i> (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo?</p> <p>¿La especie <i>Typha angustifolia</i> L. (totora) y <i>Phragmites australis</i> (carrizo) tienen efectos diferentes en la remoción de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Analizar el efecto de la remoción de nutrientes con <i>Typha angustifolia</i> L. (totora) y <i>Phragmites australis</i> (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <p>Determinar el efecto de la remoción de nitrógeno y fósforo con <i>Typha angustifolia</i> L. (totora) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.</p> <p>Determinar el efecto de la remoción de nitrógeno y fósforo con <i>Phragmites australis</i> (carrizo) en la planta de tratamiento de agua residual Omo.</p> <p>Comparar las especies <i>Typha angustifolia</i> L. (totora) y <i>Phragmites australis</i> (carrizo) en la remoción de nitrógeno y fósforo en la planta de tratamiento de agua residual Omo.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Ho: No existe efecto significativo de <i>Typha angustifolia</i> L. y el <i>Phragmites australis</i> en la remoción de nutrientes de la planta de tratamiento de agua residual Omo.</p> <p>Ha: Existe efecto significativo de <i>Typha angustifolia</i> L. y el <i>Phragmites australis</i> en la remoción de nutrientes de la planta de tratamiento de agua residual Omo.</p>	<p>Variable independiente</p> <p><i>Typha angustifolia</i> L. (totora) y <i>Phragmites australis</i> (carrizo)</p> <p>Variable dependiente</p> <p>Remoción de nutrientes (Nitrógeno Total y Fósforo Total)</p>	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>El tipo de Investigación es aplicada, mientras que el nivel es explicativo y experimental.</p> <p>Diseño de Investigación:</p> <p>El diseño de la investigación es experimental puro, pues requerirá de la manipulación de la variable independiente para poder observar los cambios y efectos sobre la variable dependiente.</p>	<p>Población:</p> <p>Aguas residuales domésticas del efluente de la PTAR Omo – Moquegua, que tiene un caudal promedio de 9386 m³/día.</p> <p>Muestra:</p> <p>Se trabajará con un caudal de 0.5 m³/día de agua residual proveniente de la laguna de maduración.</p> <p>Técnicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Observación • Recolección de Información primaria • Aplicación de protocolos nacionales • Aplicación de metodologías preestablecidas <p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fichas de observación • Cadena de custodia. • Formatos de llenado de datos de campo.

Anexo 02.

INFORME DE LOS ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS.



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



INFORME DE ENSAYO N° 156678-2021 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : EPS MOQUEGUA S.A.
DOMICILIO LEGAL : CALLE ILO N° 653 P.J. EL SIGLO - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA - MOQUEGUA
SOLICITADO POR : WALTER VILLASANTE
REFERENCIA : ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL PTAR OMO
PROCEDENCIA : MOQUEGUA MARISCAL NIETO - MOQUEGUA
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2021-11-25 Y 2021-12-04
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2021-11-25 AL 2021-12-14
FECHA(S) DE MUESTREO : 2021-11-24 Y 2021-12-03
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2.00 ^(a)	mg/L
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.	10.0	O ₂ mg/L
Fósforo Total o fósforo (P)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-P E, 23rd Ed. 2017. Phosphorus. Ascorbic Acid Method.	0.013	P mg/L
Nitrógeno total (NTK)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N _{org} -B, 23rd Ed. 2017. Nitrogen (Organic). Macro-Kjeldahl Method.	1.00	NH ₃ ⁺ -N mg/L
Sólidos suspendidos totales (TSS)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. 2017. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.	3.00	mg/L
Numeración de Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.	1.8 ^(a)	NMP/100mL
Numeración de Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	1.8 ^(a)	NMP/100mL
METALES TOTALES: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Níquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Silicio(SiO ₂), Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, Titanio, Vanadio, Zinc.	EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version / 1994. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry. 17025	---	mg/L

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

(b) Expresado como límite de detección del método.



Ing. Marilú Tello Paucar
 Director Técnico
 C.I.P. N° 219624
 Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 002 / Versión 09/EE.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Esta prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Malto de Turner N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 4



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



INFORME DE ENSAYO N° 156678-2021 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2021-11-24	2021-11-24	2021-11-24	
Hora de inicio de muestreo (h)	13:37	13:55	14:10	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	Ingreso Humedal	Humedal Totoral día 4-1	Humedal Carrizo día 4-1	
Código del Laboratorio	21112094	21112095	21112096	
Ensayo	Unidades	Resultados		
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	52.10	18.68	19.80
Demanda Química de oxígeno (DQO)	O ₂ mg/L	228.0	74.4	75.4
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	8.870	4,750	6.470
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	68.07	52.92	44.90
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	74.10	22.75	12.60
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100mL	130 x 10 ²	33 x 10 ²	49 x 10 ²
Numeración de Coliformes Fecales (1)	NMP/100mL	33 x 10 ³	79 x 10 ²	33 x 10 ²
Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2021-11-24	2021-11-24	2021-11-24	
Hora de inicio de muestreo (h)	13:39	13:41	13:57	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	Ingreso Humedal	Ingreso Humedal	Humedal Totoral día 4-2	
Código del Laboratorio	21112363	21112364	21112365	
Ensayo	Unidades	Resultados		
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	6.130	7.210	4.480
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	68.07	68.07	53.35
Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2021-11-24	2021-11-24	2021-11-24	
Hora de inicio de muestreo (h)	13:59	14:13	14:16	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	Humedal Totoral día 4-3	Humedal Carrizo día 4-2	Humedal Carrizo día 4-3	
Código del Laboratorio	21112366	21112367	21112368	
Ensayo	Unidades	Resultados		
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	3.610	5.200	5.840
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	52.70	41.72	45.78

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

**Resultados de campo proporcionados por el cliente

Parámetro	Unidades	Ingreso Humedal	Humedal Totoral día 4-1	Humedal Carrizo día 4-1
** Oxígeno Disuelto	mg/L	0.44	0.76	0.27
** pH	unid. pH	8.06	7.77	7.94
** Temperatura	°C	24.6	23.1	23.0
** Turbiedad	NTU	21.7	77.5	44.7

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación INACAL-DA.

Cod. FI 002 / Versión 09 / FE.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de percibibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente Informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Rios Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

EXPERTS WORKING FOR YOU



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



INFORME DE ENSAYO N° 156678-2021 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2021-12-03	2021-12-03	2021-12-03	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:40	11:02	10:30	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	Humedal Tatora día 10-1	Humedal Carrizo día 10-1	Ingreso humedal	
Código del Laboratorio	21120503	21120506	21120509	
Ensayo	Unidades	Resultados		
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	28.68	9.97	109.90
Demanda Química de oxígeno (DQO)	O ₂ mg/L	113.0	117.0	217.0
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	3.720	6.090	////
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	39.52	41.50	////
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	11.00	7.66	////
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100mL	79 x 10 ²	49 x 10 ³	110 x 10 ²
Numeración de Coliformes Fecales (1)	NMP/100mL	79 x 10 ¹	130	23 x 10 ²
Producto declarado	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual	
Fecha de muestreo	2021-12-03	2021-12-03	2021-12-03	
Hora de inicio de muestreo (h)	10:42	10:45	11:05	
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada	
Código del Cliente	Humedal Tatora día 10-2	Humedal Tatora día 10-3	Humedal Carrizo día 10-2	
Código del Laboratorio	21120504	21120505	21120507	
Ensayo	Unidades	Resultados		
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	3.300	3.280	5.960
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	39.30	41.39	41.83
Producto declarado	Agua Residual			
Matriz analizada	Agua Residual			
Fecha de muestreo	2021-12-03			
Hora de inicio de muestreo (h)	11:08			
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada			
Código del Cliente	Humedal Carrizo día 10-3			
Código del Laboratorio	21120508			
Ensayo	Unidades	Resultados		
Fósforo Total o fósforo (P)	P mg/L	5.620		
Nitrógeno total (NTK)	NH ₃ ⁺ -N mg/L	42.05		



(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

////: Ensayo No Realizado.

**Resultados de campo proporcionados por el cliente				
Parámetro	Unidades	Humedal Tatora día 10-1	Humedal Carrizo día 10-1	Ingreso humedal
		21120503	21120506	21120509
**Oxígeno Disuelto	mg/L	1.52	0.72	0.19
**pH	unid. pH	8.03	7.96	7.9
**Temperatura	°C	24.0	23.9	25.5
**Turbiedad	NTU	20.1	46.0	20.0

**Resultados proporcionados por el cliente, no forman parte del alcance de la acreditación INACAL-DA.

EXPERTS WORKING FOR YOU

Cod. FI 002 / Versión 09/EE.: 09/2020

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente Informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente Informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Anexo 03. CADENA DE CUSTODIA CUARTO DÍA DE RETENCIÓN Y DÉCIMO DÍA DE RETENCIÓN.



CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

FR - 005
Versión: 05
F.E. 11/2019
Página 01 de 01

Cliente: EPS MOQUEGUA S.A. Contacto: 945285003 E-mail: Samuelm335@gmail.com Telef.(s) _____
 Lugar: MARISCAL NIETO - MOQUEGUA Empresa: EPS MOQUEGUA S.A. Planta: PTAR OMO Proyecto: Remoción de nutrientes
 Carta/Cotización: N° 2021-10Y1-33-1 MUESTREADO POR SAG MUESTREADO POR CLIENTE

PUNTO DE MUESTREO O CODIGO DEL CLIENTE	MUESTREO			PARAMETROS IN SITU				ANÁLISIS DE LABORATORIO								N° Informe:	
	FECHA	HORA	TIPO DE MATRIZ	Oxígeno disuelto	pH	Temperatura	Turbidez	Nitrogeno total	Fosforo total	DBO5	DQO	TSS	Metales T	Coliformes totales	Coliformes fecales	CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES
① Ingreso	24-11-21	13:37	Agua residual	0.44	8.06	24.6	2.17	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
(Grupo Control)	0-1							✓	✓								
	0-2							✓	✓								
	0-3																
② Salida	24-11-21	13:55	Agua Tratada	0.76	7.76	23.1	7.5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
(Humedal Totoro)	4º Día							✓	✓								
	4-1							✓	✓								
	4-2																
	4-3																
③ Salida	24-11-21	14:10	Agua tratada	0.77	7.99	23.0	4.7	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
(Humedal Carizo)	4º Día							✓	✓								
	4-1							✓	✓								
	4-2																
	4-3																

Observaciones de Muestreo: Para el parametro de Nitrogeno total y fosforo total se realizaron 03 repeticiones en cada punto de muestreo para la investigación de remoción de nutrientes.

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Samuel Marocco Lampi Firma(s):
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: Ing. Walter Villazante Conza Firma(s):



Recibido en laboratorio: _____
 Día/Hora: _____



CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

FR - 005
Versión: 05
F.E: 11/2019
Página 01 de 01

Cliente: EPS MOQUEGUA S.A. Contacto: 945285003 E-mail: Samuelm1335@gmail.com Telef.(s) —
 Lugar: MARISCAL NIETO - MOQUEGUA Empresa: EPS MOQUEGUA S.A. Planta: PTAR OMO Proyecto: Remoción de nutrientes
 Carta/Cotización: N° 2021 - 10VI - 33-1 MUESTRADO POR SAG MUESTRADO POR CLIENTE

MUESTREO				PARAMETROS IN SITU						ANALISIS DE LABORATORIO										N° Informe:	
PUNTO DE MUESTREO o CODIGO DEL CLIENTE	FECHA	HORA	TIPO DE MATRIZ	pH	Temperatura	Turbididez	Nitrogeno total	fosforo total	DBO5	DQO	TSS	Metales Totales	Coliformes Totales	Coliformes fecales	CODIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES					
																	<p>① Ingreso 03-12-21 11:05 Agua residual 19.790.255.200 Humedal</p> <p>② Salida 03-12-21 10:40 Agua Tratado 52.808.290.201 (Humedal 10^{mo} Día Totora) 10-1 10-2 10-3</p> <p>③ Salida 03-12-21 11:02 Agua tratado 32.796.299.60 (Humedal 10^{mo} Día Carrizo) 10-1 10-2 10-3</p>				

Observaciones de Muestreo: En la Salida Humedal de totora y Carrizo se tomó 03 repeticiones de Nitrogeno y 03 repeticiones de fosforo total.

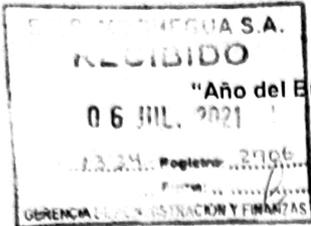
Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Samuel Morocco Llampi Firma(s): 
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: Ing. Walter Villasante Conza Firma(s): 

Recibido en laboratorio: _____
 Día/Hora: _____

Anexo 04.

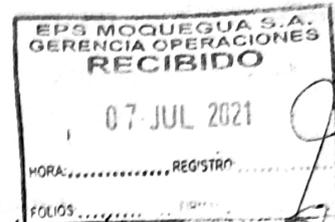
SOLICITUD DE PERMISO PRESENTADA A LA EPS MOQUEGUA S.A.

Exp. N° 011213-11



Moquegua, 2 de Julio del 2021

Ing. Martin Soto Romero
Gerente General de la EPS Moquegua S.A.



Presente. -

ASUNTO: Solicito Apoyo en Ejecución de Tesis de pre grado para la Remoción de Contaminantes en la PTAR OMO

De mi especial consideración:

Yo, Karen Mislenia Paye Huallpa con DNI 73436142, habiendo realizado mis prácticas en el año 2020 en su digna institución y Samuel Morocco Llampi con DNI 701340642 que presto servicios de apoyo en la PTAR Omo. Conocedor de su labor en la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Moquegua y la problemática del cumplimiento de la vida útil en la primera etapa de la PTAR OMO, estamos proponiendo el trabajo de investigación denominado "Efecto de la totora (*Typha Angustifolia* L.) y el carrizo (*Phragmites Australis*) en la remoción de nutrientes en la Planta De Tratamiento De Agua Residual Omo", a través de la Universidad Continental con el fin de dar una solución a la problemática de contaminación.

Por medio de la presente, con fines de investigación solicitamos acceso y facilidades para la elaboración de trabajo de investigación

Por lo anteriormente expuesto, se empieza a describir e informar las actividades a realizar:

- Construcción de un Humedal horizontal
- Uso de Aguas residual de laguna de maduración 1
- Análisis en laboratorio
- Análisis en laboratorio acreditado

PROVEIDO N° 1518	GO EPS MOQUEGUA S.A. EXP N°	
1. Conocimiento	5. Evaluar	9. Otros
2. Atención	6. Archivo	
3. Opinión	7. Preparar Respuesta	
4. Tramitar	8. Coordinar	
PASE A: 01 Producción y Mantenimiento		
PLAZO	FECHA 07/02	

Sin otro particular me despido de usted, y reiterar mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

MOROCO LLAMPI SAMUEL
DNI 701340642

PAYE HUALLPA KAREN MISLENIA
DNI 73436142

E.P.S. MOQUEGUA S.A.

A G.O.

Por N.º S.A.

Fecha: 05/07/2021

GERENCIA DE ADMINISTRACIÓN Y FINANZAS



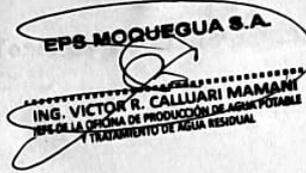
Dar facilidades de ingreso a la PTAR - OMO a Daniel Morocco y Karen Paye para realizar su trabajo de Investigación.

EPS MOQUEGUA S.A.
RECIBIDO
 OFICINA DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE
 Y TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

13 JUL 2021

HORA 9:18 REGISTRO

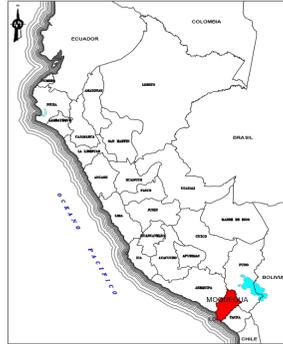
FOLIOS FIRMA *[Signature]*



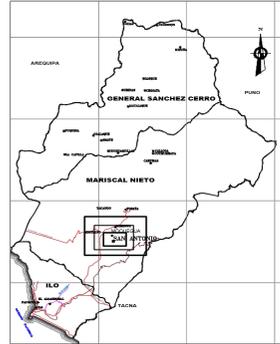
Anexo 05. Plano de ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales omo - moquegua e identificación de puntos de muestreo.



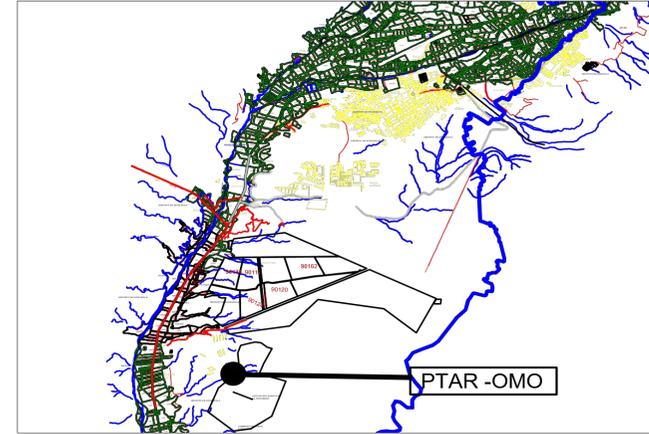
UBICACIÓN CONTINENTAL



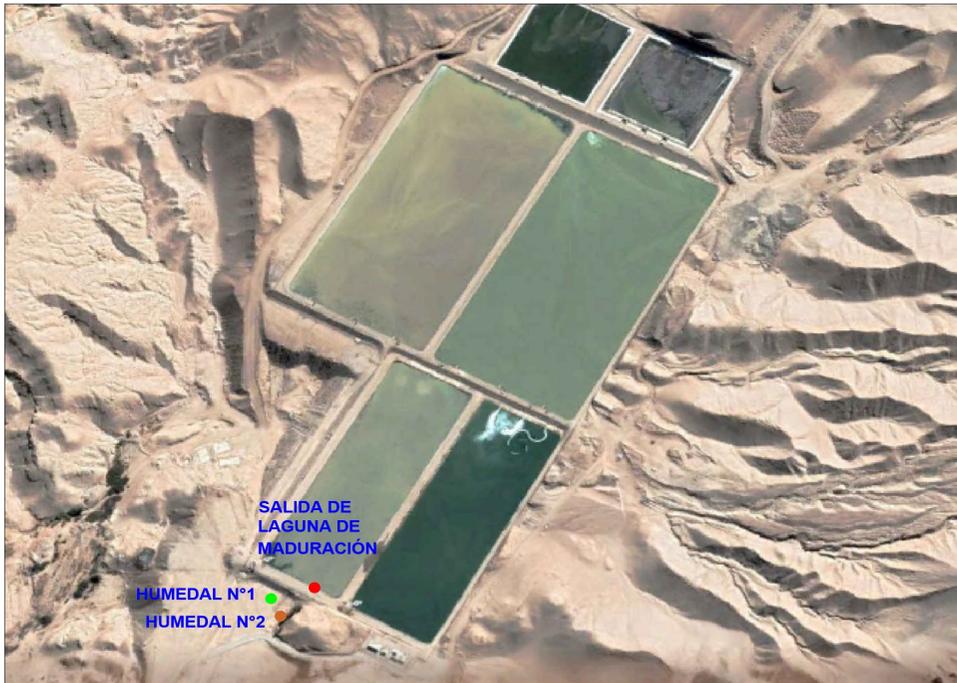
UBICACIÓN NACIONAL



UBICACIÓN REGIONAL



PLANO DE UBICACIÓN



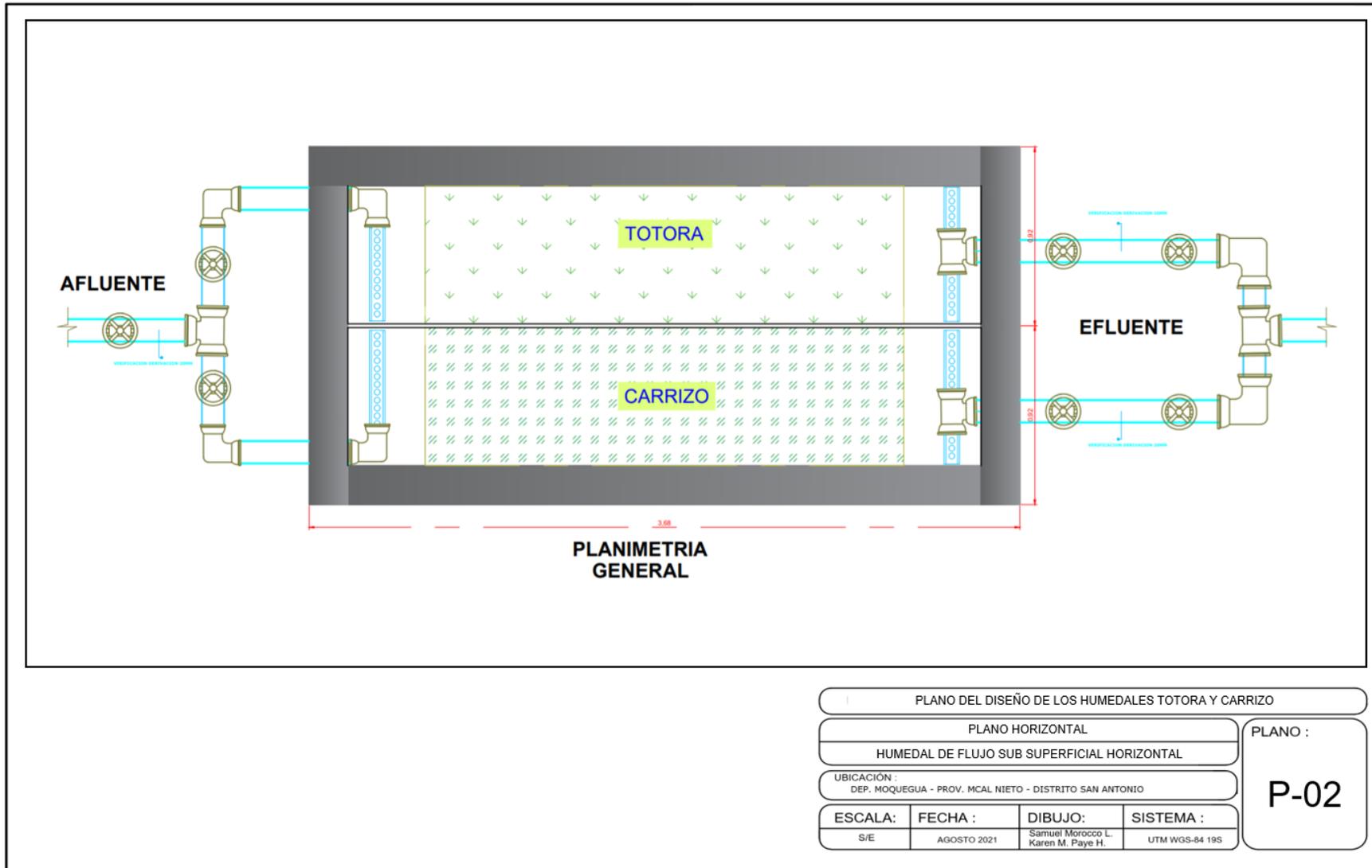
CUADRO DE DATOS TÉCNICOS		
PUNTOS DE MUESTREO	COORDENADAS	
	ESTE	NORTE
● SALIDA DE LAGUNA DE MADURACIÓN	290730.7600	8091649.5600
● HUMEDAL N°1 - <i>TYPHA ANGUSTIFOLIA L.</i>	290708.6600	8091639.2200
● HUMEDAL N°2 - <i>PHRAGMITES AUSTRALIS</i>	290708.3700	8091628.4200

UBICACIÓN Y PUNTOS DE MUESTREO DE LA INVESTIGACIÓN

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES OMO - MOQUEGUA			
ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANEAMIENTO EPS - MOQUEGUA			
UBICACIÓN : DEP. MOQUEGUA - PROV. MCAL NIETO - DISTRITO SAN ANTONIO			
ESCALA:	FECHA :	DIBUJO:	SISTEMA :
S/E	AGOSTO 2021	Samuel Morocco L. Karen M. Paye H.	UTM WGS-84 19S

PLANO :
P-01

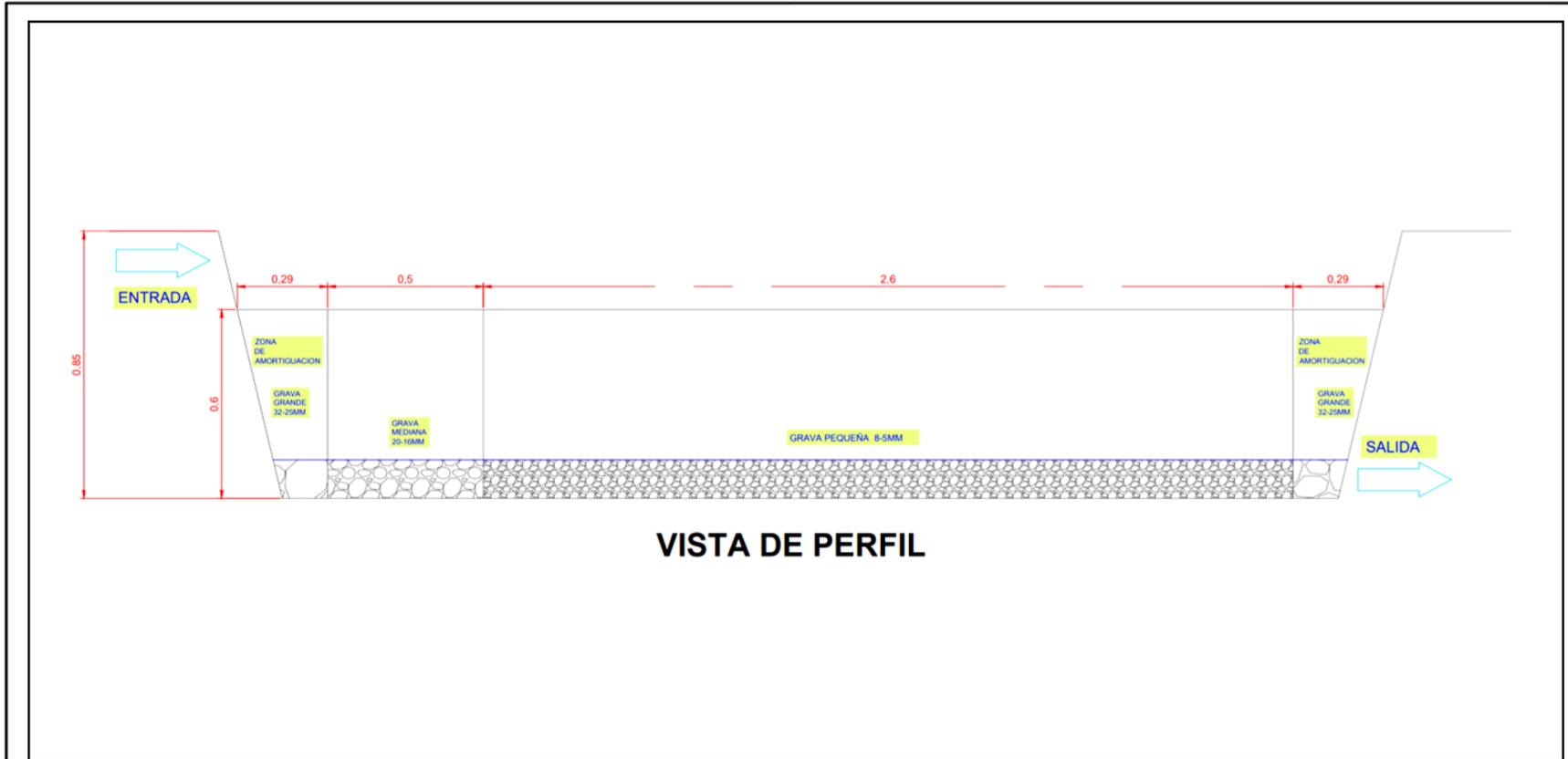
Anexo 05. PLANO VISTA HORIZONTAL.



PLANO DEL DISEÑO DE LOS HUMEDALES TOTORA Y CARRIZO			
PLANO HORIZONTAL			
HUMEDAL DE FLUJO SUB SUPERFICIAL HORIZONTAL			
UBICACIÓN: DEP. MOQUEGUA - PROV. MCAL NIETO - DISTRITO SAN ANTONIO			
ESCALA:	FECHA :	DIBUJO:	SISTEMA :
S/E	AGOSTO 2021	Samuel Morocco L. Karen M. Paye H.	UTM WGS-84 19S

PLANO :
P-02

Anexo 06. PLANO VISTA DE PERFIL



VISTA DE PERFIL

PLANO DISEÑO DE LOS HUMEDALES TOTORA Y CARRIZO			
PLANO DE PERFIL			
HUMEDAL DE FLUJO SUB SUPERFICIAL HORIZONTAL			
UBICACIÓN : DEP. MOQUEGUA - PROV. MCAL NIETO - DISTRITO SAN ANTONIO			
ESCALA:	FECHA :	DIBUJO:	SISTEMA :
S/E	AGOSTO 2021	Samuel Morocco L. Karen M. Paye H.	UTM WGS-84 19S
PLANO :			P-03

ANEXO 5

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1. *Recolección de las especies Typha angustifolia L. (Totora) y Phragmites australis (Carrizo).*



Fotografía.2 *Adaptación de las especies Typha angustifolia L. (Totora) y Phragmites australis (Carrizo).*



Fotografía 3. *Excavación y preparación del terreno para la instalación de geomembrana.*



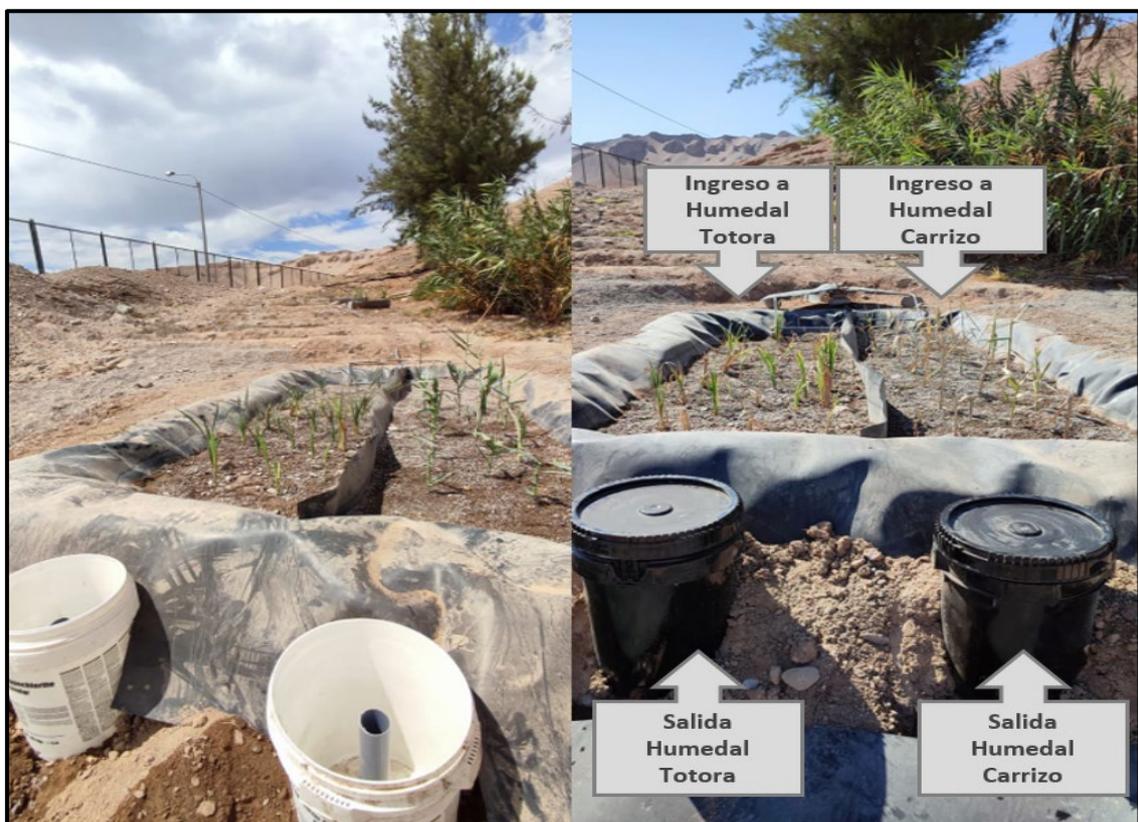
Fotografía 4. *Instalación de la geobrembrana y sistema de conducción de tuberías para los humedales.*



Fotografía 5. Colocación del sustrato y plantación de las especies.



Fotografía 6. Instalación del sistema de salidas del humedal totora y humedal carrizo.



Fotografía 7. Seguimiento del proceso de adaptación de la totora y carrizo.



Fotografía 8. Medición del crecimiento de las especies totora y carrizo.



Fotografía 9. Apariencia de las muestras ingreso humedal, humedal totora y humedal carrizo.



Fotografía 10. Extracción de muestras en la salida de los humedales.



Fotografía 11. *Rotulado de frascos del Nitrógeno Total y Fósforo Total y registro de la cadena de custodia.*



Fotografía 12. *Preservación de las muestras para envío a laboratorio acreditado.*

