

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

EFECTO DEL USO DE LA TOTORA (*Typha angustifolia L.*)  
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DOMÉSTICAS EN LA CIUDAD DE TACNA, 2023

TESIS

Presentada por:

Bach. Liseth Shumara Calli Mamani

Para optar el Título Profesional de  
INGENIERO AMBIENTAL

TACNA - PERÚ

2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

**Facultad de Ciencias Agropecuarias**

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**TESIS**

**EFFECTO DEL USO DE LA TOTORA (*Typha angustifolia* L.) PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN  
LA CIUDAD DE TACNA, 2023**

SUSTENTADA Y APROBADA EL 14 DE NOVIEMBRE DEL 2024, SIENDO  
EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:



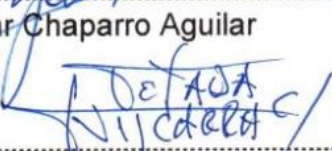
.....  
Dr. Carlos Francisco Tito Vargas

SECRETARIO:



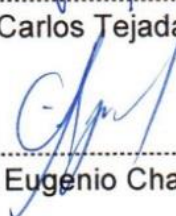
.....  
Dr. Edgar Chaparro Aguilar

VOCAL:



.....  
Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra

ASESOR:



.....  
Dr. Efrén Eugenio Chaparro Montoya

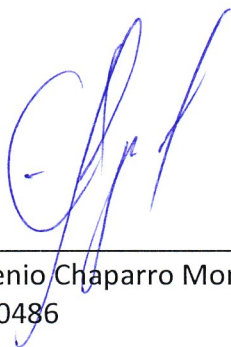
## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dr. Efren Eugenio Chaparro Montoya en mi condición de asesor(a) acreditado con Resolución de Facultad N° 8149-2023-FCAG del de 05 de diciembre 2023, del trabajo de tesis, titulado: "EFECTO DEL USO DE LA TOTORA (*Typha angustifolia* L.) PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN LA CIUDAD DE TACNA, 2023".

Presentado por Bach. Liseth Shumara Calli Mamani, para optar el título profesional de ingeniero ambiental.

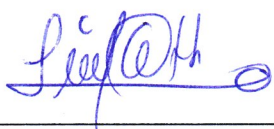
Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajo de investigación y producción intelectual de la UNJBG; considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del **Software de similitud textual TURNITIN**, cuenta con el **nivel de similitud** permitido cuyo porcentaje es **9 %**, por lo que, **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis enunciada líneas arriba, la cual está expedita para continuar con los trámites para optar la obtención del título profesional, según corresponda consiguientemente para su publicación en el repositorio institucional.

Tacna, 05 de marzo del 2025



---

Efren Eugenio Chaparro Montoya  
DNI: 00450486



---

Bach. Liseth Shumara Calli Mamani  
DNI: 75563434



## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación representa el fin de una gran etapa en mi vida, me brindó madurez y responsabilidad, lo que abrirá nuevos caminos, percepciones y oportunidades.

Va dedicado de manera especial a Dios, a mis amados padres; Ernesto Calli y Yohana Mamani, por su amor, paciencia, comprensión y por su eterno apoyo.

A mis abuelos que la vida me permite tenerlos y ver sus ojos llenos de alegría al verme como profesional.

A mi asesor y jurados, por sus consejos, apoyo y guiarme en las etapas de mi tesis.

Finalmente, va dedicado con mucho amor y nostalgia hacía mí misma, Liseth Calli, porque te lo mereces, por ser valiente al afrontar nuevos retos y pese a las adversidades salir siempre adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

Principalmente agradecer a Dios por brindarme la fuerza, motivación y permitirme despertar cada día para culminar satisfactoriamente mi camino universitario.

A mis padres, Ernesto y Yohana, por ser mi fuerza, motivación; y su infinito apoyo desde que yo era pequeña para alcanzar cada objetivo en mi vida.

A mis abuelitos, Benito, Hermógenes y Justina, que pese a la distancia me apoyaron con materiales para mi investigación y sus consejos.

A mis profesores, por guiarme en mis 5 años universitarios, en especial al docente Efrén Chaparro y Edgar Chaparro, por hacerme ver la tesis de forma sencilla y avanzar sin temor.

A aquellos amigos de gran corazón que me ayudaron con palabras, y en actividades para mi tesis; infinitamente gracias

## CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
CONTENIDO .....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
 <b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b>	
1.1 Descripción del problema .....	4
1.2 Formulación y sistematización del problema .....	5
1.2.1 Problema general .....	5
1.2.2 Problemas específicos.....	5
1.3 Delimitación de la investigación .....	6
1.3.1 Delimitación temporal .....	6
1.3.2 Delimitación espacial .....	6
1.4 Justificación e importancia de la investigación .....	7
1.4.1 Justificación técnico científica .....	7

1.4.2	Justificación socioeconómica .....	7
1.4.3	Justificación ambiental .....	7

## **CAPÍTULO II: OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

2.1	Objetivos .....	8
2.1.1	Objetivo general .....	8
2.1.2	Objetivos específicos.....	8
2.2	Hipótesis .....	8
2.2.1	Hipótesis general.....	8
2.2.2	Hipótesis específicas .....	9
2.3	Variables .....	9
2.3.1	Indicadores de variables.....	9
2.3.2	Operacionalización de las variables.....	9

## **CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO Y-CONCEPTUAL**

3.1	Antecedentes .....	11
3.2	Bases teóricas.....	15
3.2.1	Aguas residuales.....	15
3.2.2	Tratamiento de aguas residuales.....	18
3.2.3	Fitorremediación.....	19
3.2.3.1	Estrategias de fitorremediación.....	19
3.2.3.2	Tratamiento con plantas acuáticas flotantes.....	21

3.2.3.3	Clases de plantas acuáticas .....	22
3.2.4	Totora ( <i>Typha agustifolia</i> L.) .....	23
3.3	Base conceptual .....	28
3.3.1	Aguas residuales .....	28
3.3.2	Tratamiento de aguas residuales .....	28
3.3.3	Fitorremediación .....	28
3.3.4	Totota ( <i>Typha angustifolia</i> ) .....	28
3.3.5	Metales pesados .....	29

#### **CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO**

4.1	Tipo y nivel de investigación .....	30
4.1.1	Tipo de investigación .....	30
4.1.2	Nivel de investigación .....	30
4.1.3	Diseño de investigación .....	30
4.2	Lugar de estudio .....	31
4.3	Población y muestra de estudio .....	32
4.3.1	Población .....	32
4.3.2	Muestra .....	32
4.4	Método .....	33
4.4.1	Procedimiento experimental .....	33
4.5	Materiales y equipos .....	43

4.5.1	Materiales .....	43
4.5.2	Indumentaria de protección.....	44
4.5.3	Equipos.....	44
4.6	Análisis estadístico.....	45

## **CAPÍTULO V: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.6.1	Resultados.....	46
4.6.2	Análisis de las características fisicoquímicas iniciales de agua residual doméstica de la PTAR Magollo .....	46
4.6.3	Evaluación del efecto de la Totorá ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) en la remoción de parámetros fisicoquímicos del agua residual doméstica de la PTAR Magollo .....	48
4.6.4	Evaluación de la Totorá ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) para la remoción de metales pesados del agua residual doméstica de la PTAR Magollo.....	60
4.6.5	Discusión de resultados .....	62
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>70</b>
	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables .....	10
<b>Tabla 2.</b> Parámetros indicadores del tratamiento de agua residual.....	17
<b>Tabla 3.</b> Clasificación taxonómica de la Totora ( <i>Typha angustifolia</i> L.) .....	24
<b>Tabla 4.</b> Tratamiento y repeticiones para el desarrollo de la investigación (análisis de agua) .....	31
<b>Tabla 5.</b> Parámetros y requerimientos para la toma de muestras .....	40
<b>Tabla 6.</b> Norma de referencia usada para analizar cada parámetro .....	41
<b>Tabla 7.</b> Resultados del análisis inicial de las muestras de la PTAR Magollo .....	46
<b>Tabla 8.</b> Resultado de los niveles de metales pesados del agua residual de la PTAR Magollo.....	47
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza del pH en el afluente tratado	48
<b>Tabla 10.</b> Prueba del rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) del pH para el factor Totora.....	49
<b>Tabla 11.</b> Análisis de varianza de la temperatura en el afluente tratado.....	50
<b>Tabla 12.</b> Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la temperatura para el factor tiempo .....	51
<b>Tabla 13.</b> Análisis de varianza del nivel de aceites y grasas (mg/L) en el afluente tratado .....	51

<b>Tabla 14.</b>	Análisis de varianza de coliformes termotolerantes (NMP/100ml en el afluente tratado.....	52
<b>Tabla 15.</b>	Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de Coliformes termotolerantes (NMP / 100ml) para el factor Totorá .....	53
<b>Tabla 16.</b>	Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) para el factor Tiempo.....	53
<b>Tabla 17.</b>	Análisis de varianza de la DBO5 (mg/L) en el efluente tratado .....	54
<b>Tabla 18.</b>	Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la DBO5 (mg/L) para el factor Totorá .....	55
<b>Tabla 19.</b>	Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la DBO5 en el afluente tratado para el factor tiempo .....	55
<b>Tabla 20.</b>	Análisis de varianza de DQO (mg/L) en el efluente tratado .....	56
<b>Tabla 21.</b>	Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la DQO (mg/L) en el efluente tratado para el factor Totorá.....	57
<b>Tabla 22.</b>	Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la DQO en el afluente tratado para el factor Totorá .....	57
<b>Tabla 23.</b>	Resultado de los análisis de metales pesados en muestras de agua residual de la PTAR Magollo .....	59
<b>Tabla 24.</b>	Resultado de los análisis de metales pesados (mg/Kg) en muestra de raíz de <i>T. angustifolia</i> .....	60
<b>Tabla 25.</b>	Resultado de los análisis de metales pesados (mg/Kg) en muestra de tallo de <i>T. angustifolia</i> .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Punto de muestreo en la PTAR Magollo.....	33
<b>Figura 2.</b> Flujograma del desarrollo de la investigación por etapas.....	34
<b>Figura 3.</b> Disposición de tubos en contenedores.....	35
<b>Figura 4.</b> Caño a la salida de los contenedores.....	35
<b>Figura 5.</b> Área de toma de muestra.....	36
<b>Figura 6.</b> Recolección y transporte de <i>Typha angustifolia</i> L.....	37
<b>Figura 7.</b> Disposición final de contenedores y <i>Typha angustifolia</i> L. después de 48 días de adaptación.....	38
<b>Figura 8.</b> Recolección de agua residual de la PTAR Magollo.....	39
<b>Figura 9.</b> Multiparámetro digital portátil.....	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Matriz de consistencia.....	88
<b>Anexo 2.</b> Tablas de resultados.....	89
<b>Anexo 3.</b> Resultados del laboratorio .....	91
<b>Anexo 4.</b> Panel fotográfico .....	100

## RESUMEN

La producción de aguas residuales se incrementa con las actividades antrópicas, afectando todo tipo de vida en el planeta y al ambiente. La investigación que se presenta, tuvo como objetivo determinar el efecto del uso de la Tatora (*Typha angustifolia L.*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Tacna. Como parte de la metodología; primero, se recolectó y adaptó plantas por 48 días, estas fueron regadas con afluente de la PTAR de Magollo. Se seleccionó el humedal con tatora (CT) con mejores condiciones, junto a un humedal sin tatora (ST), para iniciar el tratamiento. Los resultados indicaron que el tratamiento con Tatora (CT) logró mejores porcentajes de remoción a los 7 días para los contaminantes: aceites y grasas, DBO, DQO, coliformes termotolerantes y metales pesados (Cu y Zn). Se concluye que el tratamiento con Tatora (*Typha angustifolia L.*) remueve eficientemente los contaminantes, cumple con el DS 003-2010-MINAM y medianamente con el DS 004-2017 MINAM (categoría 3). Además, tiene la capacidad de almacenar metales pesados en sus hojas y raíces.

**Palabras claves:** *agua residual doméstica, Typha angustifolia L., humedal artificial, parámetros fisicoquímicos, metales pesados.*

## ABSTRACT

Wastewater production increases with anthropogenic activities, affecting all types of life on the planet and the environment. The objective of this research was to determine the effect of the use of Totora (*Typha angustifolia L.*) for the treatment of domestic wastewater in Tacna city. As part of the methodology, first, plants were collected and adapted for 48 days, irrigated with affluent from the Magollo PTAR. A wetland with Totora (CT) with better conditions was selected, together with a wetland without Totora (TS) to start treatment. The results indicated that the treatment with Totora (CT) achieved better removal percentages in 7 days, for the pollutants: oils and greases, BOD, COD, thermotolerant coliforms and heavy metals (Cu and Zn). In conclusion, the treatment with Totora (*Typha angustifolia L.*) efficiently removes pollutants, It complies with the DS 003-2010- MINAM y moderately with DS 004-2017 MINAM (category 3). In addition, It has the capacity to store heavy metals in its leaves and roots.

**Keywords:** *domestic wastewater, Typha angustifolia, artificial wetland, physicochemical parameters, heavy metals*

## INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales incrementan junto con población, la expansión de cultivos y el progreso económico. Inadecuados tratamientos e infraestructura en los países en vías de desarrollo, ocasiona que más aguas residuales sean vertidas directamente a cuerpos de agua (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), 2023). En el 2022, aguas residuales con materia fecal eran consumidas por aproximadamente 1 700 millones de personas; pudiendo transmitir; fiebre tifoidea, diarrea, poliomielitis y disentería (OMS, 2023).

En países de renta media se trata entre el 28 % a 38% de aguas residuales y en países pobres se trata el 8% (UNESCO, 2017). En Perú, entre los años 2016 y 2020 el porcentaje de agua tratada ascendió de 66,40% a 77,70% (SUNASS, 2022). Tratar las aguas residuales implica el uso de procesos de purificación y desinfección para evitar la recontaminación; requieren energía y electricidad durante el día. Por otro lado, la fitorremediación o “fitosistema” es una alternativa tecnológica natural y eficiente para descontaminar el agua y degradar químicos; requiere de un bajo costo, consumo energético y es de alto rendimiento; valiosos para comunidades alejadas (UNESCO, 2019).

Los humedales naturales o artificiales son un tipo de fitosistema que usa macrófitas flotantes y/o enraizadas en el sustrato (sumergidas o emergentes). Como especies emergentes más importantes, destacan las eneas, como: la *Typha angustifolia* L., *T. dominguensis*, *T. latifolia*, y otras especies como el *Sparganium*

*erectum* o *Phragmitis australis* (De Miguel et al., 2014).

La aplicación de las especies *Typha* dentro de humedales artificiales y con distintos tiempos de retención hidráulica, da resultados con altos niveles de porcentajes de remoción; como: 81 % de DBO<sub>5</sub> y 61% de DQO en 2,03 días (Lopez et al., 2019); 71 % de DQO y 99,99% de Coliformes en 25 días (Cubas y Mireles, 2019). También, son capaces de remover ciertos metales, el aluminio, bario, hierro, fosforo y silicio, obteniéndose; 98,96 %; 51,06 %; 97,58 %; 94,68 %; 84,61 %; respectivamente (Chugden y Verastegi, 2020).

Generalmente *Typha latifolia* es la que más estudios comprobados posee. Sin embargo, fuentes bibliográficas indican que *Typha angustifolia* L. puede vivir en aguas de mala calidad y salinas; además, remueve la materia orgánica (De Miguel et al., 2014) en conjunto con sus microorganismos rizosfericos (Arivoli y Mohanraj, 2013). Incluso, tolera altos niveles de nitrógeno y fósforo; manteniendo su función depuradora, crecimiento y desarrollo (Neubauer, 2010).

Tras lo expuesto, para comprobar la capacidad fitorremediadora de *Typha angustifolia* L. y obtener efluentes que cumplan con normas peruanas vigentes; el presente estudio plantea determinar el efecto del uso de Totorá (*Typha angustifolia* L.) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Tacna.

En el capítulo I se muestra el planteamiento del problema, integrado por la descripción y formulación del problema, la delimitación, justificación e importancia de la investigación. En el capítulo II se ubican los objetivos, hipótesis y variables de la investigación. En el capítulo III se muestra los antecedentes, marco teórico y conceptual. En el capítulo IV, el diseño metodológico conformado por el tipo y nivel del estudio, la población y muestra, los métodos y procedimientos utilizados para ejecutar la investigación y llegar a los resultados y discusión que son parte del capítulo V. Finalmente, se obtiene conclusiones que aceptan o rechazan las hipótesis. Adicional, se muestran las recomendaciones para futuros trabajos, la bibliografía y anexos como prueba de las actividades a lo largo de la investigación.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

El agua es un recurso importante para la vida y llevar a cabo distintas actividades. Tras el uso y consumo se generan efluentes o aguas residuales con tóxica y variada composición de contaminantes.

Las aguas residuales se tratan en plantas de tratamiento (PTAR); para su disposición final o reúso. En el año 2020, de 128 países estudiados; fueron tratadas solo el 56 %. Este mismo estudio indica que entre el año 2030 y 2050 las aguas residuales incrementarán de 24 % a 51 % (Programa de las Naciones Unidas para Asentamiento Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS), 2021).

Perú cuenta con 336 PTARs; implementadas con lagunas de estabilización o lagunas anaerobias (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 2017). La ciudad de Tacna cuenta con la PTAR Magollo, actualmente, opera a 320 lps. Sin embargo, fue construida con capacidad de tratar 180 lps (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), 2013).

A razón del aumento de aguas residuales y malos tratamiento es que se contamina el ambiente, suelo, agua; se generan malos olores.

Frente a esto, los ingenieros ambientales evalúan diversas metodologías con el propósito de tratar el agua residual y obtener resultados favorables en la remoción de contaminantes. La biorremediación con plantas; como, la Totorá (*Typha angustifolia L.*), demuestra buenos resultados plantadas dentro de humedales, teniendo beneficios paisajísticos y económicos, a comparación de un sistema de tratamiento mecánico y costoso. Cabe resaltar, que sistemas de tratamiento con humedales y plantas no requiere personal altamente capacitado, produce menos lodos y puede ser usado convenientemente en zonas rurales.

No obstante, investigaciones sobre el empleo de Totorá para el tratamiento de agua residual en Tacna, no ha tenido una revisión exhaustiva. A causa de ello, se ha elaborado esta investigación a fin de determinar el efecto del uso de la Totorá (*Typha angustifolia L.*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Tacna.

## **1.2 Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál es el efecto del uso de la Totorá (*Typha angustifolia L.*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Tacna?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas iniciales de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo?

- ¿Cuál es el efecto de la Totorá (*Typha angustifolia L.*) en la remoción de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo?
- ¿La Totorá (*Typha angustifolia L.*) podrá reducir metales pesados de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo?

### **1.3 Delimitación de la investigación**

#### **1.3.1 Delimitación temporal**

Se tomó 86 días para el recojo de datos; considerando las etapas de recolección, adaptación de la Totorá, ejecución del tratamiento y manejo e interpretación de datos.

#### **1.3.2 Delimitación espacial**

La recolección de la especie *Typha angustifolia L.*, fue en Puno para ser trasladadas y adaptadas en el departamento de Tacna, provincia de Tacna, distrito de Ciudad Nueva. De igual manera, para la obtención de las muestras.

Por otro lado, los resultados de los análisis fisicoquímicos del agua residual y materia vegetal se hicieron en Analytical Laboratory E.I.R.L (ALAB).

## **1.4 Justificación e importancia de la investigación**

### **1.4.1 Justificación técnico científica**

La investigación incrementará los conocimientos sobre el efecto de *Typha angustifolia L.* en el tratamiento de aguas residuales.

### **1.4.2 Justificación socioeconómica**

Se brindará una solución y alternativa a pueblos cuyas aguas residuales no reciben un manejo adecuado. Lográndose obtener agua residual tratada para el reúso en la agricultura y mejorar la calidad de vida de los pobladores.

La fitorremediación con Totorá brinda calidad con baja inversión, son de sencilla operación y mantenimiento (Arias y Brix, 2003). Este estudio comprobará que con el uso de la Totorá como planta fitorremediadora se puede obtener agua eficientemente tratada.

### **1.4.3 Justificación ambiental**

Los sistemas de tratamiento con plantas (humedales artificiales) como la Totorá (*Typha angustifolia L.*) son simples, no necesitan incluir compuestos químicos, ayudan a recuperar la calidad del agua, brindan mejora paisajística y espacios de biodiversidad (Agudo, 2021). En tal sentido, este estudio permitirá llevar a cabo un sistema de tratamiento amigable con el ambiente, creador de nuevos espacios y desarrollo de vida.

## **CAPÍTULO II**

### **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **2.1 Objetivos**

##### **2.1.1 Objetivo general**

Determinar el efecto del uso de la Totora (*Typha angustifolia L.*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Tacna.

##### **2.1.2 Objetivos específicos**

- Analizar las características fisicoquímicas iniciales de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo.
- Evaluar el efecto de la Totora (*Typha angustifolia L.*) en la remoción de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo.
- Evaluar a la Totora (*Typha angustifolia L.*) para la remoción de metales pesados de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo.

#### **2.2 Hipótesis**

##### **2.2.1 Hipótesis general**

El uso de la Totora (*Typha angustifolia L.*) influye en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Tacna.

### **2.2.2 Hipótesis específicas**

- La caracterización inicial de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo sobrepasa los LMP para efluentes de PTAR.
- La Totorá (*Typha angustifolia L.*) tiene efecto positivo en la remoción de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo.
- La Totorá (*Typha angustifolia L.*) reduce y acumula metales pesados del agua residual doméstica de la PTAR Magollo.

### **2.3 Variables**

#### **2.3.1 Indicadores de variables**

##### **2.3.1.1 Variables independientes**

Totorá (*Typha angustifolia L.*)

##### **2.3.1.2 Variable dependiente**

Agua residual doméstica tratada

#### **2.3.2 Operacionalización de las variables**

En la Tabla 1 se muestra la operacionalización de variables. Para mayor detalle el ANEXO 1 muestra la matriz de consistencia de la investigación

**Tabla 1***Operacionalización de variables*

<b>Variable</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Variabes</b>		
<b>independientes:</b>	Cantidad de la Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> )	Número de Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> )
<b>X1 = Totora</b> ( <i>Typha angustifolia L.</i> )		
<b>Variable dependiente:</b>	Características fisicoquímicas	pH Temperatura (°C) DBO (mg/L) DQO (mg/L) Coliformes termotolerates (NMP/100mL) Aceites y grasas (mg/L)
<b>Y = Agua residual tratada</b>	Metales totales	Metales pesados pre y post tratamiento (mg/L)

## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

#### 3.1 Antecedentes

Laura (2023), en su investigación “Evaluación de la eficiencia de un sistema de humedales artificiales a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales con elevadas concentraciones de materia orgánica en condiciones de clima frío”. Para el tratamiento de aguas proveniente de un matadero municipal se construyó un sistema que constó de un tanque de almacenamiento, tanque séptico, humedal artificial de flujo vertical y humedal de flujo horizontal. Los resultados permiten concluir en eficiencias de remoción de 99 % de SST, 97 % de DQO, 99 % de DBO<sub>5</sub> y 99 % de coliformes termotolerantes; en 3 días de retención hidráulica.

En el estudio de López et al. (2019) titulado “Desempeño de humedales construidos a escala piloto para el tratamiento de agua residual urbana utilizando *Cyperus giganteus vahl* y *Typha domingensis Pers*”. Se trabajó con contenedores de 12 m<sup>2</sup> con tiempo de retención de 2,03 d, implementados con *Cyperus giganteus* (molinillo) y *Typha domingensis* (totora), se obtuvo que tras pasado 3 meses los resultados fueron más eficientes para *Typha domingensis* (totora), con porcentajes de remoción de 65 % en nitrógeno amoniacal, 58 % de fosforo total, 81 % de DBO y 61 % de DQO.

La tesis realizada por Cubas y Mirales (2019) con título “Eficiencia del humedal artificial con Totora (*Scirpus californicus*) en la depuración de efluentes de las lagunas de estabilización del centro poblado “La otra banda”, resultó, que a los 25 días de retención hidráulica los porcentajes de remoción fueron, 71 % de DQO, 73 % de SST y 99,99 % de C. termotolerantes. Se concluye y comprueba que el efluente tratado, cumple con los LMP para PTAR, no presenta olores y puede ser reusada para otra actividad.

Coaquira (2018), obtuvo en su investigación “Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo sub superficial con totora (*Schoenoplectus californicus*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018”, porcentajes de remoción de 60,21 % de SST; 80,00 % de DBO<sub>5</sub>; 64,6% de DQO. Las conclusiones afirman que la Totora es una planta fitorremediadora capaz de disminuir contaminantes, cumpliendo con Decreto Supremo N. ° 003- 2010-MINAM.

Según Huanacuni (2019), en la tesis “Capacidad de depuración de aguas residuales domésticas con aplicación de diferentes tecnologías de tratamiento sostenibles con costos de operación y mantenimiento económicos para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna (Cono Sur) – Perú”, se obtuvo mejores resultados con el tratamiento que comprendía la trampa de grasas, laguna anaerobia y dos humedales con *Typha* sp. (especie de Totora) con antracita como sustrato. Se removió 99,10 % de aceites y grasas; 80,54 % de turbidez y 94 % de coliformes termotolerantes; 85 % de DBO<sub>5</sub>; 83,7 % de DQO y 97,6 % para SST.

Sin embargo, el nivel de arsénico en el agua se incrementó mínimamente. Concluye que el mejor resultado es por el tratamiento con trampa de grasas más el humedal con *Typha* sp. y que mientras más desarrollado y establecida la planta, mayor es la remoción de arsénico.

Chugden y Verastegi (2020), en su estudio “Evaluación de la eficiencia de las plantas acuáticas Totora y Carrizo en la absorción y remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domesticas del distrito Namora – Cajamarca, 2020”, trabajando con ambas especies por separado en contenedores de 1 m<sup>2</sup> y haciendo evaluaciones a los 15, 45 y 90 días; demuestran que la Totora (*Scirpus californicus*), alcanzó mejores porcentajes de remoción, en 94,5 % de turbidez; 97,20 % de SST; 95,40 % de nitrógeno amoniacal; 95,99 % de nitrógeno total, el DBO y DQO fueron removidos en 93,40 %. Además, se demuestra que la Totora presenta mejores porcentajes de remoción de elementos como el aluminio (Al), bario (Ba), hierro (Fe), fosforo (P) y silicio (Si), obteniéndose; 98,96 %; 51,06 %; 97,58 %; 94,68 %; 84,61 %; respectivamente. Se concluye que las aguas residuales tratadas por humedales artificiales de flujo sub superficial cumplen como agua de riego, según el DS 004-2017-MINAM.

Según Sucari (2022), en su investigación que titula, “Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando *Scirpus californicus* y *Festuca dolichophylla*, en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín”. Resultó que *Scirpus californicus* removió 99,47 % en promedio el arsénico (As) total; 98,70 % de cadmio (Cd) total;

96,66 % de cobre total (Cu); 98,02 % de hierro (Fe) disuelto, 96,88 % de plomo (Pb) total y 80,99 % de zinc total (Zn); siendo estos valores superiores a los obtenidos por el *Festuca dolichophylla* (lchu). Se concluye que *Scirpus californicus* tiene mejor desempeño en la absorción de metales.

En el estudio de Alvarez y Espinoza (2022), titulado “Eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial (HFS) con *Schoenoplectus californicus* (totora), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (DAM) en la bocamina poderosa – Huachocolpa, 2021”. Se obtuvo los porcentajes de remoción de Cu, Pb, Zn, y pH de 57,73%, 53,93%, 57,12% y 8,40%, respectivamente. Se concluye, que los humedales de flujo superficial son adecuados para tratar aguas ácidas de minas, logrando remover metales pesados y cumplir con el DS N°010-210-MINAM).

De acuerdo a Miranda (2019), en el estudio “Evaluación de la capacidad fitorremediadora *Schoenoplectus californicus* (Totora) para remoción de arsénico y Boro mediante humedales de flujo horizontal in vitro”, resulta que, parámetros como el pH se mantuvo entre 8 a 9,5; la conductividad fue de 300 hasta 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Además, *Schoenoplectus californicus*, es fitoestabilizadora, por As acumulando en la raíz y fitoextractora; ya que, concentra boro en el tallo. El porcentaje de remoción obtenido de As fue de 64 % y B de 61 %. Se concluye que la actuación de *Schoenoplectus californicus* dentro de un humedal de flujo horizontal; es una oportunidad técnica viable para eliminar boro y arsénico.

Quintana (2019), en su estudio “Actividad fitorremediadora de la totora (*Schoenoplectus californicus*) en agua contaminada por arsénico en los pozos del caserío Tranca Fanupe”, evaluando tres tratamientos con 27, 37 y 47 plantas en solo contacto directo con el agua. Se obtuvo que a los 20 días de aplicación el porcentaje de remoción de As fue 95 %, 85 % y 80 %; respectivamente según el número de plantas. Se concluye que la totora (*Schoenoplectus californicus*) si es eficiente como planta fitorremediadora de aguas contaminadas con carga de As.

## **3.2 Bases teóricas**

### **3.2.1 Aguas residuales**

Las aguas residuales se generan con las actividades humanas; bajo fines domésticos, necesidades fisiológicas y uso industrial. Su calidad empeora por el uso de sustancias químicas tóxicas. Pueden denominarse; aguas grises, resultado de la limpieza o la cocina; y aguas negras, por la mezcla de agua usada más materia fecal (Auccatinco, 2021).

#### **3.2.1.1 Clasificación de las aguas residuales**

Las aguas residuales se clasifican, en (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2014):

#### **a) Aguas residuales domésticas**

Reciben el nombre de “aguas servidas”, son producidas diariamente. Se recolectan por el desagüe o son vertidas directamente al ambiente. No está calificado para ser consumido por el hombre, por los altos índices de contaminantes, como: sólidos suspendidos totales (SST), compuestos orgánicos e inorgánicos, nutrientes, metales pesados (Osorio et al., 2021).

#### **b) Aguas residuales municipales**

Es la combinación de agua residual doméstica más agua de lluvia o agua residual industrial tratada.

#### **c) Aguas residuales industriales**

Son aguas residuales que resultan de la cadena productiva del sector minero, manufactura, alimentos, etc.

#### **3.2.1.2 Componentes del agua residual doméstica**

Los componentes de este tipo de agua residual son 99,9 % de agua y 0,1 % de sólidos. Esta última cantidad, es la que va a ser tratada por una PTAR, está conformado de 70 % de material orgánico y 30 % de material inorgánico (sales, arena, metales). Otros factores que varían la composición, son las características económicas, socioculturales de la población; el uso del suelo y clima. (Ugaz, 2018).

La naturaleza de los componentes son física, química y biológica (Rubio y Montenegro, 2018). Siendo, los sólidos suspendidos, organismos patógenos y materia orgánica los más importantes, su remoción es considerada al momento de diseñar PTAR domésticas.

### 3.2.1.3 Componentes del agua residual doméstica

Para la eficiencia de un proceso de tratamiento de agua residual, son importantes los indicadores de la Tabla 2 (Delgadillo et al., 2010).

**Tabla 2**

*Parámetros indicadores del tratamiento de agua residual*

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>
Sólidos suspendidos totales	Estos pueden generar lodos y crear ambientes anaerobios, cuando directamente el agua no tratada se evacua a un cuerpo de agua.
Materia orgánica	Se mide mediante el nivel de DQO y DBO. En cuerpos de agua con elevada carga orgánica, se genera condiciones sépticas y se consume las reservas de oxígeno.
Patógenos	Estos pueden generar vectores de enfermedades
Sustancias tóxicas	Conformado por compuestos: carcinógenos, teratogénicos, metanogénicos o aquellos con elevada toxicidad.
Materia orgánica refractaria	Compuesta por pesticidas agrícolas, detergentes, fenoles de difícil remoción.

Metales pesados	Son resistentes al ambiente por su elevado nivel de acumulación y toxicidad.
Sólidos inorgánicos disueltos	Conformados por sulfato, calcio y sodio, deben ser retirados para reutilizar el agua tratada, por tener el potencial de degradar el suelo.

---

### 3.2.2 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es un proceso continuo con el objetivo de descontaminarla, con la eliminación de contaminantes físicos, químicos y biológicos (Cely et al., 2022). El Ministerio del Ambiente (MINAM) (2009), menciona la importancia de tratar las aguas residuales para proteger la salud humana y el medio ambiente. Analizar el costo-eficiencia es una estrategia ecoeficiente velando por la economía de la comunidad y brindar un servicio sostenible.

Según Cely et al. (2022) las etapas para el tratamiento de aguas residuales, son:

#### a) Tratamiento primario

Hace uso de métodos físicos, con los que se elimina sólidos grandes que podrían generar fallas en las siguientes etapas. (Morocco y Paye, 2022) y se remueve la gran parte de sustancias que no están disueltas, incluye a los aceites y grasas. Se logra disminuir el 25 % de carga orgánica y 40 % de DBO.

## **b) Tratamiento secundario**

Se basa en la disminución de materia orgánica por medio de procesos biológicos aerobios y anaerobios. En el proceso aerobio como fuente de oxígeno se da la agitación o burbujeo, y en el proceso anaerobio, no. El efluente tratado pasa a decantadores donde por sedimentación se separa el agua de los lodos. Frecuentemente, se usa lodos activados, lagunas de estabilización y filtros percolares (Cely et al., 2022; Torres y Briceño, 2016).

## **c) Tratamiento terciario o avanzado**

Se hace uso de procesos químicos y/o físicos particulares, para eliminar contaminantes específicos, como: nitrógeno, fosforo, metales pesados, minerales, etc. Este tratamiento es usado en casos particulares y es el de más costo. (Torres y Briceño, 2016).

### **3.2.3 Fitorremediación**

La fitorremediación consiste en la sinergia de microorganismos y plantas para que por medio de diversas estrategias, se de la descontaminación de suelos o tratamiento de aguas residuales. Se considera una opción de tratamiento de bajo costo y efectivo. Su uso tiene un costo anual está entre 0,02 a 1,00 dólares por metro cúbico (Mendarte et al., 2021).

### **3.2.3.1 Estrategias de fitorremediación**

#### **a) Fitodegradación**

La fitotransformación reside en la degradación de contaminantes orgánicos complejos en más simples. Algunas veces, las plantas aceleran su crecimiento por el uso de estos productos simples; en otros escenarios, se da la biotransformación de los contaminantes (López et al., 2005).

#### **b) Fitoestimulación**

Las plantas brindan los requerimientos de oxígeno, nutrientes, enzimas de la zona aérea hacia las raíces, permitiendo la vida de colonias de microorganismos, (bacterias y hongos), con la facultad de degradar los contaminantes (Núñez et al., 2004)

#### **c) Fitovolatilización**

Consiste en la volatilización de contaminantes una vez que fueron asimilados por la planta (Mendarte et al., 2021).

#### **d) Fitoacumulación o Fitoextracción**

Consiste en la acumulación de contaminantes en la extensión área de la planta, tras haber sido absorbidos del suelo (Asto y Ávila, 2023).

La eficiencia de la Fitoextracción se mide por el factor de bioacumulación, que da la relación entre las concentraciones del contaminantes en la planta y en el

ambiente contaminado; y el factor de translocación que da la relación entre las concentraciones de la extensión área de la planta y la zona radicular (Valles, 2013).

#### **e) Fitoestabilización**

En las raíces de la planta se encuentran sustancias que inmovilizan los contaminantes del agua o suelo por métodos de acumulación, precipitación y adsorción. Así, disminuye el transporte de contaminantes y su destino al aire o aguas subterráneas (Velásquez, 2017)

#### **f) Rizofiltración**

Se da por la absorción de contaminantes mediante las raíces de plantas hidropónicas. Estas, crean una barrera que evita la lixiviación de los contaminantes y/o el paso a cuerpo de agua (Mendarte et al., 2021).

### **3.2.3.2 Tratamiento con plantas acuáticas flotantes**

Según Núñez et al., (2004), existen 4 sistemas de fitorremediación:

#### **a) Tratamiento con plantas flotantes**

Por medio de plantas flotantes que permanecen en tanques naturales o semiconstruidos se da el tratamiento de agua residual municipal o industrial. Su costo de inversión es menor y de sencilla operación.

#### **b) Humedales artificiales**

Se hace uso de plantas emergentes sostenidas en arena o grava (sustrato); aparentando un humedal natural.

#### **c) Sistema de integral**

Combinación de una húmeda artificial y tratamiento con plantas flotantes.

#### **d) Sistema de filtración con rizosfera**

Puede remover metales pesados, fenoles, fosforo, fluoruros, virus, etc. de efluentes agrícolas, municipales e industriales.

### **3.2.3.3 Clases de plantas acuáticas**

Según Núñez et al., (2004), clasifica en 3 tipos

#### **a) Emergentes**

Son plantas con la rizosfera enterrada y la zona aérea sale por la superficie del agua, como: platanillo (*Sagitaria latifolia*), totora (*Schoenoplectus californicus*, *Typha angustifolia*), tule (*Typha dominguensis*), carrizo (*Phragmites communis*) (Rivas, 2022).

#### **b) Flotantes**

Estas se dividen en plantas no fijas o de libre flotación y fijas de hoja flotante. Las plantas de libre flotación desarrollan sus raíces sin ningún sustrato;

sus hojas y tallos flotan en el agua. Por ejemplo: la lenteja de agua (*Lemna* spp y *Salvinia minima*) y el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

Las plantas fijas tienen las raíces dentro del sustrato, pero las hojas están flotando. Por ejemplo: ninfas blancas (*Nymphaea elegans* y *Nymphoides fallax*).

### **c) Sumergidas**

Están totalmente sumergidas o debajo de superficie de agua, como: maleza (*Hydrilla verticillata*), bejuquillo (*Ceratophyllum demersum*) y pastos.

#### **3.2.4 Totorá (*Typha angustifolia* L.)**

La totora es una helófito de climas templados, tolera rangos de pH de 4 a 9. Se desarrolla con una temperatura adecuada entre los 16 °C a 27 °C. Los rizomas tienen forma de tallos que se desarrollan en paralelo al suelo. Los tallos verde – amarillentos pueden alcanzar de 1 a 4 metros, poseen aerénquimas (Delgadillo et al., 2010). Además, son de rápida dispersión, crecimiento y adaptabilidad. Su reproducción es sencilla y es por medio de la división de sus rizomas (en matas). Se le puede denominar como planta invasora porque es considerada invasiva de espacios donde se desea preservar otras especies (Morocco y Paye, 2022).

### 3.2.4.1 Taxonomía de la Totora

De acuerdo a Linnaeus, C. (1753), en la Tabla 3 se presenta la taxonomía de la totora

**Tabla 3**

*Clasificación taxonómica de la Totora (Typha angustifolia L.)*

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>Sub reino</b>	tracheobionta
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>orden</b>	Poales
<b>Familia</b>	Typhaceae
<b>Género</b>	<i>Typha</i>
<b>especie</b>	<i>Typha angustifolia L.</i>
<b>Nombre común</b>	Totora

### 3.2.4.2 Diversificación de Totora

Por factores externos se puede encontrar variedad de especies de Totora. Según el relleno del tallo, pueden ser fibroso, poroso o seccionado; de acuerdo a su forma, triangular o cilíndrica (Miranda, 2019). También, son usadas para alimento de ganado, construcción de balsas, canastas o artesanías (Miranda, 2019). Las denominaciones de *Typha angustifolia* son *Scirpus californicus*, *Schoenoplectus californicus* (Miranda, 2019).

### **3.2.4.3 Características morfológicas de la Totorá**

La Totorá es de tipo herbácea, poseen una fina y delgada capa de epidermis que contribuye a reducir oposición del movimiento de agua, nutrientes, gases y tejidos. El proceso metabólico es a nivel aéreo. (Aza, 2016).

#### **a) Raíz**

La Totorá tiene raíces adventicias originadas de un rizoma maduro que está conformado por raíces secundarias. Las raíces crecen paralelas al suelo de forma horizontal, dan soporte a la planta, tienen un diámetro alrededor de 1 mm, variando de grosor según la edad de la Totorá o el tipo de sustrato.

#### **b) Rizoma**

Se desarrolla de forma paralela al suelo, seguido de la raíz, viniendo a ser un tallo modificado. Los rizomas acumulan reservas lo que les permite soportar los tiempos de sequía. Durante tiempo de humedad rebrotan nuevas yemas para generar nuevos tallos (Pastuña, 2015).

#### **c) Tallos**

Su tallo es de forma triangular, liviana, lisa y erguida. No tiene ramificaciones. Internamente, es esponjoso y un cilindro cortical con parénquima lleno de aire. El color verde es por su riqueza en parénquima clorofiliano (Aza, 2016).

#### **d) Hojas**

Se forman en el inicio de los tallos y con forma de vaina rodean su base.

#### **e) Inflorescencia**

La Totorá posee flores conformada por una envoltura floral, son hermafroditas y tienen espiguillas ovaladas y agrupadas, de 3 mm de color rojizo oscuro con escamas.

#### **3.2.4.4 Importancia de la Totorá**

La Totorá es de gran valor e importancia por su desempeño dentro de humedales naturales y/o artificiales. Sus raíces ayudan a remover la materia orgánica del agua contaminada (Quintana, 2019).

Morocco y Paye (2022), mencionan que, en general las helofitas como la Totorá, al adaptarse en ambientes inundados o con humedad, soportan la ausencia o mínima presencia de oxígeno en el suelo.

#### **3.2.4.5 La Totorá en el tratamiento de aguas residuales**

La Totorá es considerada un fitorremediador (Pinheiro, 2017). Puede remover más del 60 % de DBO, color, fosfatos, coliformes y nitrógeno amoniacal (Abrantes, 2009).

#### **3.2.4.6 Estrategias de fitorremediación usada por la Totorá**

*Typha angustifolia* y las especies de *Typha sp.*, son de rápido crecimiento y con biomasa abundante. Además, por ser rizotomatozas y con alta biomasa individual tiene gran capacidad de acumular nutrientes. Esta es la causa por la que las especies de totora son ampliamente estudiadas en distintos escenarios para el tratamiento de aguas residuales (Samudio, et al., 2021).

##### **a) Fitoacumulación o Fitoextracción**

La planta concentra los contaminantes que asimilan desde las raíces, en el tallo y hojas. Cuando el contaminantes se extrae la planta debe ser incinerada y las cenizas dispuestas con seguridad a un vertedero (Miranda, 2019). A las plantas utilizadas podría aplicarse métodos como la incineración, carbonización o combustión para la obtención de energía aprovechable o disposición final (Goincochea y García, 2023).

##### **b) Fitoestabilización**

La totora reduce los metales entre otros del ambiente, absorbiendo y acumulándolos en sus raíces (Miranda, 2019).

#### **3.2.4.7 Disposición final de la Totorá**

La planta que ha absorbido las tasas de contaminantes, pasa a ser incinerada de forma controlada, comúnmente. Se obtiene cenizas que deben ser desechadas en rellenos sanitarios para tal fin. (López, et al, 2019).

### **3.3 Base conceptual**

#### **3.3.1 Aguas residuales**

Las aguas residuales son aquellas al ser usadas, se cargan de contaminantes, cuyas condiciones representa su alteración negativa. (Diaz et al., 2012)

#### **3.3.2 Tratamiento de aguas residuales**

Consiste en la agrupación de procesos para evitar la propagación de contaminación a otras extensiones de agua. (Coordinación General de-Mitigación del Cambio Climático e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018).

#### **3.3.3 Fitorremediación**

Técnica sencilla y de bajo costo. Por medio de las plantas disminuyen *exsitu* e *insitu* los contaminantes por intermedio de procesos químicos y biológicos dados entre la planta y sus microorganismos asociados (Quintana, 2019).

#### **3.3.4 Totorá (*Typha angustifolia* L.)**

Es una macrófita herbácea perenne, se desarrolla en zonas inundadas y pantanos. Su tallo presenta una porción recta de donde se desprende las hojas y la porción de rizoma bajo tierra (Abrantes, 2009).

### **3.3.5 Metales pesados**

Son metales cuyo número atómico es superior a 20 (sin incluir a los metales alcalinos y alcalinos féreos) o de densidad igual o mayor a  $5\text{g/cm}^3$  (Tirado, et al, 2015). De acuerdo a su nivel de concentración en el medio pueden generar toxicidad en el ser humano (Metales tóxicos en alimentos, 2017).

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

##### **4.1.1 Tipo de investigación**

La investigación fue de tipo cuantitativo porque comprueba una hipótesis

##### **4.1.2 Nivel de investigación**

El nivel de la investigación es de tipo aplicativo, ya que por medio de la teoría, revisión bibliográfica y experiencias conocidas; se busca solucionar problemas planteados.

##### **4.1.3 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es de tipo factorial con dos factores (Tabla 4), el primer factor correspondió a la planta Totora (*Typha angustifolia L.*) y el segundo factor el tiempo de retención (Torres, 2021). El factor Totora presenta dos niveles: ausencia y presencia (Hernández, et al., 2014). El afluyente fue el grupo control, permitiendo evaluar la eficiencia de los tratamientos (Casas y Veitía, 2008). El factor tiempo de retención fue de tres niveles: 0, 4 y 7 días (Bautista, 2021; Marquez y Velasquez, 2017).

Los parámetros fisicoquímicos son analizados antes, durante y al culminar el tratamiento, es así como se logró conocer el nivel de remoción de contaminantes (Coaquira, 2018).

**Tabla 4**

*Tratamiento y repeticiones para el desarrollo de la investigación (análisis de agua)*

Titora (unidades)	Tiempo (días)	R1	R2
Sin Titora (ST)	4	R <sub>1</sub>	R <sub>5</sub>
	7	R <sub>2</sub>	R <sub>6</sub>
Con Titora (CT)	4	R <sub>3</sub>	R <sub>7</sub>
	7	R <sub>4</sub>	R <sub>8</sub>

#### **4.2 Lugar de estudio**

La investigación fue realizada en la ciudad de Tacna, provincia de Tacna, departamento de Tacna, Perú.

### **4.3 Población y muestra de estudio**

#### **4.3.1 Población**

La población estuvo conformada por las aguas residuales de la Planta de Tratamiento (PTAR) de Magollo, ubicado en Tacna. Fue escogida por su accesibilidad y de acuerdo al MVCS (2022) los agricultores son el grupo expuesto, ya que, usan los efluentes de la PTAR Magollo para el riego de cultivos con alta carga de DBO, DQO, coliformes termotolerantes y sólidos suspendidos que no cumplen con las normas de referencia del ECA Agua, categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales (D.S. N° 004-2017-MINAM). En este sentido se debe garantizar el correcto reúso de aguas residuales para no contaminar aguas subterráneas por infiltración y la salud de agricultores por contacto directo

#### **4.3.2 Muestra**

El muestreo fue no probabilístico; tomando por conveniencia muestras de agua residual de la PTAR Magollo - Tacna (Figura 1), luego de la primera laguna de estabilización para disminuir la elevada carga de sólidos (Torres, 2021). Se extrajo 400 L en total de agua residual para la etapa de adaptación de las plantas y tratamiento de agua residual.

## Figura 1

*Punto de muestreo en la PTAR Magollo*



### 4.4 Método

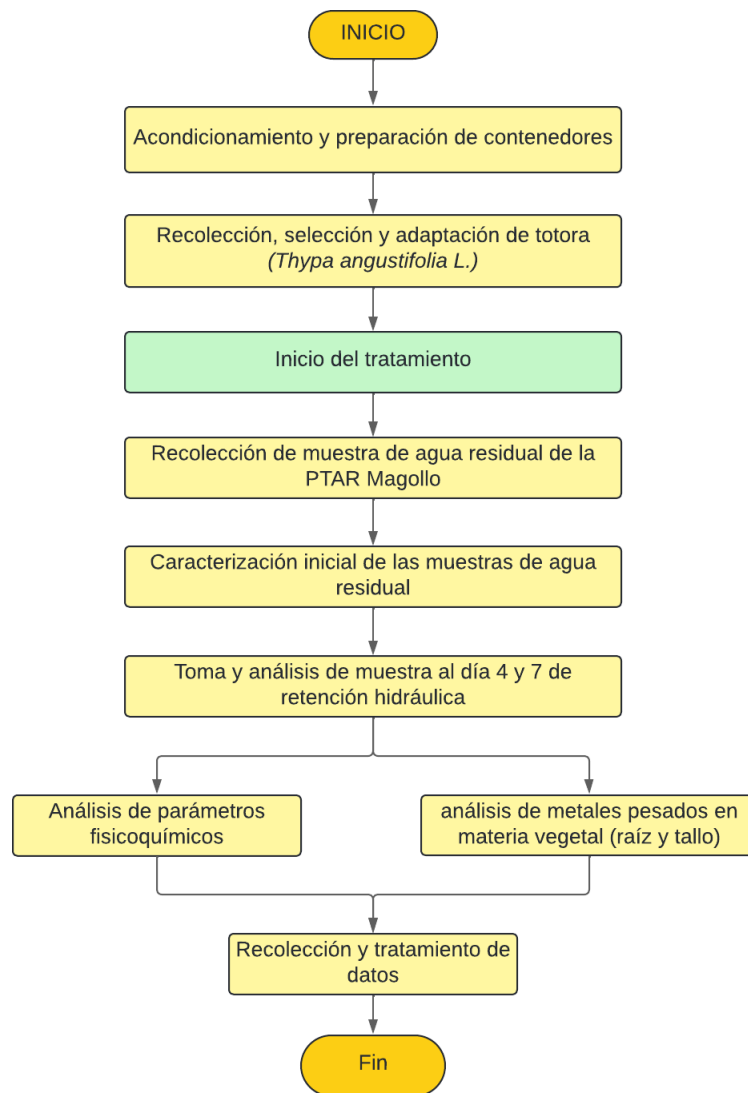
La investigación sigue los procedimientos descritos a continuación:

#### 4.4.1 Procedimiento experimental

Para la realización del estudio se considera las etapas observadas en la Figura 2. En el ANEXO 4 se observa el panel fotográfico de las actividades realizadas como parte de la investigación

**Figura 2**

*Flujograma del desarrollo de la investigación por etapas*



Así, para el estudio se realizó:

#### 4.4.1.1 Acondicionamiento de contenedores

Se usó 6 recipientes de 86 cm de largo, 52 cm de ancho y 40 cm de alto, volumen efectivo de 40 L. Se hizo la instalación de una red de tubos (Figura 3), para el paso de agua; conectadas a un caño en la salida de los contenedores para la toma de muestras (Figura 4).

Se instaló grava de 1,5 a 2 cm previamente lavada y secada, hasta los 25 cm de altura (Miranda, 2019). Se distribuyó la Totora a 5cm debajo de la superficie de grava; cuidadosamente 12 plantas por m<sup>2</sup> (Romero et al., 2009, Seguel, 2019).

**Figura 3**

*Disposición de tubos en contenedores*



**Figura 4**

*Caño a la salida de los contenedores*

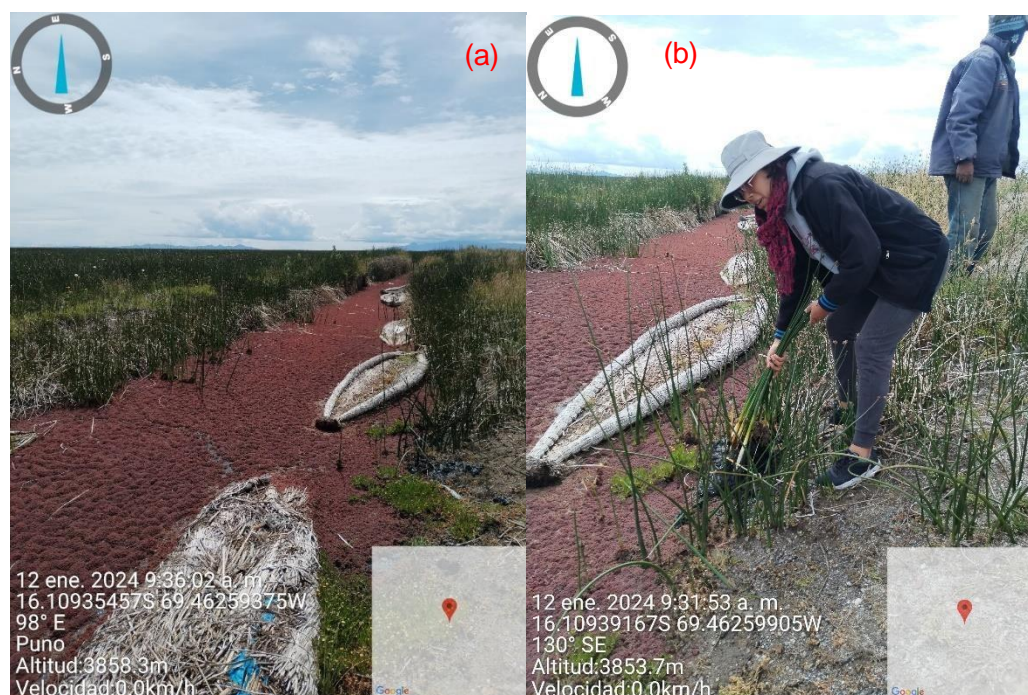


#### 4.4.1.2 Recolección, selección y adaptación de *Typha angustifolia*

Se seleccionó a *Typha angustifolia* L. por su rápida adaptación; buen desempeño, soporta temperaturas de 10 °C a 35 °C y pH de 4 a 10 (Romero y Espinoza, 2014). Las plantas fueron traídas de la ciudad de Puno, las coordenadas fueron 16. 10939167S y 69.46259905W (Figura 5). Se seleccionó aquellas con una altura no mayor a 0,5 m para un mejor manejo y extracción (Marquez y Velasquez, 2017).

**Figura 5**

Área de toma de muestra



*Nota.* (a) Vista del área de toma de muestra, (b) extracción de plantas

Las plantas se transportaron en contenedores con agua (Figura 6), estuvieron bajo un ambiente sin luz solar para evitar estrés. (Miranda, 2019). La cantidad de plantones recolectados fue mayor a 18.

### Figura 6

Recolección y transporte de *Typha angustifolia* L.



Nota. (a) plantas extraídas, (b) plantas con raíces lavadas para el transporte

Se seleccionó 18 plantones que cumplieran con condiciones de óptima pigmentación del tallo, sin presencia de anomalías en la zona radicular y tallo, buen espesor radicular y enraizamiento (Miranda, 2019).

El tiempo de adaptación fue de 48 días (mes y medio), fueron regadas con agua residual. Cubas y Mireles (2019), mencionan que, un periodo de 1 a 3 meses es suficiente para permitir la aclimatación, distribución de las raíces en el sustrato y observar el comportamiento de la planta. El tiempo es variable. En el estudio de Miranda (2019) el tiempo de adaptación fue 2 semanas para que las raíces puedan

establecerse en la grava o sustrato. En la Figura 7 se muestra la disposición final de los tratamientos luego de 48 días.

### Figura 7

*Disposición final de contenedores y *Typha angustifolia* después de 48 días de adaptación*



#### 4.4.1.3 Recolección y toma de muestras de aguas residuales

La recolección de muestra fue de acuerdo al Protocolo de monitoreo de la calidad de efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (R.M. N° 273-2013-VIVIENDA, 2013).

Fueron 3 puntos de muestreo, el afluente, la salida del T1 (sin totora) y la salida del T2 (con totora). Los contenedores T1 y T2 fueron elegidos por su mejor adaptación y condiciones, para continuar con el tratamiento (Cejas, 2021). Se recolectó 400 litros aproximadamente de agua residual de la PTAR Magollo a lo

largo de la ejecución de la investigación (Figura 8).

Para la etapa de ejecución se utilizó 240 litros, aproximadamente, de agua residual, suficiente para el volumen útil dentro de los contenedores, y que el agua residual no sobrepase la superficie del sustrato.

### Figura 8

*Recolección de agua residual de la PTAR Magollo*



#### 4.4.1.4 Toma y análisis de muestras

Las muestras fueron tomadas luego del tiempo de retención hidráulica de 4 y 7 días para ser analizadas. Delgadillo et al. (2010) indica que para el tratamiento de aguas por humedales de flujo subsuperficial el tiempo de retención puede ser entre 4 a 15 días, siendo adecuado hasta el día 7. De acuerdo a Muñoz y Vásquez, (2020) la retención debe ser de 2 a 10.

El volumen de muestra tomado para analizar los parámetros fisicoquímicos del agua residual y material vegetal, fue de acuerdo a lo establecido por el laboratorio ALAB E.I.R.L., detallado en la Tabla 5

**Tabla 5**

*Parámetros y requerimientos para la toma de muestras*

Parámetro	Tipo de envase	Cantidad/ volumen	Preservación	Tiempo de almacenamiento
DBO <sub>5</sub>	Plástico	1L	Llenar completamente sin dejar burbujas	48 horas
DQO	Plástico	100 mL	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (10 gotas), ≤ 6°C	28 días
Aceites y grasas	Vidrio ámbar	1L	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (20 gotas), ≤ 6°C	28 días
Metales totales	Plástico	250 mL	HNO <sub>3</sub> (10 gotas), ≤ 6°C	30 días

Coliformes fecales (NMP/ 100ml)	Plástico estéril	250 mL	No llenar completamente (dejar 2,5 cm de espacio)	24 horas
---------------------------------------	---------------------	--------	---	----------

*Nota.* Datos brindados por el laboratorio ALAB E.I.R.L

- **Parámetro analizado y metodología usada**

En la Tabla 6 se muestra las normas de referencia cuya metodología es usada para analizar cada parámetro.

**Tabla 6**

*Norma de referencia usada para analizar cada parámetro*

<b>Parámetro</b>	<b>Norma de referencia</b>
DBO <sub>5</sub>	SMEWW-AGUA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 <sup>th</sup> Ed. 2023
DQO	SMEWW-AGUA-AWWA-WEF Part 5520 D , 24 <sup>th</sup> Ed. 2023
Aceites y grasas	SMEWW-AGUA-AWWA-WEF Part 5520 B, 24 <sup>th</sup> Ed. 2023
Metales totales	EPA Method 200.7 Rev. 4.4. 1994 (VALIDADO – APLICADO fuera del alcance: Bi, U.S). 2021
Coliformes fecales	SMEWW-AGUA-AWWA-WEF Part 9221 F. 2, 24 <sup>th</sup> Ed. 2023

*Nota.* Datos brindados por el laboratorio ALAB E.I.R.L

- **Análisis de parámetros fisicoquímicos y metales totales en agua residual**

Se hizo el monitoreo de pH y temperatura del agua mediante el uso de un multiparámetro digital portátil (Figura 9).

**Figura 9**

*Multiparámetro digital portátil*



Se tomaron muestras para analizar el nivel de aceites y grasas, DBO, DQO, coliformes termotolerantes, y metales, luego del tiempo de retención de 4 y 7 días (Cejas, 2021). Los parámetros se seleccionaron como indicadores de acuerdo al Decreto supremo N. ° 003-2010- MINAM que aprueba los LMP para efluentes de PTAR de agua doméstica o municipal. En el ANEXO 2 y 3 se encuentran los datos brindados por el laboratorio ALAB.

#### - **Análisis de metales en materia vegetal**

Al inicio y al final del estudio se evaluó los metales pesados en *Typha angustifolia* (Galván, 2016) de forma puntual (Miranda, 2019).

#### **4.4.1.5 Recolección y Tratamiento de datos**

Las muestras de materia vegetal fueron enviadas al laboratorio ALAB E.I.R.L. Los resultados de: pH, temperatura, aceites y grasas, DBO, DQO, coliformes termotolerantes y metales, fueron comparados con el afluente y se observó su cumplimiento con normas peruanas de calidad: D.S. 003-2010-MINAM y DS 004-2017-MINAM (categoría 3, sub categoría D1: riego de vegetales). Ya que los efluentes de la PTAR están destinados para el reúso de riego de cultivos perennes (*Opuntia sp.* “Tuna” para cochinilla, *Caesalpinia spinosa* “Tara”, *Olea europea* “Olivo” y *Zea mays* “maíz chala”), riego de cultivos temporales (*Sorghum vulgare* “sorgo forrajero”) realizado solo en la época más fría con bajos requerimientos de agua y riego de áreas verdes del Bosque Municipal (Resolución Directoral N° 0105-2022-VIVIENDA/VMCS-DGAA, 2022).

#### **4.5 Materiales y equipos**

##### **4.5.1 Materiales**

- Recipientes de plástico
- 6 caños
- Tubos de 1/2”

- Tubos tipo T ½"
- Grava
- Cinta teflón para tubos
- Taladro y Broca
- Cierra
- Wincha
- Plantas de Totora (*Typha angustifolia* L.)
- Bidones de 20L
- Balde de 20L
- Cooler
- Hielo
- Frascos de distintas capacidades para muestras
- Preservantes químicos
- Cadena de custodia
- Plumón indeleble

#### **4.5.2 Indumentaria de protección**

- Gorro quirúrgico desechable
- Bata desechable
- Guantes de látex
- Mascarilla

### **4.5.3 Equipos**

- pH metro portátil con registro de temperatura
- Equipos de laboratorio
- Impresora
- Laptop

### **4.6 Análisis estadístico**

Los datos registrados fueron analizados estadísticamente con el análisis de varianza (ANOVA); además, se aplicó la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) (Bautista, 2021; Márquez y Velásquez, 2017). Se utilizó el programa Statgraphics Centurion XIII. También, se calculó el coeficiente de variación (CV) para establecer la dispersión de datos de acuerdo a las medias. El ANOVA permitió realizar una comparación entre las medias de los diversos grupos analizados y así reconocer el factor diferenciador dentro del proceso para que su efecto sea interpretado sobre la variable dependiente.

**CAPÍTULO V**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**5.1 Resultados**

**5.1.1 Análisis de las características fisicoquímicas iniciales de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo**

En la Tabla 7 se muestra los resultados de la caracterización inicial del afluente de la PTAR Magollo. Se observa que los parámetros aceites y grasas, DBO<sub>5</sub>, DQO y coliformes termotolerantes, no cumplen con los LMP para efluentes de PTAR y los ECA Agua (categoría 3) para agua de riesgo. El pH y temperatura se encuentra dentro del rango normado.

**Tabla 7**

*Resultados del análisis inicial de las muestras de la PTAR Magollo*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>LMP</b>	<b>ECA Agua Categoría 3</b>
DBO <sub>5</sub>	mg/L	230,05	100	15
DQO	mg/L	400,00	200	40
Aceites y grasas	mg/L	28,00	20	5
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100mL	95 000 000,00	10 000	1 000
pH	unidad	6,80	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	°C	34,10	<35	-

En la Tabla 8 se observa el nivel de metales pesados inicial del agua residual. Todos, se encuentran dentro del nivel permitido por los ECA Agua (categoría 3).

**Tabla 8**

*Resultado de los niveles de metales pesados del agua residual de la PTAR*

*Magollo*

<b>Metales pesados</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>	<b>ECA Agua Categoría 3</b>
Arsénico	mg/L	<0,008	0,1
Cadmio	mg/L	<0,0004	0,01
Cobre	mg/L	0,0298	0,2
Cromo	mg/L	<0,0008	0,1
Mercurio	mg/L	<0,0002	0,001
Níquel	mg/L	<0,0010	0,2
Plomo	mg/L	<0,006	0,05
Zinc	mg/L	0,0568	2

**5.1.2 Evaluación del efecto de la Titora (*Typha angustifolia L.*) en la remoción de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo**

A continuación, se desarrolla el análisis de los parámetros de forma individual, mediante el análisis de varianza (ANOVA) y comparación de prueba de rango múltiple de Tukey (nivel de confianza del 95%).

**- pH**

La Tabla 9 da a conocer el análisis de varianza del parámetro pH por la aplicación de titora y por el tiempo. Indica que por la variable Titora existe diferencia significativa en los resultados, con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad (CV) de 4,7 %.

**Tabla 9**  
*Análisis de varianza del pH en el afluyente tratado*

<b>Fuente</b>	<b>sc</b>	<b>gl</b>	<b>cm</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-p</b>
A: Titora	0,4608	1	0.4608	17,96	0,0133
B: Tiempo	0,1682	1	0,1682	6,56	0,0626
AB	0,0162	1	0,0162	0,63	0,4713
Residuos	0,1026	4	0,02565		
Total (corregido)	0,7478	7			

CV = 4,7 %

Debido a que existe diferencia significativa entre los grupos del factor totora. En la Tabla 10 se observa la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) que compara el nivel promedio de pH según la ausencia o presencia de totora (ST y CT). Se determina que en el tratamiento con totora (CT) el pH promedio fue de 6,705, siendo significativamente diferente y menor que el tratamiento sin Totora (ST) con un pH promedio de 7,055.

**Tabla 10**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de pH para el factor Totora*

<b>Totora</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Significancia</b>
CT	4	6,705	a
ST	4	7,185	b

- **Temperatura**

La Tabla 11 da a conocer el análisis de varianza del parámetro temperatura (°C) por la aplicación de totora y por el tiempo. Indica que por el variable tiempo existe diferencia significativa en los resultados, con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variabilidad (CV) de 3,36 %.

**Tabla 11**

*Análisis de varianza de la temperatura en el afluente tratado*

<b>Fuente</b>	<b>sc</b>	<b>gl</b>	<b>cm</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Totora	0,605	1	0,605	1,85	0,2457
B: Tiempo	4,805	1	4,805	14,67	0,0186
AB	0,72	1	0,72	2,20	0,2123
Residuos	1,31	4	0,3275		
Total (corregido)	7,44	7			

CV = 3,36 %

Debido a que existe diferencia significativa entre los grupos del factor tiempo. En la Tabla 12 se observa la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) que compara el nivel promedio de temperatura (°C) según los días de retención hidráulica (4 y 7). Se determina que en el día 7, la temperatura promedio fue 29,88 °C, siendo significativamente diferente y menor que el día 4, con promedio de 31,4 °C.

**Tabla 12**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la temperatura para el factor tiempo*

Tiempo	N	Media (°C)	Significancia
7	4	29,875	a
4	4	31,425	b

- **Aceites y grasas**

En la Tabla 13 se observa que el nivel de aceites y grasas (mg/L), se reduce independientemente al factor totora, desde el día 4 en todos los grupos experimentales. Los resultados de laboratorio determinaron valores menores a 5mg/L (Anexo 2 y 3), lo cual no es exacto, no siendo posible el análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Tukey.

**Tabla 13**

*Análisis de varianza del nivel de aceites y grasas (mg/L) en el afluente tratado*

Totora (unidades)	Tiempo (días)	Promedio (mg/L)
Afluente	0	28,00
Sin Totora (ST)	4	<5
	7	<5
Con Totora (CT)	4	<5
	7	<5

-

- **Coliformes termotolerantes**

La Tabla 14 da a conocer el análisis de varianza de los coliformes termotolerantes (NMP/100 ml). Se indica que el factor totora y el tiempo tienen efecto en la diferencia significativa de los resultados, con un nivel de confianza del 95 %.

**Tabla 14**

*Análisis de varianza de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) en el afluente tratado*

<b>Fuente</b>	<b>sc</b>	<b>gl</b>	<b>cm</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Totora	4,3E+11	1	4,3E+11	2 340,52	0,0000
B: Tiempo	2,1E+11	1	2,1E+11	1 123,07	0,0000
AB	1,6E+11	1	1,6E+11	845,24	0,0000
Residuos	7,4E+8	4	1,9E+8		
Total (corregido)	8E+11	7			

Debido a que existe diferencia significativa entre los grupos del factor Totora. En la Tabla 15 se observa la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) que compara el nivel promedio de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) según la ausencia o presencia de totora (ST y CT). Se determina que en el tratamiento con totora (CT) el nivel de coliformes termotolerantes promedio fue  $2,9 \times 10^5$  NMP/100ml, siendo significativamente diferente y menor que el tratamiento sin totora (ST) con promedio de  $4,9 \times 10^5$  NMP/100 ml.

**Tabla 15**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de coliformes termotolerantes (NMP / 100 ml) para el factor Titora*

<b>Titora</b>	<b>Casos</b>	<b>Media (NMP/100 ml)</b>	<b>Significancia</b>
CT	4	$2,9 \times 10^4$	a
ST	4	$4,9 \times 10^5$	b

Por otro lado, existe diferencia significativa entre los grupos del factor Tiempo. En la Tabla 16 se observa la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) que compara el nivel promedio de coliformes termotolerantes (NMP/100 ml) según los días de retención hidráulica (4 y 7). Se determina que en el día 7 el promedio fue  $1 \times 10^5$  NMP/100 ml, siendo significativamente diferente y menor que el día 4 con promedio de  $4,2 \times 10^5$  NMP/100 ml.

**Tabla 16**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de coliformes termotolerantes (NMP/100ml) para el factor Tiempo*

<b>Tiempo</b>	<b>Casos</b>	<b>Media (NMP/100ml)</b>	<b>Significancia</b>
7	4	$1 \times 10^5$	a
4	4	$4,2 \times 10^5$	b

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La Tabla 17 da a conocer el análisis de varianza de la DBO<sub>5</sub> (mg/L). Se indica que el factor totora y el tiempo tienen efecto en la diferencia significativa de los resultados, con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variación de 44,6 %.

**Tabla 17**

*Análisis de varianza de la DBO<sub>5</sub> (mg/L) en el efluente tratado*

Fuente	sc	gl	cm	Valor F	Valor-P
A: Totora	9 758,05	1	9 758,05	154,56	0,0002
B: Tiempo	12 028,0	1	12 028,0	190,52	0,0002
AB	92,48	1	92,48	1,46	0,2928
Residuos	252,53	4	63,1325		
Total (corregido)	22 131,1	7			

CV = 44,6%

Debido a que existe diferencia significativa entre los grupos del factor Totora. En la Tabla 18 se observa la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) que compara el nivel promedio de DBO<sub>5</sub> (mg/L) según la ausencia o presencia de totora (ST y CT). Se determina que en el tratamiento con totora (CT) el nivel de DBO<sub>5</sub> promedio fue 91,125 mg/L, siendo significativamente diferente y menor que el tratamiento sin Totora (ST) con promedio de 160,975 mg/L.

**Tabla 18**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la DBO<sub>5</sub> (mg/L) para el factor Titora*

<b>Titora</b>	<b>Casos</b>	<b>Media (mg/L)</b>	<b>Grupos homogéneos</b>
CT	4	91,125	a
ST	4	160,975	b

Por otro lado, existe diferencia significativa entre los grupos del factor Tiempo. En la Tabla 19 se observa la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) que compara el nivel promedio de DBO<sub>5</sub> (mg/L) según los días de retención hidráulica (4 y 7). Se determina que en el día 7 el promedio fue 87,275 mg/L, siendo significativamente diferente y menor que el día 4 con promedio de 164,825 mg/L.

**Tabla 19**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la DBO<sub>5</sub> en el afluente tratado para el factor tiempo*

<b>Tiempo</b>	<b>Casos</b>	<b>Media (mg/L)</b>	<b>Significancia</b>
7	4	87,275	a
4	4	164,825	b

- **Demanda Química de oxígeno (DQO)**

La Tabla 20 da a conocer el análisis de varianza de la DQO (mg/L). Se indica que el factor totora y el tiempo tienen efecto en la diferencia significativa de los resultados, con un nivel de confianza del 95 % y un coeficiente de variación de 52,08 %.

**Tabla 20**

*Análisis de varianza de DQO (mg/L) en el efluente tratado*

<b>Fuente</b>	<b>sc</b>	<b>gl</b>	<b>cm</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor-P</b>
A: Totora	55 544,4	1	55 544,4	673,08	0,0000
B: Tiempo	22 833,8	1	22 833,8	276,70	0,0001
AB	2 138,58	1	2 138,58	25,92	0,0070
Residuos	330,09	4	82,5225		
Total (corregido)	80847,0	7			

CV = 52,08 %

Debido a que existe diferencia significativa entre los grupos del factor Totora. En la Tabla 21 se observa la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) que compara el nivel promedio de DBO5 (mg/L) según la ausencia o presencia de totora (ST y CT). Se determina que en el tratamiento con totora (CT) el nivel de DQO promedio fue 123,025 mg/L, siendo significativamente diferente y menor que el tratamiento sin Totora (ST) con promedio de 289,675 mg/L.

**Tabla 21**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la DQO (mg/L) en el efluente tratado para el factor Titora*

<b>Titora</b>	<b>Casos</b>	<b>Media (mg/L)</b>	<b>Significancia</b>
CT	4	123,025	a
ST	4	289,675	b

Por otro lado, existe diferencia significativa entre los grupos del factor Tiempo. En la Tabla 22 se observa la prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0.05$ ) que compara el nivel promedio de DQO (mg/L) según los días de retención hidráulica (4 y 7). Se determina que en el día 7 el promedio fue 152,925 mg/L, siendo significativamente diferente y menor que el día 4 con promedio de 259,775 mg/L.

**Tabla 22**

*Prueba de rango múltiple de Tukey ( $p < 0,05$ ) de la DQO en el afluente tratado para el factor Titora*

<b>Tiempo</b>	<b>Casos</b>	<b>Media (mg/L)</b>	<b>Significancia</b>
7	4	152,925	a
4	4	259,775	b

En la Tabla 23 se muestra los resultados del análisis de metales pesados en el afluente y efluentes. Los metales Cd, Cr, Hg, Ni y Pb se encuentran casi ausentes. El As se incrementa desde que el afluente (0,008 mg/L) entra en los sistemas de tratamiento, en el día 4 se halla 0,068 mg/L en el tratamiento ST y 0,076 mg/L en el tratamiento CT. Para el día 7, en el tratamiento ST el nivel de As se incrementa hasta 0,178 mg/L; pero, en el tratamiento CT se redujo a 0,064 mg/L.

Además, el nivel de Zn disminuye de 0,0568 mg/L hasta 0,0171 mg/L (69,89%) en el tratamiento CT a los 7 días y aumenta hasta un máximo de 0,5570 mg/L en el tratamiento ST. Por otro lado, para el Cu se muestra que la concentración disminuye de 0,0298 mg/L hasta 0,0066 mg/L a los 4 días en el tratamiento CT y aumenta hasta 0,1215 mg/L en el tratamiento ST.

Sin embargo, los niveles de metales pesados cumplen con los ECA Agua (categoría 3), agua para riego.

**Tabla 23***Resultado de los análisis de metales pesados en muestras de agua residual de la PTAR Magollo*

Parámetro	Unidad	ECA Agua	Día 0		Día 4			Día 7			
			Afluyente	ST	Remoción (%)	CT	Remoción (%)	ST	Remoción (%)	CT	Remoción (%)
Arsénico	mg/L	0,1	<0,008	0,068	**	0,076	**	0,178	**	0,064	**
Cadmio	mg/L	0,01	<0,0004	<0,0004	**	<0,0004	**	<0,0004	**	<0,0004	**
Cobre	mg/L	0,2	0,0298	0,0560	**	0,0066	77,85%	0,1215	**	0,0097	67,45%
Cromo	mg/L	0,1	<0,0008	<0,0008	**	<0,0008	**	0,0009	**	<0,0008	**
Mercurio	mg/L	0,001	<0,0002	<0,0002	**	<0,0002	**	<0,0002	**	<0,0002	**
Níquel	mg/L	0,2	<0,0010	<0,0010	**	<0,0010	**	0,0270	**	0,0087	**
Plomo	mg/L	0,05	<0,006	<0,006	**	<0,006	**	<0,006	**	<0,006	**
Zinc	mg/L	2	0,0568	0,2003	**	0,0350	38,38%	0,5570	**	0,0171	69,89%

Nota. (\*\*): Aumento del porcentaje de remoción o no se puede determinar. ST: sin totora, CT: con totora.

### 5.1.3 Evaluación de la Totora (*Typha angustifolia* L.) para la remoción de metales pesados de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo

En la Tabla 24 se observa el resultado del análisis de metales pesados en las raíces de Totora (*Typha angustifolia* L.). Se determina que la concentración de Cu se incrementa de 191,50 mg/Kg hasta 333,45 mg/Kg y el Zn se incrementa de 68,70 mg/Kg a 124,32 mg/Kg. Por otro lado, el As, Cd, Cr, Hg, Ni y Pb, se encuentran en niveles por debajo del límite de cálculo del equipo del laboratorio.

**Tabla 24**

*Resultado de los análisis de metales pesados (mg/Kg) en muestra de raíz de Typha angustifolia L.*

Metales pesados	Unidad	Raíz	
		Pre tratamiento	Post tratamiento
Arsénico	mg/Kg	<0,30	<0,30
Cadmio	mg/Kg	<0,30	<0,30
Cobre	mg/Kg	191,50	333,45
Cromo	mg/Kg	<1,00	<1,00
Mercurio	mg/Kg	<3,00	<3,00
Níquel	mg/Kg	<2,00	2,00
Plomo	mg/Kg	<3,00	<3,00
Zinc	mg/Kg	68,70	124,32

La Tabla 25, muestra los resultados del análisis del tallo de la Totora (*Typha angustifolia*), determinándose que el Cu se incrementa de 46,70 mg/Kg hasta 99,36 mg/Kg y el Zn se incrementa de 2,50 mg/Kg a 75,22 mg/Kg. Por otro lado, el As, Cd, Cr, Hg, Ni y Pb, están en niveles muy bajos los cuales se encuentran por debajo del límite de cálculo del equipo del laboratorio.

**Tabla 25**

*Resultado de los análisis de metales pesados (mg/Kg) en muestra de tallo de Typha angustifolia L.*

Metales pesados	Unidad	Tallo	
		Pre tratamiento	Post tratamiento
Arsénico	mg/Kg	<0,30	<0,30
Cadmio	mg/Kg	<0,30	<0,30
Cobre	mg/Kg	46,70	99,36
Cromo	mg/Kg	<1,00	<1,00
Mercurio	mg/Kg	<3,00	<3,00
Níquel	mg/Kg	<2,00	<2,00
Plomo	mg/Kg	<3,00	<3,00
Zinc	mg/Kg	22,50	75,22

## **5.2 Discusión de resultados**

### **5.2.1 Discusión del Análisis de las características fisicoquímicas**

#### **iniciales de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo**

En la caracterización inicial del afluente (Tabla 7); los niveles de DBO<sub>5</sub> (230,05 mg/L), DQO (400,00 mg/L) Aceites y grasas (28,00 mg/L) y Coliformes termotolerantes (95 000 000,00 mg/L) sobrepasan los LMP para efluentes de PTAR y ECA Agua Categoría 3. En el informe N° 186-2022/VIVIENDA-VMCS/DGAA/DEIA del proyecto “Planta de Tratamiento de Aguas residuales Magollo” (Resolución Directoral N° 0105-2022-VIVIENDA/VMCS-DGAA, 2022), los niveles de DQO, DBO<sub>5</sub>, aceites y grasas, C. termotolerantes, pH y Temperatura, fueron: 756 mg/L, 377,8 mg/L, 26,4 mg/L, 130 000 000 NMP/100mL, 6,87 y 20,6 °C; respectivamente. Según Limache y Tirado (2022), al analizar el mismo afluente se obtuvo índices de DQO de 280,5 mg/L y DBO<sub>5</sub> de 117,3 mg/L. En los tres casos se presenta que todos los parámetros sobrepasan la normativa establecida.

El nivel de Zn, Pb, Ni, Hg, Cr, Cd y As fue menor a los ECA Agua - categoría 3. De forma similar, la concentración de metales pesados fue casi ausente en el estudio de la PTAR Magollo del 2022 (Resolución Directoral N° 0105-2022-VIVIENDA/VMCS-DGAA, 2022), demostrando una baja presencia de estos contaminantes en el afluente y se asume que las actividades que provienen de la ciudad de Tacna no repercuten en la composición de estos metales. En

cambio, en la PTAR Copare de Tacna, Huanacuni (2019) determinó que el nivel de arsénico fue 0,162 mg/L estando mínimamente por encima del ECA Agua – categoría 3.

### **5.2.2 Discusión de la evaluación del efecto de la Totora (*Typha angustifolia* L.) en la remoción de parámetros fisicoquímicos de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo**

En la Tabla 9 mediante el análisis ANOVA de las concentraciones de pH se determinó que el factor totora tiene efecto significativo en el nivel de pH, obteniéndose con *Typha angustifolia* mejores resultados con una media de 6,71. En la investigación de Montalván y López (2017) usando *Typha angustifolia* con *Cyperus papyrus*, el pH a 45 días de adaptación se mantuvo en 6.90 y partir del día 60 hasta el día 105, dentro del rango de 7 a 7,50; la cantidad de días, sería el factor para el nivel de pH sea diferente a 6,41 de mi investigación, por el menor número de días en adaptación y tratamiento. Duchicela y Toledo (2014) con el humedal piloto de flujo sub superficial con totora obtuvo un rango de 5,6 a 6,36. Sucari (2022) demuestra que la totora es capaz de nivelar el pH de efluentes de mina, manteniendo un promedio de 6,41 y menciona el pH en humedales aumenta por si el sustrato contiene  $\text{CaCO}_3$ , neutralizando aguas ácidas. La media de pH adecuado para *Typha* sp. es de 4 a 10 (Romero y Espinoza, 2014).

En el caso de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), el análisis de varianza de la Tabla 11 demostró que el factor tiempo tiene efecto significativo en los resultados, obteniéndose una menor temperatura el día 7 con una media de 29,88  $^{\circ}\text{C}$  (Tabla 12). Rubio y Montenegro (2018), demostraron que en los humedales artificiales a mayor tiempo de retención, la temperatura disminuye. Sin embargo, Huanacuni (2019) determinó que no había diferencia entre sus promedios de temperatura en

humedales con ausencia o presencia de *Typha* sp. (Totorá). Romero y Espinoza (2014), mencionan que *Typha* sp. es comúnmente usada en humedales artificiales y para su mejor desempeño requiere permanecer en 10 °C a 30 °C; por tal, la temperatura obtenida en nuestra investigación es óptima para realizar el tratamiento. Baca (2012) indica que el tiempo de retención hidráulica y la temperatura están relacionadas en el nivel de remoción de los contaminantes.

Además, la temperatura y pH tienen efecto en el desarrollo microbiano de los humedales (Huanacuni, 2019). La presencia de microorganismos en las raíces y sustrato de la planta favorece la degradación de contaminantes (Delgadillo et al., 2010).

Por otro lado, el nivel de aceites y grasas disminuyó en presencia y ausencia de totora desde el día 4 (Tabla 13), los valores en todos los grupos experimentales fueron menores a 5 mg/L, siendo la remoción superior a 82,14 %. Huanacuni (2019), con una combinación de cámaras de rejillas, trampa de grasas y humedales, obtuvo medias de 0,5 a 1,0 mg/L (90 %) en 4 a 5 días de retención hidráulica. En el estudio de Castañeda y Flores (2013), con el uso de Totorá (*Typha latifolia*), se obtuvo 60 % de remoción en 7 días de retención hidráulica y a 26,5°C, sostiene que las temperaturas cálidas logran un mejor nivel de remoción, siendo nuestro resultado mayor. Mellado (2019), mediante el uso de Totorá (*Typha dominguensis*) removió el 97,10 % de aceites y grasas a los dos días de retención, siendo más eficiente que *Schoenoplectus americanus* y *Phragmites australis*. Un elevado índice de aceites y grasas evita la respiración celular de microorganismos

depuradores, produciendo su muerte y afectando al sistema de tratamiento (Huanacuni, 2019).

Para los resultados de coliformes termotolerantes se determinó en la Tabla 14 que los factores totora y tiempo tienen efecto significativo en su remoción, por lo que se obtuvo mejores resultados en presencia de Totora (*Typha angustifolia*) (Tabla 15) y con 7 días de retención hidráulica (Tabla 16) logrando una remoción del 99,99%. En el estudio de Cubas y Mireles (2019), la remoción fue de 99,99 % a los 15 días de retención, sostienen que la lentitud con que se remueve se debe a la falta de nutrientes y condiciones ambientales que permiten la permanencia de los coliformes en el humedal. Laura (2023) alcanzó 99% de remoción en 3 días de retención hidráulica con el uso de Totora, su sistema de tratamiento comprendía el paso por un tanque séptico y un humedal de flujo vertical, por lo que sus resultados son mayores y en menor tiempo. Sin embargo, la aplicación de humedales en muchos casos no logra alcanzar la normativa establecida (Lopez et al., 2019). Por tal, efluentes tratados mediante estos humedales requerirían otro mecanismo adicional de desinfección para la posterior liberación al ambiente.

En el nivel de DBO<sub>5</sub> se observó en la Tabla 17 que los factores totora y tiempo tienen efecto significativo en la remoción, se obtuvo mejores resultados con presencia de Totora (*Typha angustifolia*) y en 7 días de retención hidráulica (Tabla 18 y Tabla 19) obteniéndose 55,75 mg/L (75,77 %). Nuestro resultado es mayor a lo obtenido por Cubas y Mireles (2019), lograron remover DBO<sub>5</sub> en 62,66 % (100 mg/L) a los 25 días de retención hidráulica. López, et al. (2019) y Mellado

(2019), empleando *Typha dominguensis* removieron 81 % y 86,7 % de DBO<sub>5</sub>, respectivamente, a los 2 días de retención hidráulica, siendo mayores a nuestro resultado. Se podría asumir que dentro de las especies *Typha sp* hay diferencias en el nivel de remoción de contaminantes Delgadillo et al. (2010), mencionó que existe una sinergia en los humedales artificiales entre las plantas, sustrato y microorganismos, se da la mineralización y/o forman nuevos organismos a partir de la biodescomposición de material orgánico.

Finalmente, en la Tabla 20 del ANOVA para la DQO demostró que los factores totora y tiempo tienen efecto significativo en la remoción, los mejores resultados se obtuvieron en presencia de Totora (*Typha angustifolia*) y a los 7 días de retención hidráulica (Tabla 21 y Tabla 22), obteniéndose una media de 88,95 mg/L (78,51 %). Cubas y Mireles (2019) emplearon totora (*Scirpus californicus*), removió 58,73 % en 25 días de retención hidráulica, siendo nuestro resultado mayor. También, se supera el resultado de Lopez et al. (2019), con el uso de totora (*Typha dominguensis*) removía el 61 % de DQO en 2 días. Romero et al. (2009), removió 90,2 % de DQO a los 5 días, señala que, a partir del sexto día el nivel de DQO aumenta probablemente con el descenso del volumen de agua, incrementándose la concentración de material orgánico; otra razón es por la liberación de oxígeno desde las raíces de las plantas.

Respecto a la remoción de metales pesados (Tabla 23), todos cumplen con los ECA agua (categoría 3). Los parámetros cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), níquel (Ni) y plomo (Pb), estuvieron bajo del nivel de cuantificación del equipo

y permanecieron constantes a lo largo del periodo de tratamiento.

El nivel de arsénico en los efluentes se incrementó en todos los grupos experimentales pero no superó el ECA agua (cat. 3), siendo mayor en el tratamiento ST. Caso similar se observó en el estudio de Huanacuni (2019), donde el nivel de arsénico se elevó en todos sus tratamientos con humedales; sostiene que la remoción (%) de As se incrementa a más meses de desarrollo de las plantas en los humedales. Además, Valles y Alarcón (2014) obtuvieron 76 % de retención de As, a comparación de los humedales no plantados que solo retienen 32 %; menciona que solo 1 % de arsénico es absorbido por la planta, 76% se retiene en el sustrato y 31 % sale por el efluente. Esto explicaría la importancia de las plantas en humedales para la retención de As y remoción en los efluentes.

Los niveles de cobre (Cu) y Zinc (Zn) se removieron en el tratamiento con Totorá (*Typha angustifolia*), hasta 77,85 % en el día 4 y 69,89 %. La disminución de ambos metales es comparable con otras investigaciones. Chagua y Tardío (2015) demostraron que la Totorá es capaz de almacenar tales metales y logró remover 81,50% y 57,50% de Cu y Zn, respectivamente del afluente. Restrepo y tapia (2019), emplearon *Typha angustifolia* en conjunto con pasto vetiver, removieron 70% de Zn y 94% de Cu a 2 días de retención, sus resultados pueden ser mayores debido al empleo de humedales de flujo superficial como sustrato terroso, haciendo que los metales precipitaran fácilmente. Alvarez y Espinoza (2022), con *Schoenoplectus californicus* lograron 57,12 % de remoción de Cu y 57,73 % de Zn; a las 14,67 horas. Ávalos et al., (2021), obtuvo que la totora (*Typha*

*dominguensis*) puede soportar la concentración máxima de 11,25 mg de Cu/L antes de deteriorarse y sobrevivir, ya que se vio el crecimiento de estolones y logró remover 83,46 % de Cu en 45 días.

### **5.2.3 Discusión de la evaluación de la Tatora (*Typha angustifolia* L.) para la remoción de metales pesados de aguas residuales domésticas de la PTAR Magollo**

Los resultados de metales pesados (mg/Kg) en zonas de *Typha angustifolia* (Tabla 24 y Tabla 25), demostraron que tanto en la raíz y tallo, los parámetros; As (<0,030), Cd (<0,030), Cr (<1,00), Hg (<3,00), Ni (<2,00) y Pb (<3,00), se encuentran en niveles bajos al nivel de cuantificación del equipo. Cabe destacar, según Calcina (2009), el rango normal para la concentración de metales pesados en plantas es de 0,02 a 7 mg/Kg para As, 0,1 a 2,4 mg/Kg para Cd, 0,03 a 14 mg/Kg para Cr, 0,02 a 5 mg/Kg para Ni, 0,04 a 1 mg/Kg para Hg y 0,2 a 20 mg/Kg para Pb. Entonces, nuestros resultados estarían dentro del rango y permanecieron bajos hasta después del tratamiento.

En la raíz se acumuló, el Cu hasta 333,45 mg/Kg y Zn hasta 124,32 mg/Kg. De igual forma, en el tallo, se acumuló Cu a 99,36 mg/Kg y Zn a 75,22 mg/Kg. Chagua y Tardío (2015), con Tatora lograron remover por absorción cobre y zinc, que fue almacenado en sus estructuras, alcanzando el 81,50% de remoción de Cu y 87,50% de Zn. Según Calcina (2009), menciona que el Cu representa un riesgo alto, a concentraciones de 50 a 250 mg/Kg y un riesgo muy alto a niveles mayores de 250 mg/Kg; el Zn tiene un riesgo bajo a 60 a 160 mg/Kg. Por tanto, el

resultado final del nivel de Cu hallado en nuestra investigación representaría un riesgo alto a muy alto por la concentración en el tallo y raíz. El Zinc permanece dentro de un riesgo bajo.

## CONCLUSIONES

La totora (*Typha angustifolia* L.) tiene efecto positivo en la remoción de contaminantes de agua residual doméstica de la ciudad de Tacna.

El afluente de la PTAR Magollo para el nivel de pH, temperatura, y metales pesados analizados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn), cumple con los LMP para efluentes de PTAR y ECA Agua Categoría 3. Mientras que la DQO, DBO<sub>5</sub>, Aceites y grasas y Coliformes termotolerantes; no cumplen con ambas normas.

La totora (*Typha angustifolia* L.) y el tiempo de retención tiene efecto significativo en la remoción de coliformes termotolerantes, DBO<sub>5</sub>, DQO. Los aceites y grasas fueron removidos en todos los grupos al cuarto día de retención hidráulica. El Cu se removió en el día 4 y el Zn en el día 7. El As es retenido en mayor cantidad con presencia de *Typha angustifolia* en el humedal. Todos los parámetros cumplieron los niveles de LMP para efluentes de PTAR. Solo pH, temperatura, aceites y grasas, y todos los metales pesados analizados cumplieron los ECA agua – categoría 3.

La totora (*Typha angustifolia* L.) es una macrófita de fácil adaptación y retuvo cobre (Cu) y zinc (Zn) en la raíz y tallo.

## **RECOMENDACIONES**

Para futuras investigaciones se recomienda evaluar el efecto de la Totora en la remoción de contaminantes de aguas de tipo industrial

Se recomienda que en próximas investigaciones se haga la comparación entre las especies de similar capacidad de remoción como Carrizo y Totora.

Se recomienda continuar con la investigación y ver el efecto de la totora en la remoción de nutrientes como el nitrógeno y fósforo que causan la eutrofización de aguas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrantes, L. (2009). *Tratamento de esgoto sanitário em sistemas alagados construídos utilizando *Typha angustifolia* e *Phragmites australis** [Tesis de maestría, Universidad Federal de Goiás]. Repositorio de la Universidad Federal de Goiás. <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tde/624>
- Agudo, A. (2021). *Propuesta de un humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales de Benisuera (Valencia)* [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Valencia]. Repositorio de la UPV. <http://hdl.handle.net/10251/179560>
- Alvarez, R. y Espinoza, M. (2022). *Eficiencia de remoción de los metales pesados mediante el sistema de humedales artificiales de flujo superficial con *Schoenoplectus californicus* (totorá), para el tratamiento del drenaje ácido de minas (dam) en la bocamina poderosa – Huachocolpa, 2021* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio de la Universidad Nacional de Huancavelica. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/5072>
- Arias, C. y Brix, H. (2003). Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia E Ingeniería Neogranadina*. 13 (1), 17-24. <https://doi.org/10.18359/rcin.1321>
- Arivoli, A. y Mohanraj, R. (2013). Efficacy of *Typha angustifolia* based vertical flow

constructed wetland system in pollutant reduction of domestic wastewater. *International Journal of Environmental Science*. 3(5), 1498-1508. <https://doi.org/10.6088/ijes.2013030500020>

Asto, D. y Ávila, M. (2023). *Fitorremediación de suelo contaminado con plomo utilizando Urtica urens L. Y estiércol de vacuno en el distrito de El Mantaro. Jauja 2021* [Tesis de Licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/14044>

Auccatinco, R. (2021). *Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia Quispicanchi – Cusco* [Tesis de Licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11355>

Ávalos, C., Oggero, A., Nakayama, H., Garcia, I., Benítez, J., Ayala, J., Elkhaili, R. y Peralta, I. (2021). Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*. 26(2), 100-113. <https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.2.100>

Aza, L. (2016). *La totora como material de aislamiento térmico: Propiedades y potencialidad* [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Catalunya]. Repositorio de la Universidad Politécnica de Catalunya.

<http://hdl.handle.net/2117/88419>

Baca, M. (2012). *Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio de la Universidad Nacional del Callao. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/462>

Bautista, D. (2021). *Eficiencia de Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y Lechuga de agua (Pistia stratiotes) en la remoción de la DBO5 de las aguas residuales municipales del distrito de Chota, 2020* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de Chota. <https://hdl.handle.net/20.500.14142/218>

Calcina, L. (2009). *Determinación del Potencial de Schoenoplectus tatora "TOTORA" Como Especie Usada para Fitorremediación, Lago Titicaca – 2007* [Tesis de Maestría, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio de la Universidad Católica de Santa María. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/6884>

Casas, G., y Veitía, N. (2008). *Aplicación de métodos de comparaciones múltiples en Biotecnología Vegetal*. 8(2), 67-71.

Castañeda, A. y Flores, H. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México*. *Revista de Tecnología y Sociedad*. (5).

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=499051554003>

Caviedes, D., Delgado, D. y Olaya , A. (2016). Remoción de metales pesados comúnmente generados por la actividad industrial, empleando macrófitas neotropicales. *Producción + Limpia*, 11(2), 126-149.  
<https://doi.org/10.22507/pml.v11n2a11>

Cejas, C. (2021). *Implementación piloto de un humedal artificial de flujo sub superficial horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua, para el tratamiento del agua residual de la laguna primaria de la planta de tratamiento de agua residual—PTAR del distrito de Pachocha, Ilo 2017*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Moquegua]. Repositorio de la Universidad Nacional de Moquegua.  
<http://repositorio.unam.edu.pe/handle/UNAM/223>

Cely, N., Bonilla, C., y Carillo, G. (2022). *Tratamiento de aguas residuales* (1.ª ed.). Eco Ediciones S.A.S. <https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6727>

Chagua, R., y Tardío, J. (2015). *Evaluación de remoción de cobre y zinc por la planta nativa scirpus californicus (totora) en la comunidad de pomachaca – Tarma*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Nacional del Centro del Perú.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/1939>

Chugden, N. y Verastegi, R. (2020). *Evaluación de la eficiencia de las plantas acuáticas Totorá y Carrizo en la absorción y remoción de nutrientes en el*

*tratamiento de aguas residuales domesticas del distrito Namora— Cajamarca, 2020* [Tesis de Licenciatura, Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio de la Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1634>

Coaquira, A. (2018). *Determinación de la eficacia en humedades artificiales de flujo subsuperficial con totora (Schoenoplectus californicus) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de San Antonio de Chujura – Región Puno, 2018.* [Tesis de Licenciatura, Universidad Peruana Unión]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3627>

Coordinación General de Mitigación del Cambio Climático (DGCCD) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2018). *Desarrollo de rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) del sector Aguas Residuales de México.* Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Cubas, J., y Mireles, G. (2019). *Eficiencia del humedal artificial con Totora (Scirpus californicus) en la depuración de efluentes de las lagunas de estabilización del C.P. la otra banda* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Lambayeque]. <http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/306>

Damian, L., y Mancha, E. (2021). *Efecto del humedal artificial Waylla Ichu*

*(calamagrostis rigida)* en el tratamiento de aguas servidas del barrio de Santa Ana—Huancavelica—2021 [Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/74446>

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. (7 de junio del 2017). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

De Miguel, E., De Miguel, J., y Curt, M. (2014). *Manual de Fitodepuración, Filtro de macrófitas en flotación*. [https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual\\_fitodepuracion.pdf](https://fundacionglobalnature.org/wp-content/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf)

Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L., y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Bolivia. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

Diaz, E., Alvarado, A., y Camacho, K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: El caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*. 14(1), 78-97.

Duchicela, V. y Toledo, M. (2014). *Determinación de eficiencia de especies vegetales: Totora—Achira implementadas en biofiltros para agua de riego en Punín 2013* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3402>

Galván, J. (2016). *Evaluación de sistemas de humedales contruidos para la disminución de la concentración de metales pesados generados por los drenajes ácidos de minería*. [Tesis de Licenciatura]. Universidad Tecnológica de Pereira.

Goincochea, P., y Garcia, Y. (2022). Fitorremediación para recuperar suelos contaminados por metales pesados: discusión de revisión sistemática. *Agroindustrial Science*. 12(3), 293-303. <http://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.03.08>

Hernández, R., Fernández y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. Mc Graw Hill Education. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodología%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>

Huanacuni, C. (2019). *Capacidad de depuración de aguas residuales domesticas con aplicación de diferentes tecnologías de tratamiento sostenibles con costos de operación y mantenimiento económicos para pequeñas comunidades descentralizadas en Tacna (Cono Sur) – Perú* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/2540>

Limache, F. y Tirado, L. (2022). Acción de dos macrófitas para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo, Tacna – Perú.

*Ciencia & Desarrollo*. 21(1).

<https://doi.org/10.33326/26176033.2022.1.1239>

Linnaeus, C. T. (1 de mayo del 2024). Tropicos.org. *Trópicos*.

<https://tropicos.org/name/Search>

López, S., Perez, L., Gallegos, M., y Gutierrez, M. (2005). Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 21(2), 91-100.

Lopez, T., Duré, G., Doldan, M., Galeno, E., y Marin, D. (2019). Desempeño de humedales construidos a escala piloto para el tratamiento de agua residual urbana utilizando *Cyperus giganteus* Vahl y *Typha domingensis* Pers. *Steviana*. 11(1), 3-14.

[https://doi.org/10.56152/StevianaFacenV11N1A1\\_2019](https://doi.org/10.56152/StevianaFacenV11N1A1_2019)

Marquez, C. y Velasquez, J. (2017). *Comparación de un lecho de grava y un humedal de flujo subsuperficial con Typha latifolia para el tratamiento de residuos combustibles líquidos* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Córdoba]. <https://core.ac.uk/download/pdf/322624543.pdf>

Mellado, G. (2019). *Determinación de la eficiencia de tres especies macrófitas para el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Federico Villareal].

<https://hdl.handle.net/20.500.13084/2729>

Mendarte, C., Alarcón, A. y Ferrera, R. (2021). Fitorremediación: Alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.326>

*Metales tóxicos en alimentos*. (2017). 48, 6-8.

<https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/06/1000319/editorial-metales-toxicos-en-alimentos.pdf>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2009). *Municipios ecoeficientes*.

MINAM.[https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/15\\_manual\\_para\\_municipios\\_ecoeficientes.pdf](https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/15_manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf)

Miranda, E. (2019). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora Schoenoplectus californicus (Tora) para remoción de arsénico y Boro mediante humedales de flujo horizontal in vitro*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Alas Peruanas]

Morocco, S. y Paye, K. (2022). *Efecto de Typha angustifolia L. (Tora) y Phragmites australis (carrizo) en la remoción de nutrientes en la planta de tratamiento de agua residual Omo—Moquegua, 2021* [Tesis de grado, Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11535>

Muñoz, K. y Vasquez, M. (2020). *Estudio de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domesticas con humedales artificiales de cinco especies de macrofitas* [Tesis de Licenciatura, Universidad Privada del Norte].

<https://hdl.handle.net/11537/23943>

Neubauer, M. (2010). *Comportamiento de Typha angustifolia L. y Schoenoplectus californicus (C.A.) Soják en un humedal construido para el tratamiento de purines de cerdo* [Tesis de Licenciatura, Universidad de Concepción]. <https://eula.udec.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-maria-elisa-neubauer-2010.pdf>

Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R. y Olguin, E. (2004). Fitorremediación: Fundamentos y aplicaciones. *Ciencia - Academia Mexicana de Ciencias*. 55(3), 69-83.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe. Estado, principios y necesidades* (p. 133). IWMI. <https://www.fao.org/3/i7748s/i7748s.pdf>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2023). *Agua para consumo humano*. [www.who.int](http://www.who.int). <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Osorio, M., Carrillo, W., Loor, X., Negrete, J., y Riera, E. (2021). *La calidad de las aguas residuales domésticas*. 6(3), 228-245. <http://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>

Pastuña, C. (2015). *Fitorremediación del agua para el cultivo de plantas en el vivero forestal del Gad municipal del Caton Latacunga, provincia de Cotopaxi, periodo 2015* [Tesis de Licenciatura, Universidad técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2700/1/T-UTC-00236.pdf>

Pinheiro, M. (2017). *Plantas para infraestrutura verde e o papel da vegetação no tratamento das águas urbanas de São Paulo: Identificação de critérios para seleção de espécies* [Mestrado em Paisagem e Ambiente, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.16.2017.tde-27062017-141958>

Programa de las Naciones Unidas para Asentamiento Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS). (2021). *Progreso en el tratamiento de las aguas residuales. Estado mundial y necesidades de aceleración del indicador 6.3.1. De los ODS*. [https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/10/sdg6\\_indicator\\_report\\_631\\_progress-on-wastewater-treatment\\_2021\\_es.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2021/10/sdg6_indicator_report_631_progress-on-wastewater-treatment_2021_es.pdf)

Quintana, W. (2019). *Actividad fitorremediadora de la totora (Schoenoplectus californicus) en agua contaminada por arsénico en los pozos del caserío Tranca Fanupe—Mórrope* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/40461>

*Resolución Directoral N° 0105-2022-VIVIENDA/VMCS-DGAA. Aprobar el Instrumento de Gestión Ambiental del Proceso de Adecuación Progresiva (IGAPAP) del proyecto “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*

Magollo". (17 de noviembre de 2022).  
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/4041203-021-2023-vivienda-dgaa>

*Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA. Aprobar el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR; que en Anexo forma parte integrante de la presente Resolución. (26 de octubre del 2013).*  
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/5870368-273-2024-vivienda>

Restrepo, A. y Tapia, L. (2019). *Evaluación de la remoción de conductividad y turbiedad, de agua residual de una industria metalmecánica, utilizando prototipos por lotes de humedales construidos de flujo libre* [Tesis de Licenciatura, Universidad Católica de Manizales].  
<http://hdl.handle.net/10839/2611>

Rivas, A. (2022). *¿Cómo construir un humedal para el tratamiento del agua residual en mi escuela?* Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.  
<https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/ecoagua/ecoagua-humedal-tratamiento-del-agua-residual.pdf>

Romero, J. y Espinoza, C. (2014). *Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes.* 94, 35-44.  
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2266>

- Romero, M., Colin, A., Sanchez, E. y Ortiz, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 25(3).  
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000300004](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004)
- Rubio, J. y Montenegro, A. (2018). *Humedal Artificial en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la 3ra Brigada de Fuerzas Especiales, batallón de servicios N° 300, Distrito de Rioja, Provincia de Rioja, Departamento de San Martín* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto]. <https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.02>
- Samudio, A., Nakayama, H., Ávalos, C., Cantero, I., Venancio, Ayala. J., Elkhaili, R., y Peralta, I. (2021). Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*. *Revista de la Sociedad Científica del Paraguay*, 26(2), 100-113. <https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.2.100>
- Sánchez, V., Palomino, P. y Malpartida, R. (2021). Eficiencia de humedales artificiales de totora y berros sobre efluentes de granja porcícola, Perú. *Revista Alfa*, 5(14). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.110>
- Seguel, B. (2019). *Evaluación de la implementación de humedales artificiales en zonas cordilleranas utilizando las especies Cortaderia selloana y Typha*

*angustifolia sobre un medio granular de roca volcánica* [Tesis de Licenciatura, Universidad del Bio Bio].  
<http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/3353>

Sucari, L. (2022). *Evaluación de la eficiencia de remoción de metales pesados de efluentes mineros a través de humedales artificiales empleando scirpus californicus (totora) y festuca dolichophylla (ichu), en el Distrito de Morococha, Yauli, Junín*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion]. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2445>

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2013). *Estudio tarifario. Determinación de la formula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicable a la entidad prestadora de servicios de saneamiento Tacna. Sociedad anónima EPS Tacna S.A.*

SUNASS. (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras*.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3212482/Informe%20de%20diagnóstico%20de%20las%20PTAR.pdf>

Torres, F. (2021). *Nivel de reducción de coliformes termotolerantes aplicando la especie (Zantedeschia Aethiopica) y tiempo de retención en aguas residuales domesticas del PTAR - Pampas Huancavelica* [Tesis de Licenciatura, Universidad Cesar Vallejo].  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/72627>

- Torres, J. y Briceño, Y. (2016). *Tratamiento de aguas residuales de tipo domestico a partir de coleopteros scarabaeidae* [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/6254>
- Ugaz, F. (2018). *Reuso de aguas residuales tratadas biológicamente para el regadío del jardín botánico, Trujillo, la Libertad, Perú*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Trujillo]. <https://doi.org/10.17268/sciendo.2018.001>
- UNESCO. (2017). *Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: El recurso desaprovechado, resumen ejecutivo*. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_spa)
- UNESCO. (2019). *El camino a seguir*. [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367663\\_spa/PDF/367304spa.pdf.multi.nameddest=367663](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367663_spa/PDF/367304spa.pdf.multi.nameddest=367663)
- UNESCO. (2023). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023 Alianzas y cooperación por el agua*. United Nations. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386807>
- Valles, M. (2013). *Modelación de Procesos de Remoción de Arsénico en Agua con Humedales Construidos* [Tesis de Doctorado, Centro de Investigación en Materiales Avanzados].
- Valles, M. y Alarcón, M. (2014). Retención de arsénico en humedales construidos

con *Eleocharis macrostachya* y *Schoenoplectus americanus*. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 30(2), 143-148.  
<http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/2343>

Velásquez, J. (2017). *Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación*. 8(1), 151-167. ISSN-e 2145-6453

# **ANEXOS**

**Anexo 1**  
**Matriz de consistencia**

**Título: efecto del uso de la Totora (*Typha angustifolia L.*) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la ciudad de Tacna, 2023**

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicadores
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables Independientes: X1= Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> )	Aplicación de la Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> )	Concentración de metales pesados en la planta (mg/Kg)
¿Cuál es el efecto del uso de la Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) para el tratamiento de aguas residuales domesticas en la ciudad de Tacna?	Determinar el efecto del uso de la Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) para el tratamiento de aguas residuales domesticas en la ciudad de Tacna.	La Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) tiene un efecto significativo para el tratamiento de aguas residuales domesticas en la ciudad de Tacna.			
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente: agua residual domestica	Características físico-químicas	pH
¿Cuál es el efecto de la Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) en la remoción de parámetros fisicoquímicos del agua residual domésticas de la PTAR Magollo?	Evaluar el efecto de la Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) en la remoción de parámetros fisicoquímicos del agua residual domestica de la PTAR Magollo.	El uso de la Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) tiene efecto sobre la remoción de parámetros fisicoquímicos del agua residual domestica de la PTAR Magollo.			Temperatura (T°)
					DBO (mg/L)
					DQO (µg/L)
¿La Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) podrá reducir metales pesados del agua residual domésticas de la PTAR Magollo?	Evaluar a la Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) para la remoción de metales pesados del agua residual domestica de la PTAR Magollo.	La Totora ( <i>Typha angustifolia L.</i> ) reduce y acumula metales pesados del agua residual domestica de la PTAR Magollo.	Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	Concentración de Metales pesados pre y post tratamiento (mg/L)	
Método y diseño		Población y muestra		Técnicas e instrumentos	
Tipo de investigación:	Aplicada	Población:	Agua residual de la PTAR Magollo	Técnica:	Observación Experimental
Diseño de investigación:	DBCA (diseño de bloques completamente aleatorio)	Muestra:	400 litros aprox	Instrumentos:	Ficha de registro
Nivel de investigación	Aplicativo			Tratamiento estadístico:	Statgraphics Centurion XVIII

## Anexo 2 Tablas de resultados

pH					
Totora (unidades)	Tiempo (días)	R1	R2	promedio	Remoción (%)
afluente	0	6,95	6,64	6,80	
Sin Totora (ST)	4	7,07	7,5	7,29	**
	7	7,07	7,1	7,09	**
Con Totora (CT)	4	6,92	6,87	6,90	**
	7	6,45	6,58	6,52	4,12

Temperatura (°C)					
Totora (unidades)	Tiempo (días)	R1	R2	promedio	Remoción (%)
afluente	0	32,8	35,4	34,1	
Sin Totora (ST)	4	30,3	31,4	30,85	9,53
	7	30,1	29,7	29,90	12,32
Con Totora (CT)	4	31,5	32,5	32,00	6,16
	7	29,6	30,1	29,85	12,46

aceites y grasas (mg/L)					
Totora (unidades)	Tiempo (días)	R1	R2	promedio	Remoción (%)
Afluente	0	25,9	30,1	28,00	
Sin Totora (ST)	4	<5	<5	<5	
	7	<5	<5	<5	
Con Totora (CT)	4	<5	<5	<5	
	7	<5	<5	<5	

Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)					
Totora (unidades)	Tiempo (días)	R1	R2	promedio	Remoción (%)
afluente	0	92 000 000	98 000 000	95 000 000	
Sin Totora (ST)	4	780 000	810 000	795 000	99,16
	7	181 000	205 000	193 000	99,80
Con Totora (CT)	4	49 000	51 000	50 000	99,95
	7	7 000	7 600	7 300	99,99

<b>DBO5 (mg/L)</b>					
<b>Totora (unidades)</b>	<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>promedio</b>	<b>Remoción (%)</b>
afluente	Día 0*	235,7	224,4	230,05	
Sin Totora (ST)	Día 4	210,8	195,5	203,15	11,69
	Día 7	125,4	112,2	118,80	48,36
Con Totora (CT)	Día 4	130,1	122,9	126,50	45,01
	Día 7	59,1	52,4	55,75	75,77

<b>DQO (mg/L)</b>					
<b>Totora (unidad ves)</b>	<b>Tiempo (días)</b>	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>promedio</b>	<b>Remoción (%)</b>
afluente	Día 0*	402,6	397,4	400,00	
Sin Totora (ST)	Día 4	368,5	350,4	359,45	10,14
	Día 7	214,6	225,2	219,90	45,03
Con Totora (CT)	Día 4	165,8	154,4	160,10	59,98
	Día 7	81,2	90,7	85,95	78,51

## Anexo 3

### Formato modelo de resultados de laboratorio

(Afluente 1 - formato)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

#### INFORME DE ENSAYO N°: IE-24-5007

N° Id.: 0000104670

#### V.- RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-24-13287
CÓDIGO CLIENTE <sup>(A)</sup>				AR-01
COORDENADAS - UTM WGS 84 <sup>(A)</sup>				E:70.344395° N:18.109345°
PRODUCTO <sup>(A)</sup>				Agua Residual
SUB PRODUCTO <sup>(A)</sup>				Agua Residual Doméstica
FECHA y HORA DE MUESTREO <sup>(A)</sup>				01-03-2024 09:31
ENSAYO	UNIDAD	LD.M.	LC.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Temotolerantes) (NMP) (*)	NMP/100mL	NA	1,8	95 000 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	230,05
Aceites y Grasas (*)	mg/L	1,40	5,00	28,00
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	400,00
<b>Metales Totales ICPOES</b>				
Aluminio (*)	mg/L	0,005	0,020	<0,003
Antimonio (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,006
Arsénico (*)	mg/L	0,002	0,008	<0,008
Azufre (*)	mg/L	0,010	0,040	<0,040
Bario (*)	mg/L	0,0002	0,0010	<0,003
Berilio (*)	mg/L	0,0003	0,0010	<0,0010
Bismuto (*)	mg/L	0,009	0,030	<0,030
Boro (*)	mg/L	0,002	0,006	<0,0010
Cadmio (*)	mg/L	0,0001	0,0004	<0,0004
Calcio (*)	mg/L	0,002	0,006	94,693
Cerio (*)	mg/L	0,02	0,07	<0,07
Cobalto (*)	mg/L	0,002	0,007	<0,007
Cobre (*)	mg/L	0,0003	0,0010	0,0298
Cromo (*)	mg/L	0,0002	0,0008	<0,0008
Estaño (*)	mg/L	0,001	0,003	<0,003
Estroncio (*)	mg/L	0,00004	0,00010	0,38230
Fosforo (*)	mg/L	0,01	0,04	11,69

<sup>(C)</sup> Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

<sup>(A)</sup>Datos proporcionados por el cliente y/o solicitante. El laboratorio no es responsable cuando la información proporcionado por el cliente y/o solicitante pueda afectar la validez de los resultados.

Pág 3 de 4

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chalcas N° 1877,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 717 5802  
Cel.: 977 515 129

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zarumilla Mz. D2  
LT. 3, Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 8036  
Cel.: 937 111 379

SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz. E Ll. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 952 361 941

SEDE PIURA  
Urb. Miraflores Mz. G Ll. 17,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+073) 542 335  
Cel.: 952 617 782

SEDE TRUJILLO  
Urb. Sol de Trujillo Mz. A Ll. 29,  
Alto Selvaene - Trujillo  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 961 768 828

www.alab.com.pe

**Anexo 4**  
**Panel fotográfico**

Acondicionamiento del área de trabajo



Área de recolección de Totora



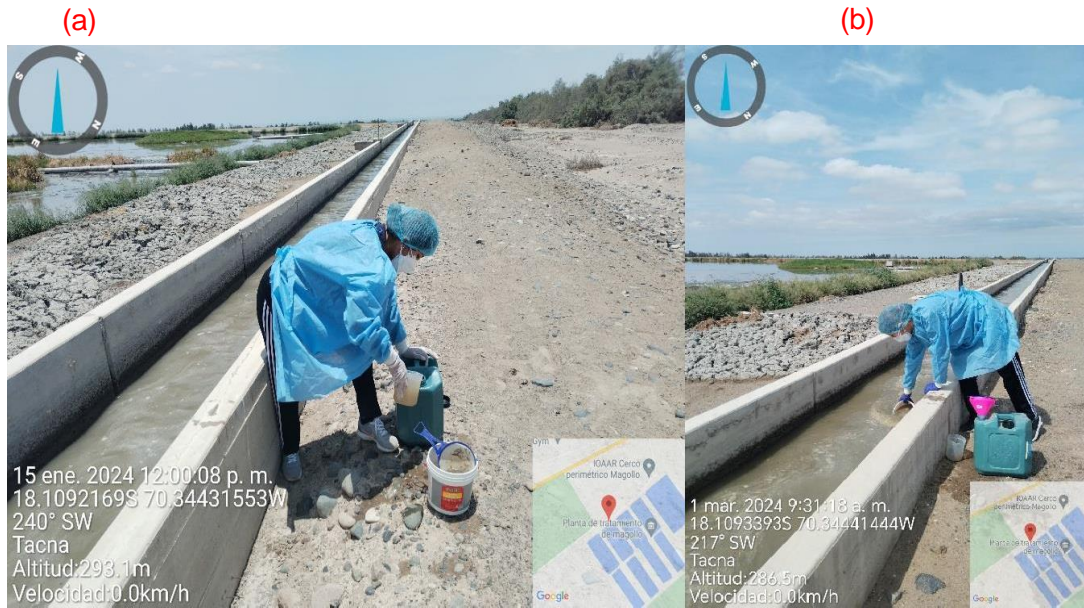
### Extracción y recolección de totora



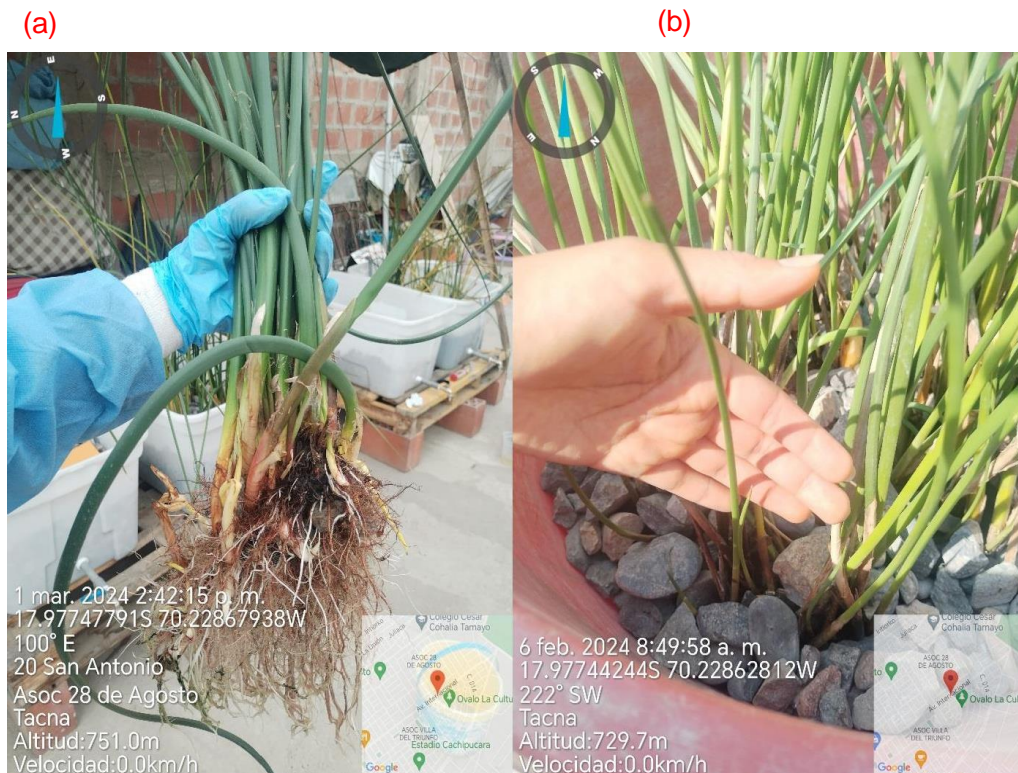
### Puesta de totora en los humedales piloto



## Extracción de agua residual de la PTAR Magollo



## Crecimiento de nuevos estolones en totora



### Materiales usados para la toma de muestra

