

# UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**TESIS**

**DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA EL CENTRO POBLADO DE CHIJICHAYA - PUNO.**

**PRESENTADA POR:**

**BRANDONLY JENS TICONA CALLATA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PUNO - PERÚ**

**2024**



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](http://Universidad Privada San Carlos) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



17.25%

SIMILARITY OVERALL

0%

POTENTIALLY AI

SCANNED ON: 20 DEC 2023, 2:54 PM

### Similarity report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL  
2.56%

● CHANGED TEXT  
14.69%

### Most likely AI

Highlighted sentences with the lowest perplexity, most likely generated by AI.

● LIKELY AI  
0%

● HIGHLY LIKELY AI  
0%

## Report #19189235

BRANDONLYJENS TICONA CALLATA DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CENTRO POBLADO DE CHIJICHAYA - PUNO. RESUMEN Los altos niveles de contaminación ambiental son una preocupación constante a nivel global y, en la región Puno; la presente investigación tiene como objetivo, proponer un diseño de humedal artificial para tratamiento de aguas (HATAS) residuales en base a una revisión sistemática de tipos de humedales artificiales y especies vegetales para el centro poblado de Chijichaya; bajo un enfoque mixto y diseño descriptivo, se analizó comparativamente los pros y desventajas de los diferentes tipos de HA, así como, el uso de sustratos alternativos, de sus combinaciones, logrando identificar las especies vegetales más utilizadas y eficaces en la remoción de parámetros químicos como: *Typha dominguensis*, 94% a 98%; *Chrysopogon zizanioides*, 86% a 90%; *Juncus sp* 75% a 80%; *Phragmites australis* 70% a 90%; y *Cyperus papyrus* 50% a 56%; seleccionando *Juncus sp* 70% a 80%, la Totorá (*Scirpus californicus*, *Typha*, *Scirpus*, *Phragmites* y *Carex totorilla* para depuración de aguas residuales. Finalmente se diseñó un de humedal artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSH) para una efectiva remoción de los parámetros estudiado y alcanzar una eficiencia no menor del 80% de DBO, 60% de DQO), 60% de sólidos totales en suspensión, pH neutro, temperatura de 15 °C y olor aceptable; para obtener agua residual apta para riego de cultivos.

**UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**TESIS**  
**DISEÑO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS**  
**RESIDUALES PARA EL CENTRO POBLADO DE CHIJICHAYA - PUNO.**

**PRESENTADA POR:**

**BRANDONLY JENS TICONA CALLATA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

:



M.Sc. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

PRIMER MIEMBRO

:



Dr. ESTEBAN ISIDRO LEON APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

:



M.Sc. MARLENE CUSI MONTESINOS

ASESOR DE TESIS

:



Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Líneas de Investigación: Ciencias ambientales

Puno, 03 de enero del 2024

## DEDICATORIA

Dedico a Dios y a mis queridos padres, por haberme guiado y orientado por todo el camino profesional, así mismo haber estado conmigo, ayudándome en todo momento de mi vida y por darme el carácter para seguir siempre adelante.

A mis hermanos, por motivarse e inspirarme para cumplir mis sueños, por preocuparse por mi crecimiento y progreso como profesional así mismo compartiendo sus conocimientos y consejos para lograr mis objetivos personales y profesionales.

## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Privada San Carlos y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental,  
A mis docentes, quienes a través de sus conocimientos impartidos con paciencia,  
dedicación y su apoyo incondicional permitiendo que pueda alcanzar mis metas y  
objetivos anhelados para desenvolverme como profesional.

A mi asesor M.Sc. Julio Wilfredo Cano Ojeda por su gran compromiso, paciencia,  
enseñanza incondicional, valiosos consejos y por sus diferentes contribuciones que abrió  
ideas para realizar mi investigación.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ANEXOS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2. ANTECEDENTES	14
1.3. OBJETIVOS	26

### CAPÍTULO II

#### MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL, NORMATIVO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	28
2.2. MARCO CONCEPTUAL	41
2.3. MARCO NORMATIVO	42
2.4. HIPÓTESIS	43

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	45
----------------------	----

<b>3.2. POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA</b>	<b>46</b>
3.2.1. POBLACIÓN	46
3.2.2. MUESTRA	46
<b>3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS</b>	<b>46</b>
<b>3.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES / CATEGORÍAS</b>	<b>48</b>
<b>3.5 METODOLOGÍA POR OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b>	
<b>4.1. REVISIÓN DE TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES Y ELECCIÓN ADECUADA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CENTRO POBLADO CHIJICHAYA.</b>	<b>51</b>
<b>4.2. ANÁLISIS DE LAS ESPECIES VEGETALES MÁS EFICACES EN HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CENTRO POBLADO CHIJICHAYA.</b>	<b>55</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>66</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>68</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>69</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 01:</b> Tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.	51
<b>Tabla 02:</b> Especies de vegetales más eficaces en humedales artificiales y naturales para el tratamiento de aguas residuales.	55
<b>Tabla 03:</b> Características generales del humedal artificial de tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento de agua residual en el proyecto para el Centro Poblado de Chijichaya-Puno.	63
<b>Tabla 04:</b> Presupuesto referencial de construcción de un humedal artificial de Flujo subsuperficial horizontal (HAFSH),	65



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Procedimiento para la elaboración de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales.	38
<b>Figura 02:</b> Mapa de Chijichaya, Ilave, Puno (vista de satélite)	46
<b>Figura 03:</b> Ubicación política y geográfica del distrito de Ilave.	60
<b>Figura 04:</b> Propuesta de Diseño de humedal artificial de 25 m x 14 m x 0.80 m para el tratamiento de aguas residuales	64
<b>Figura 05:</b> Corte transversal del humedal artificial propuesto de 25 m x 14 mx 0.80 m para el tratamiento de aguas residuales.	64

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 01:</b> Matriz de consistencia “Diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el Centro Poblado de Chijichaya - Puno.”	79
<b>Anexo 02:</b> Modelo de fichas de análisis de contenido	81
<b>Anexo 03:</b> Fichas de análisis de contenido del autor Aydın Temel, F., Özyazıcı, G., Uslu, V. R., & Ardalı, Y.	82
<b>Anexo 04:</b> Fichas de análisis de contenido del autor García-Ávila, F.	83
<b>Anexo 05:</b> Fichas de análisis de contenido del autor Haddis, A., Van der Bruggen, B. & Smets, I.	84
<b>Anexo 06:</b> Fichas de análisis de contenido del autor Gao, Yan, Zhang, Wen, Gao, Bin, Jia, Wen & Yang, Liuyan.	85
<b>Anexo 07:</b> Fichas de análisis de contenido del autor Nema, A., Yadav, K. D. & Christian, R.	86

## RESUMEN

Los altos niveles de contaminación ambiental son una preocupación constante a nivel global y en la región Puno; la presente investigación tiene como objetivo, proponer un diseño de humedal artificial para tratamiento de aguas (HATAS) residuales en base a una revisión sistemática de tipos de humedales artificiales y especies vegetales para el centro poblado de Chijichaya; bajo un enfoque mixto y diseño descriptivo, se analizó comparativamente los pros y desventajas de los diferentes tipos de HA, así como, el uso de sustratos alternativos, de sus combinaciones, logrando identificar las especies vegetales más utilizadas y eficaces en la remoción de parámetros químicos como: *Typha dominguensis*, 94% a 98%; *Chrysopogon zizanioides*, 86% a 90%; *Juncus* sp 75% a 80%; *Phragmites australis* 70% a 90%; y *Cyperus papyrus* 50% a 56%; seleccionando *Juncus* sp 70% a 80%, la Totorita (*Scirpus californicus*, *Typha*, *Scirpus*, *Phragmites* y *Carex tottorilla* para depuración de aguas residuales. Finalmente se diseñó un de humedal artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSH) para una efectiva remoción de los parámetros estudiado y alcanzar una eficiencia no menor del 80% de DBO, 60% de DQO), 60% de sólidos totales en suspensión, pH neutro, temperatura de 15 °C y olor aceptable; para obtener agua residual apta para riego de cultivos. Un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal es un sistema eficiente en el TAS domésticas, con una gran combinación de vegetales, suelo y microorganismos; probada en varios países, los HA han demostrado ser un eficiente sistema para lograr reducir contaminantes .

**Palabras Claves:** Agua residual, humedales artificiales, flujo subsuperficial horizontal, flujo subsuperficial vertical, remoción.

## ABSTRACT

High levels of environmental pollution are a constant global concern and, in the Puno region; this research aims to propose an artificial wetland design for wastewater treatment based on a systematic review of types of artificial wetlands and plant species for the town centre of Chijichaya; under a qualitative approach and descriptive design, the advantages and disadvantages of the different types of artificial wetlands, as well as the use of alternative substrates, of their combinations, were analyzed comparatively, managing to identify the most used and effective plant species in the removal of chemical parameters such as: *Typha dominguensis*, 94% to 98%; *Chrysopogon zizanioides*, 86% to 90%; *Juncus sp* 75% to 80%; *Phragmites australis* 70% to 90%; and *Cyperus papyrus* 50% to 56% for sewage treatment. Finally the artificial wetland design of Horizontal Subsurface Flow (HAFSH) for effective removal, Finally, he designed an artificial wetland of Horizontal Subsurface Flow (HAFSH) for an effective removal of the parameters studied, and achieve an efficiency of not less than 80% of DBO, 60% of DQO), 60% of total solids in suspension, neutral pH, temperature of 15 ° C and acceptable odor; to obtain wastewater suitable for crop irrigation. The artificial wetland of horizontal subsurface flow showing an efficiency in the treatment of domestic wastewater, as a large combination of plants, soil and microorganisms is proposed; as in several countries, artificial wetlands have proven to be an efficient management method for reducing pollutants such as dispersed sources, agricultural runoff, pesticides and drainage.

**Key words:** Wastewater, artificial wetlands, horizontal subsurface flow, vertical subsurface flow, removal.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la generalidad de las ciudades a nivel mundial, sopesan la problemática de los altos niveles de contaminación ambiental especialmente del agua como es el caso de la cuenca del Titicaca en la región de Puno. Por lo que el problema abordado en la presente investigación fue: ¿Cuál será la factibilidad de proponer un diseño de HATAR con base en una revisión sistemática de tipos de HA y especies vegetales para el centro poblado de Chijichaya – Puno? En ese sentido, el objetivo del presente estudio fue, “Proponer un diseño de HATAR en base a una revisión sistemática de tipos de HA y especies vegetales para el centro poblado de Chijichaya – Puno.”

Partiendo de la selección y análisis de varios artículos de investigación científica, tesis internacionales y nacionales, se desarrolló la presente investigación con cuatro capítulos: En el CAPÍTULO I, se presenta el planteamiento del problema, los antecedentes y los objetivos de la investigación. En el CAPÍTULO II, se desarrolla el marco teórico, conceptual y la hipótesis de la investigación. En el CAPÍTULO III, se aborda la metodología de la investigación, cubriendo la caracterización de la zona de estudio, el tamaño de la muestra, los métodos, las técnicas e instrumentos de la investigación, la identificación de las variables y el diseño estadístico, en el CAPÍTULO IV, se presenta y analiza los resultados, complementando con la propuesta, para finalmente exponer las conclusiones y las recomendaciones.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, el mundo está muy preocupado por el estado de la contaminación del agua, como el caso de México revelan que existe serios problemas de polución en los ríos y masas de agua, que son los receptores de los vertidos domésticos, agrícolas e industriales , que son inyectados a los ríos y masas de agua naturales no tratadas (Arteaga et al., 2019).

Colombia, rica en recursos hídricos, tiene dos océanos, tres montañas, el 50% de los páramos del mundo y más de 700.000 cuerpos de agua entre ríos, arroyos, canales, humedales y lagunas, 6º en el mundo en capacidad de agua, sin embargo, no cuenta con la mejor tecnología para el tratamiento de aguas residuales industriales, lo que amenaza directamente la calidad del agua existente, afectando la flora y fauna, además de limitar todos los servicios ecosistémicos sociales y económicos de la región, donde fueron vertidos. (Romero, 2021).

En los últimos años, el aumento de la población ha llevado consigo un incremento en la generación de residuos sólidos. La gestión inadecuada de estos residuos resulta en la contaminación del medio ambiente, con consecuencias directas para la salud humana. A nivel global, la generación de residuos asciende a entre 7.000 y 10.000 millones de toneladas anuales, lo que destaca la magnitud del desafío ambiental que enfrentamos.

Además, se estima que alrededor de 3.000 millones de personas en todo el mundo carecen de acceso a instalaciones adecuadas para la gestión de residuos, lo que no solo contribuye a la contaminación ambiental, sino que también afecta la salud pública y la calidad de vida en estas comunidades. Esta disparidad en el acceso a infraestructuras de gestión de residuos destaca la necesidad de iniciativas globales para abordar de manera efectiva y equitativa el manejo de los desechos, promoviendo prácticas sostenibles y el acceso igualitario a servicios adecuados para todas las poblaciones. Si no se toman medidas urgentes, se estima que para el año 2050 la cantidad de desechos a nivel global aumentará en un 70% en comparación con los niveles actuales. (Luján & Sánchez, 2021).

La contaminación hídrica representa uno de los desafíos más significativos, ya que el 70% de las aguas residuales no tratadas tienen su origen en hogares y/o empresas industriales. Este hecho genera un impacto ambiental considerablemente adverso en ríos, océanos y cuerpos de agua subterránea. Como consecuencia, diversas especies se ven afectadas, experimentando migraciones, mortalidad y, en última instancia, extinciones, todo a raíz de la contaminación inducida. (Cruz, 2018).

Los HA son sistemas especialmente diseñados y construidos para tratar aguas residuales, mediante la optimización de los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en el ecosistema, mejorando la capacidad de depuración de las plantas y aumentando la eficiencia de los humedales naturales. (Arteaga et al., 2019).

En Ecuador, en la comunidad Pan y Agua del Cantón Jipijapa, las aguas grises no se manejan adecuadamente debido a que no existe un sistema de tratamiento de aguas residuales, por lo que drenan directamente a los cauces naturales, provocando estancamiento y permeabilización, contaminando y erosionando el suelo. (Quimis & Intriago, 2019).

Perú es el octavo país del mundo en tener reservas de agua dulce, aunque la calidad de sus servicios de agua y saneamiento sigue siendo una gran problemática. Actualmente el

70% de la población peruana se encuentra en asentamientos informales y carece de recursos básicos, y sus aguas residuales vierten en la misma agua que consume la población, por lo que son más susceptibles a posibles enfermedades y por ende fuente de contagio. (Cruz, 2018).

Una de las preocupaciones ambientales más obvias es la contaminación del agua por las aguas grises de los hogares, que produce altos índices de contaminación en los receptores naturales de agua debido al uso inadecuado del agua en los hogares dando lugar a la formación de muchos vectores por lo que es necesario combatirlo debido a que los asentamientos humanos y en muchos lugares, ya que este recurso es escaso por ende no se pueden proporcionar la calidad y cantidad de agua necesaria para ser utilizada en otros usos (Torres, 2018).

En tal sentido, esas preocupaciones ambientales de contaminación del río Huenque, urgen alternativas de solución para el TAR en el Centro Poblado de Chijichaya, como la presente propuesta de diseños de un HA, de interés en el presente estudio.

### **Problema general**

¿Cuál es la factibilidad de diseñar un humedal artificial para tratamiento de aguas residuales y especies vegetales de la zona para el centro poblado de Chijichaya – Puno?.

### **Problemas específicos**

- ¿Cuáles son los tipos de humedales artificiales más apropiados para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya?
- ¿Cuál son las especies de vegetales de humedales artificiales adaptadas en zonas alto andinas para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya?
- ¿Cuál es la factibilidad de proponer un diseño de un humedal artificial para el



tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Chijichaya – Puno?

## 1.2. ANTECEDENTES

### ANTECEDENTES INTERNACIONALES

En Panamá, Del Valle-Borrero, et al. (2022) plantearon como objetivo, presentar las posibles ventajas de implementación de los Humedales Artificiales Flotantes (HAF) en ríos urbanos, especialmente en la ciudad de Panamá. Los humedales artificiales son innovadoras tecnologías que aprovechan la capacidad purificadora de las plantas para mejorar la calidad de los cuerpos de agua, un proceso conocido como fitorremediación. Estos sistemas imitan la función de los humedales naturales al utilizar una variedad de plantas acuáticas que absorben y filtran contaminantes presentes en el agua. Además, proporcionan hábitats propicios para diversas formas de vida acuática. Estos humedales artificiales son una solución sostenible y eficiente para abordar la contaminación del agua, ya que no solo mejoran la calidad del agua sino que también fomentan la biodiversidad. Este enfoque ecológico no solo beneficia al medio ambiente, sino que también ofrece una alternativa respetuosa con el ecosistema para la gestión de la calidad del agua en comparación con métodos más convencionales.

La aplicación en el tratamiento de aguas de diferentes fuentes es muy extensa. En el ámbito de las aplicaciones medioambientales, los Humedales Artificiales Flotantes (FAH) emergen como soluciones altamente innovadoras con un potencial de tratamiento superior en comparación con los métodos tradicionales de fitorremediación. Estos humedales, al flotar en la superficie del agua, ofrecen ventajas adicionales al proporcionar una mayor flexibilidad y adaptabilidad a diversas condiciones ambientales. Su diseño único permite una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes, al tiempo que promueve la conservación del ecosistema acuático subyacente. Los Humedales Artificiales Flotantes no solo destacan por su capacidad mejorada de tratamiento, sino que también pueden ser implementados de manera estratégica en cuerpos de agua

afectados por diversas fuentes de contaminación. Esta versatilidad los convierte en herramientas valiosas para abordar desafíos ambientales específicos en diferentes contextos geográficos y climáticos. El HAF como microecosistema se recomienda como una alternativa verde para el tratamiento de estos ríos, mejorando así la calidad de vida de los habitantes y el medio ambiente.

En Ecuador, Mendoza & Párraga (2021) se trazaron como objetivo de investigación: Examinar tres tipos de humedales construidos (ornamentales, forrajeros y alimentarios) como depuradoras de aguas residuales grises en bosques ESPAM "MFL". Asimismo, los porcentajes de purificación más altos estuvieron determinados por los efectos de purificación de las especies de plantas (jacinto de agua, hamamelis y arroz). Se llevó a cabo un análisis de componentes principales (DCA) para evaluar los humedales con los mayores porcentajes de remoción, dividiéndose en tres tratamientos correspondientes a las plantas de estudio (T1, T2 y T3) con cuatro repeticiones (R1, R2, R3 y R4), y un grupo de control. Se consideraron como variables de estudio las especies vegetales utilizadas en la descontaminación. Los resultados estadísticos revelan que el tratamiento más efectivo fue T2, donde *Chrysopogon zizanioides* demostró una tasa de remoción promedio del 89.31%, destacándose por su significativa eficacia en la eliminación de contaminantes como DBO5 y turbidez. En el caso de T2, se observó una tasa de remoción promedio del 87,5% para nitrógeno, 78,5% para fósforo, 95,75% para DBO5 y 95,5% para turbidez. Cabe destacar que los parámetros de control como el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura se mantuvieron constantes en todos los tratamientos, sin reducción en sus porcentajes de remoción. Respecto al tratamiento de arroz (T3), se logró una buena remoción con un 82,25%. Estos humedales construidos presentan ventajas considerables, siendo una tecnología de implementación económica con un bajo costo de US\$90.37 para T2. Además, demuestran ser propicios para la protección ambiental, lo que subraya la importancia de su promoción y adopción más amplia.

En Colombia, Romero (2021) buscó en su estudio: Analizar la aplicabilidad del uso de HATAR de la industria textil. Se conocen las características de las aguas residuales de la industria textil a las cuales se les aplicó una tasa de remoción del 90% correspondiente al tratamiento fisicoquímico para determinar qué parámetros aún son superiores a los de descarga a cuerpos de agua según lo especificado en la Resolución N° 0631 de 2015. Otro punto es, los tipos de humedales construidos se especifican según las siguientes clasificaciones: Sistemas de tratamiento basados en plantas de raíces emergentes, Sistemas de tratamiento basados en plantas sumergidas, en plantas de hojas flotantes, humedales de flujo libre (FL), y HA de flujo subterráneo, divididos en flujo horizontal y flujo vertical.

En Colombia, Zapata & Bermúdez (2020), en su investigación, llegaron a la conclusión de que, entre los tratamientos convencionales examinados, el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) se destaca como el método más eficaz para eliminar el cianuro libre, logrando una eliminación significativa de contaminantes. Asimismo, indicó que la adición de ozono como complemento en el proceso de oxidación no solo intensifica la eliminación, sino que también provoca la hidrólisis natural del ácido carboxílico, dando lugar a la formación de gas carbonato y amoníaco. Esta técnica no solo se revela como económicamente viable, sino también ambientalmente amigable.

En cuanto a las estrategias de biorremediación, identificaron que la bacteria *Pseudomonas fluorescens* demuestra una notable capacidad de degradación, posicionándose como la opción más idónea para el tratamiento de aguas contaminadas con cianuro. Comparada con otros métodos de biorremediación, esta aplicación microbiana presenta una variabilidad significativa como una alternativa óptima para la eliminación de compuestos contaminantes biodegradables en aguas residuales industriales.

En su investigación realizada a cabo en México, Mateo et al., (2019) presentaron los resultados de un método poco común pero eficaz para la remoción de contaminantes de aguas residuales porcinas. Utilizaron humedales artificiales verticales parcialmente saturados plantados con híbridos de canna y demostraron que este enfoque es efectivo en la eliminación de sólidos suspendidos (SS), fósforo total (PT), nitrógeno nítrico (N-NO<sub>4</sub>) y coliformes fecales (CF).

El estudio resalta la eficacia de las condiciones de operación parcialmente saturadas, que alternan entre estados aeróbicos y anóxicos, como contribuyentes clave en la eliminación de contaminantes. Los investigadores concluyeron que el sistema denominado HC-VPS (Humedales Constructivos de Flujo Vertical Parcialmente Saturados) representa una alternativa viable para tratar las aguas residuales porcinas. Comparado con los humedales tradicionales de flujo vertical, el HC-VPS mostró condiciones superiores en términos de eliminación de contaminantes. Además, destaca por su bajo costo, requerimientos de espacio y facilidad operativa, lo que lo posiciona como un método con un gran potencial de aplicación en explotaciones porcinas a pequeña escala, especialmente en países en desarrollo.

## **ANTECEDENTES NACIONALES**

En su estudio realizado en el Distrito de Chacapampa, Junín en 2020, Joaquín (2021) se propuso diseñar un sistema de TAR mediante Humedales Artificiales de Flujo Superficial. Este diseño, basado en métodos aplicados y cuantitativos, así como en diseños no experimentales con niveles descriptivo-interpretativos, involucra la toma de muestras de aguas residuales de viviendas locales. Estas muestras fueron sometidas a análisis de laboratorio para evaluar la eficacia de los humedales naturales en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados obtenidos permitieron alcanzar las metas generales y específicas del estudio.

En el área destinada para la futura construcción de los humedales de flujo superficial artificial, el esquema de diseño propuesto demostró una excelente adaptabilidad. Las dimensiones propuestas son las siguientes: ancho = 8,99 m, largo = 26,66 m, área superficial = 242,21 m<sup>2</sup>, Área transversal = 5,394 m<sup>2</sup>, y un tiempo de retención hidráulica de 1,71 días. Estos hallazgos respaldan la viabilidad del diseño propuesto para el tratamiento de aguas residuales en el distrito mencionado.

En su investigación, Escajadillo (2021) se propuso determinar los tipos de humedales construidos empleados en el tratamiento de aguas grises. La investigación abarcó tres fases: la identificación de los tipos más utilizados de humedales artificiales, la descripción de las ventajas asociadas a estos tipos y la identificación de las plantas más frecuentemente empleadas en dichos humedales. Los resultados revelaron variaciones en los tipos de humedales construidos más frecuentemente utilizados, destacando entre ellos el flujo subterráneo horizontal y el flujo subterráneo vertical. Estos presentan características distintivas en la purificación de aguas grises y, además, ofrecen ventajas según su costo y mecanismo de remoción de diversos contaminantes.

En relación con los equipos de tratamiento de aguas grises más utilizados, desempeñando una función esencial, se identifican diferentes plantas junto con sus porcentajes de eficacia en la descontaminación: totora con un rango del 93% al 97%, *Chrysopogon zizanioides* con un rango del 88 % al 90%, *Juncus sp* con un rango del 70% al 80%, caña con un rango del 68% al 89%, y juncia con un rango del 50% al 55%. En resumen, se concluye que el flujo subterráneo horizontal y vertical en los humedales construidos demuestra eficacia para reducir diversos parámetros en el sistema de tratamiento. Las plantas de tratamiento de aguas residuales más utilizadas pueden ser identificadas según el porcentaje de eliminación en humedales construidos destinados al tratamiento de aguas residuales domésticas.

Luján & Sánchez (2021) llevaron a cabo una revisión sistemática con el objetivo de analizar la eficiencia de los humedales construidos en el tratamiento de lixiviados de la Planta de Residuos Sólidos de Cajamarca durante el año 2020. La elección de los artículos se enfocó en analizar y presentar los resultados de parámetros fundamentales, tales como DBO, conductividad, pH, DQO, fósforo, nitrógeno, turbidez, sólidos suspendidos totales, sólidos disueltos totales y coliformes termotolerantes. Esto permitió determinar la efectividad de los humedales y comparar dos especies de humedales: Junco (Carrizo) y Schoenoplectus Californicus, también conocido como Totorá (Typhae). Este análisis no solo contribuye a la comprensión de la eficacia de los humedales en el tratamiento de lixiviados, sino que también facilita la integración del medio ambiente y contribuye a la conservación de los recursos naturales.

Muñoz & Vásquez (2019) llevaron a cabo una investigación con el objetivo de analizar las tendencias actuales en el tratamiento de aguas residuales residenciales. Esta revisión de la literatura, a incluir inglés y español en los últimos 10 años, se basó en una metodología de revisión sistemática utilizando diferentes motores de búsqueda como BiBlat y Google Scholar. Los resultados indicaron una diversidad de enfoques en el tratamiento de aguas residuales, pero los expertos llegaron a la conclusión de que la construcción de humedales y el uso de filtros biológicos son actualmente las prácticas más destacadas. Esta revisión respalda la efectividad de dichos métodos en la eliminación de diversos parámetros evaluados. En ese sentido, los investigadores argumentan que, aunque existen varias alternativas para tratar aguas residuales domésticas, la construcción de humedales y el empleo de biofiltros prevalecen como las opciones más prominentes según su análisis.

En su investigación, Muñoz & Vásquez (2020) se propusieron analizar comparativamente la eficiencia de cinco humedales artificiales de macrófitos en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Los humedales que se analizaron incluyeron Phragmites australis

(carrizo), *Juncus* sp. (junco), *Chrysopogon zizanioides* (vetiver), *Typha domingensis* (totora) y *Cyperus papyrus* (papiro). La evaluación se realizó recolectando datos sobre el porcentaje de remoción de DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales y parámetros de coliformes termotolerantes de cada uno de los estudios.

Las tasas generales de remoción encontradas fueron: *Juncus* sp.: 74,13% a 81,67%; Carrizo (Caña de azúcar): 67% a 89,5%; Totora (*Typha dominguensis*): 93,57% a 96,77%; *Chrysopogon zizanioides*: 88,09% a 91%; Juncia: 50,8%. En sus conclusiones, Muñoz & Vásquez afirmaron que las totoras (*Typha dominguensis*) fueron las especies más efectivas para eliminar contaminantes de las aguas residuales domésticas.

Segura & Rocha (2019), en su investigación lograron determinar la Eficiencia física, química y microbiológica de remoción de contaminantes en lixiviados que se diluyen con AR por digestores biológicos y humedales construidos de flujo subterráneo horizontal a una concentración triple promedio de 1%: 65% DBO5, 50% Demanda Química de Oxígeno (DQO), 95% Nitrógeno Total, 95% Coliformes Termotolerantes, 54% Fósforo Total, 94% Amoníaco, 94 % de turbidez, 47 % de oxígeno disuelto, 58 % de conductividad, 58 % de sólidos disueltos totales, pH 7,9, la temperatura es de 26,3 °C. Los expertos determinaron una remoción eficiente a una concentración del 3%: 69% DBO5; 69% DQO; 94% Nitrógeno Total; 95% Coliformes Termotolerantes; 86% Fósforo Total; 91% Amoníaco; 93% Turbiedad; 40% Oxígeno disuelto, conductividad 56%, sólidos disueltos totales 56%, pH 7,9, temperatura 25,7°C. Por lo tanto, indican que la eficacia del sistema es del 71% y 75% para concentraciones del 1% y 3%, respectivamente. Esto resulta en una eficacia total del 73% en el proceso de tratamiento.

En el proyecto de Pazán et al. (2018), el objetivo fue analizar el estado técnico de los humedales de agua subterránea de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales y lodos depuradores, centrándose en estudiar los parámetros necesarios en climas fríos o templados e implementar esta tecnología. En sus conclusiones, destacaron varios

aspectos clave para el diseño de Humedales Construidos de Flujo Vertical (HSSFV):

Ecuaciones y Factores de Diseño:

Identificación correcta de las ecuaciones necesarias.

Consideración de los factores de diseño pertinentes.

Factores Relevantes para el Diseño:

Temperatura ambiente: Destacaron la importancia de considerar la temperatura del entorno en el diseño.

Ubicación del sitio de trabajo: La ubicación geográfica del humedal es un factor crucial.

Vegetación: La selección adecuada de plantas es esencial para el rendimiento del humedal.

Función de los humedales: El propósito específico del humedal (tratamiento de aguas residuales, tratamiento de lodos, etc.) debe ser tenido en cuenta.

Tiempo de retención hidráulica: Este es un parámetro crítico para el rendimiento del humedal.

Otros factores no especificados que también desempeñan un papel crucial en el diseño.

Estos resultados subrayan la complejidad y la necesidad de considerar múltiples variables al diseño humedales construidos, especialmente cuando se trata de implementarlos en diferentes climas, como climas fríos o templados.

El objetivo del estudio de Laiza (2018) fue estimular la investigación acerca de la reutilización del agua en los hogares, una problemática que también está siendo abordada en otros países. La razón subyacente es la creciente conciencia sobre el agotamiento del agua, que se está convirtiendo en un recurso no renovable. La presencia de los primeros indicadores de esta escasez se manifiesta en diversas partes del mundo. Los investigadores realizaron exhaustivas búsquedas en bases de datos como Ebsco, Redalyc y Scielo, identificando un total de 29 estudios desde el año 2001. A pesar de estos esfuerzos, los expertos sostienen que este enfoque no solo contribuye a minimizar la contaminación ambiental, sino que también conlleva beneficios económicos y sociales,



propiciando el progreso de la sociedad en general. No obstante, señalan que la investigación actual aún tiene limitaciones, ya que la tecnología apenas está dando sus primeros pasos para ofrecer soluciones sostenibles y viables ante la problemática del agua. Esta perspectiva destaca la necesidad de continuar avanzando en la investigación y desarrollo de tecnologías más avanzadas en este campo crucial.

Para Torres (2018) , con el objetivo de evaluar el uso de humedales construidos y juncos en el tratamiento de aguas residuales residenciales. Para lograr este resultado, se implementaron dos humedales verticales subterráneos, cada uno compuesto por tres tipos de sustratos: arena fina, arena gruesa y cotos. Estos humedales, a excepción de la especie de totora *Typha dominguensis* proveniente de la ciénaga de Ventanilla, eran idénticos en tamaño y composición de sustrato. Cada capa de sustrato se dispuso en segmentos de 10 cm de altura. La distinción entre los humedales radica en que uno incluyó la especie de totora *Dypha dominguensis*, comúnmente conocida como totora (tratamiento 1), utilizada como grupo de control, mientras que el otro humedal solo contenía sustrato. Las dimensiones de la construcción del humedal son de 100 cm de largo, 50 cm de ancho y 40 cm de alto. Se construyeron dos unidades experimentales de manera sucesiva, asegurando que cada método de tratamiento mantuviera las mismas características. Este diseño experimental proporciona una base sólida para evaluar el impacto de la totora en comparación con el sustrato solo en la eficacia de los humedales verticales subterráneos . Concluye que el humedal artificial que contiene plantas de carrizo (totora) ha afectado completamente el tratamiento de las aguas residuales domésticas. De acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental y la FAO (ONU), una vez que se haya tratado el agua, se le puede reutilizar como agua de riego de tercera categoría para la alimentación y la agricultura.

Malca (2020), en su investigación, se propuso determinar la eficacia de la tecnología de humedales construidos como tratamiento de aguas residuales. Se emplearon diversas

bases de datos, como Scielo, Redalyc, ScienceDirect y Crossref, para llevar a cabo una evaluación sistemática de la efectividad de las tecnologías de humedales construidos en el tratamiento de aguas residuales. La búsqueda principal se efectuó mediante el motor de Google, utilizando las palabras clave "humedales construidos" y "tratamiento de aguas residuales". La inclusión o exclusión de los estudios se limitó a considerar la naturaleza de los humedales construidos, los insumos utilizados en su producción y las características de las aguas residuales. Además, se tomó en cuenta la investigación realizada en un período de diez años. Los resultados revelan que los años con mayor número de estudios fueron el 33,4% en 2013 y el 25% en 2012. En cuanto a la distribución por tema de investigación, la base de datos Redalyc representó el 93,3%, mientras que la base de datos Scielo fue el 6,7% en cada consulta. Estos hallazgos indican que el uso de humedales artificiales contribuye a reducir los riesgos para la salud y el medio ambiente, mejora las propiedades organolépticas de las aguas residuales y ajusta los valores de pH hacia la neutralidad. Las conclusiones destacan una conexión significativa entre el tipo de vegetales procesados y la carga orgánica de las aguas residuales.

En Apurímac, Céspedes (2021) tuvo como objetivo: determinar una relación significativa entre los humedales construidos y el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales, para lograr los objetivos planteados se utilizaron diseños de investigación aplicada, nivel de investigación correlativa, investigación cuantitativa y cuasi-experimental. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que los humedales artificiales con macrófitos *Schoenoplectus californicus* (totora) y *Phragmites australis* (junco) son ambos humedales artificiales de tipo subterráneo horizontal y son una opción para una adecuada intervención en el tratamiento de aguas residuales domésticas, donde se obtuvieron los siguientes resultados: la región de Huanipaca con el macrófito *Schoenoplectus californicus* (totora) con un clima frío de 6°C, nos dio una tasa de remoción (DBO5) de 98.58%, (DQO) 92.96%, Ph 6.9 %, conductividad (C) 7.62%, temperatura (T) 8,14% y

coliformes termotolerantes (CT) 99.22%. Estos datos sugieren que estas plantas son extraordinarias depuradoras de contaminantes físico-químicos y microbianos en las aguas residuales domésticas.

Yaranga (2020), en su estudio sobre la composición y diversidad de especies en humedales de la subcuenca del río Shullcas, destacó las disparidades entre distintos humedales, las cuales se atribuyen a factores como su ubicación, altitud y origen del agua. La medición de la producción primaria neta aérea a intervalos regulares de 30, 60, 90 y 120 días resultó de suma importancia, evidenciando la constante generación de biomasa en los humedales a lo largo del año. Esto indica la necesidad de evaluar estos ecosistemas en lapsos periódicos en lugar de hacerlo en un solo momento, ya que las condiciones ecológicas varían según la geografía, la composición de especies y la fuente de agua de cada humedal.

Coarite (2018), una de las macrófitas más conocidas y difundidas en la región Puno es la Totorá (*Scirpus californicus*) pertenece a la familia *Cyperaceae* con aproximadamente 50 especies cumplen la función de purificar el agua desde un nivel secundario ha avanzado, mejorando la calidad de las mismas hasta alcanzar niveles equivalente a aguas aptas para riego y hasta para ser utilizadas como aguas crudas en el proceso de potabilización. Las helófitas más usadas en depuración son *Typha*, *Scirpus*, *Phragmites* y *Carex*. Si bien existen pequeñas diferencias en la eficiencia de remoción de contaminantes entre dichas especies, la recomendación es utilizar la especie de mayor adaptación y disponibilidad en el medio. Metales tóxicos los cuales incluyen al plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg).

## **ANTECEDENTES LOCALES**

Ramos (2019) usó tecnología convencional del HA de la flor de alcatraz, que produce beneficios económicos y trata las aguas residuales domésticas. El propósito es cultivar flores de alcatraz utilizando raíces aéreas domésticas en humedales artificiales subterráneos en la zona de Huatascapa. Se instalaron tres humedales impermeables de

flujo horizontal, cada uno con dimensiones de 1,5 x 0,5 x 0,5 metros, con densidades de 4, 6 y 8 plántulas de alcatraz, respectivamente. Se emplearon medidas físicas para evaluar el impacto de diferentes densidades en la producción de flores. Se monitorearon parámetros como DBO5, DQO, TSS y fosfato en los tanques y las salidas del sistema. El humedal 1, con la menor densidad de plántulas, mostró la mejor producción de flores de alcatraz, con un mayor número de flores y una eficiente eliminación de DBO5 (87.6%), DQO (85.6%), SST (85.9%) y fosfatos (75.3%). En comparación, el segundo y tercer humedal tuvieron una remoción de DBO5 (86.6%), DQO (84.9 - 85.6%), SST (85.9 - 86.7%) y fosfatos (40.4 - 40.0%), siendo menos efectivos en algunos aspectos en comparación con el primer humedal. . El tratamiento de humedales construidos 1 proporcionó mejores condiciones para la producción de flores de alcatrazes en baja densidad.

En su investigación, Coaquira (2018) tuvo como objetivo, evaluar la eficiencia de remoción de esta especie, se implementó Totorá en un HA subterráneo horizontal para el TAR domésticas. La investigación se desarrolló en tres etapas: la planificación de los humedales, la construcción de los mismos y el análisis de datos utilizando el comportamiento cinético con la ayuda del programa Statistica. El tamaño de los humedales se dejó a la elección del investigador. La evaluación de los resultados reveló que existieron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en todos los parámetros físicos (pH, sólidos suspendidos totales y temperatura) y parámetros químicos (demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días y demanda química de oxígeno) antes y después de la implementación de los humedales. Se obtiene la eficiencia de 80% DBO, 64,6% DQO, 60,2% TSS. Los resultados muestran que la caña tiene la capacidad de eliminar los parámetros físicos y químicos, el agua residual antes del sistema de tratamiento a través del HA de flujo horizontal, los parámetros físicos y químicos después del sistema de tratamiento.

Tampe (2022) en su investigación, se propuso como objetivo, analizar la percepción sobre el reúso de aguas servidas tratadas de la población adulta del distrito de Llave, en el año 2021. El método de Investigación empleado comprendió un diseño de investigación: no experimental descriptivo transversal, un tipo de Investigación descriptivo propositivo. En relación con la población, se estima que el distrito de Llave cuenta con 20,968 habitantes, según datos del INEI (2017). No obstante, se llevó a cabo una encuesta utilizando un cuestionario de 33 preguntas, dirigido a una muestra de 268 personas adultas.

De acuerdo con la investigación de Tampe (2022), se logró caracterizar el conocimiento de los adultos en la región de Llave sobre los recursos hídricos locales y la reutilización de aguas residuales tratadas. Más del 70% de los encuestados en la región afirmaron tener conocimiento sobre el estado de sus recursos hídricos, y más del 65% indicó que hay suficiente agua en la zona. Asimismo, más del 43% de los encuestados estaba al tanto de la existencia de una planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Llave, aunque señalaron que aún se encuentra en fase de construcción. La opinión actual para la población adulta es de casi el 85%, una buena opción, pero para el uso de agua no potable, otros opinan que las aguas residuales tratadas pueden afectar gravemente la salud de las personas. Como resultado, son menos receptivos al uso doméstico de agua potable. También, se centra en el desarrollo de lineamientos programáticos de educación ambiental informal con base científica en la reutilización de aguas residuales .

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Proponer un diseño de humedal artificial para tratamiento de aguas residuales con especies vegetales de la zona, para el centro poblado de Chijichaya – Puno.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar el más apropiado para el tratamiento de aguas residuales para el Centro

Poblado de Chijichaya.

- Analizar sistemáticamente especies de vegetales de humedales artificiales adaptadas en zonas alto andinas para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.
- Proponer un diseño de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Chijichaya – Puno.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL, NORMATIVO E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

##### **2.1.1. Humedales**

Según afirma Vymazal (2011), los humedales naturales son todas las áreas que se inundan temporal o permanentemente con agua dulce o salada y cuya vegetación está adaptada para sobrevivir en condiciones de suelo saturado. Los ecosistemas ribereños cumplen una función crucial como receptores de nutrientes provenientes de las aguas que se desplazan desde áreas elevadas. Estos humedales desempeñan un papel significativo como barreras amortiguadoras entre las zonas de cultivo, los cursos de agua, entre otros.

Los humedales son ecosistemas maravillosos y diversos, auténticos tesoros naturales en nuestro planeta. Albergan una asombrosa variedad de vida, desde innumerables especies de animales hasta una gran diversidad de plantas. La conservación de estos humedales es crucial para garantizar no solo la supervivencia de estas especies, sino también la de nuestra propia especie, la humana. Estos ecosistemas desempeñan un papel esencial en la regulación de las condiciones climáticas y el ciclo hidrológico global (FUNDACIÓN AQUAE.ORG, 2021).

#### **El Ecosistema de los Humedales**

Los humedales se caracterizan por su transición entre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Por lo general, se encuentran en zonas de llanuras inundadas cerca de ríos, lagos o áreas costeras. Algunos humedales pueden incluso existir de manera aislada, obteniendo su suministro de agua de las aguas subterráneas (FUNDACIÓN AQUAE.ORG, 2021).

La Convención RAMSAR, un acuerdo a nivel internacional, caracteriza a los humedales como extensiones de tierra que experimentan inundación, tanto de manera temporal como permanente. Estas áreas son notablemente influenciadas por condiciones climáticas y la interacción con los organismos que las ocupan (FUNDACIÓN AQUAE.ORG, 2021).

### **Tipos de Humedales**

El portal FUNDACIÓN AQUAE.ORG (2021), afirma que existen varios tipos de humedales, cada uno adaptado a las condiciones específicas de su ubicación geográfica y las características del terreno:

**Humedales Marinos:** Situados en las costas y afectados por las mareas.

**Humedales Estuarinos:** Se ubican donde los ríos se encuentran con el mar, incluyendo manglares, deltas y marismas de mareas.

**Humedales Lacustres:** Conectados con lagos de agua dulce.

**Humedales Palustres:** Suelen tener un aspecto pantanoso, como las marismas y las ciénagas.

**Humedales Ribereños:** Se encuentran a lo largo de ríos y arroyos.

**Humedales Artificiales:** Creados por el ser humano con propósitos específicos, como embalses o criaderos de especies acuáticas comerciales.

### **Biodiversidad en los Humedales**



Una de las características más notables de los humedales es la asombrosa variedad de vida que albergan. Desde diminutos invertebrados como camarones hasta imponentes aves como los flamencos, los humedales representan auténticos santuarios de biodiversidad. Estos ecosistemas no solo albergan aves y organismos invertebrados, sino que también sirven como hábitat para mamíferos, peces, reptiles, anfibios e insectos. Incluso brindan refugio a especies en peligro de extinción, como el tigre de Sumatra y el tigre malayo.

En términos de vegetación, los humedales exhiben una variada selección de plantas acuáticas y semiacuáticas, que incluyen pastos marinos, lirios acuáticos, ninfeáceas, lentejas de agua, mangles, así como árboles de arce y ciprés. Estas contribuciones botánicas contribuyen a la diversidad y la riqueza de estos ecosistemas.

### **Importancia de los Humedales**

Los humedales brindan invaluable beneficios a la humanidad y la naturaleza. No solo suministran agua dulce y alimentos, sino que también ayudan a mitigar inundaciones, recargar acuíferos subterráneos y almacenar grandes cantidades de carbono, contribuyendo así a combatir el cambio climático. Además, actúan como barreras naturales frente a desastres como sequías e inundaciones, lo que los convierte en aliados cruciales para la sostenibilidad y el desarrollo humano.

### **El Desafío de la Conservación de los Humedales**

A pesar de su importancia, los humedales enfrentan amenazas significativas. Se estima que desde 1700 hemos perdido hasta el 87% de estos ecosistemas en todo el mundo, y su degradación continúa a un ritmo alarmante. Esto ha llevado a la disminución de poblaciones de especies que dependen de estos entornos. Para revertir esta tendencia, es fundamental la conservación y protección activa de los humedales, ya que su desaparición tendría consecuencias devastadoras para la biodiversidad y el equilibrio de nuestro planeta.

Según Arteaga et al. (2019), los humedales construidos se clasifican en dos tipos principales: humedales de flujo libre, que son sistemas con plantas que flotan libremente, y humedales subterráneos, que son sistemas con plantas con raíces. A su vez, los humedales subterráneos se subdividen en sistemas de flujo vertical y sistemas de flujo horizontal. Los humedales de flujo libre, también llamados superficiales, son cuerpos de agua expuestos a la atmósfera que contienen plantas flotantes enraizadas. Los humedales subterráneos consisten en estanques con bases porosas, como arena o grava, y vegetación. Existen diferencias notables entre los humedales de flujo horizontal y vertical.

En comparación con los sistemas de tratamiento de aguas residuales convencionales (TAR), Luna & Aburto (2014) destacan que los humedales construidos ofrecen considerables beneficios económicos, técnicos, sociales y estéticos. Estos humedales pueden producir agua tratada de alta calidad que cumple con las normativas, eliminando microorganismos patógenos y siendo apta para la irrigación agrícola. Además, son más rentables en términos de implementación, operación y mantenimiento, ya que tienen una vida útil de 25 años y requieren una mínima energía para operar.

Llagas & Gómez (2006) señalan que el flujo subterráneo en estos sistemas evita problemas de mosquitos, reduce olores y proporciona protección térmica, lo que previene daños por heladas al sistema (vegetación, sustrato y agua).

Calheiros et al. (2007) advierten que la aplicación de humedales construidos debe ser cuidadosa, ya que los requisitos de tratamiento pueden cambiar debido a alteraciones en la composición de las aguas residuales. La selección adecuada de la vegetación es crucial, ya que debe ser capaz de resistir los posibles efectos tóxicos de las aguas residuales.

Los humedales de flujo libre son reconocidos como uno de los métodos más antiguos para el tratamiento secundario y la eliminación de pesticidas. Están diseñados para

cargas superficiales bajas, presentando un foso con dimensiones que varían entre 5 y 90 cm, aunque comúnmente oscilan entre 30 y 40 cm. Estos fosos suelen tener surcos de 3 m de ancho y 100 m de longitud, con profundidades entre 0,30 y 0,40 m. Las plantas utilizadas son *Scirpus lacustris*. (Rodríguez et al., 2003, como se cita en (Arteaga, 2019).

Vymazal (2009) sostiene que, los humedales FSSH reemplazan el tratamiento secundario. Estos son sistemas de medios porosos saturados en los que se planta vegetación de emergencia. También juegan un papel en la prevención de la salinización secundaria del suelo. La vegetación utilizada para desalinizar los sustratos agrícolas son: carrizo, espadaña, alfalfa, carrizo, líquenes, rizadas, juncos y hojas rizadas. La eficiencia de eliminación de totora a  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $Na^+ Cl^-$  y  $SO_4^{--}$  puede alcanzar el 80%.

Debido a su capacidad de intercambio de iones, la arcilla tiene la habilidad de, temporalmente, eliminar el nitrógeno de las aguas residuales, dependiendo de la estabilidad del sistema en cuestión. Los humedales de flujo horizontal que utilizan suelo presentan el potencial de remover aún más el fósforo y el amoníaco. En los sistemas de flujo vertical, gracias al flujo intermitente, es beneficioso restablecer las condiciones aeróbicas y absorber el amoníaco. Sin embargo, el uso de grava en sistemas de humedales limita la capacidad de eliminación de fósforo (Yang et al., 2015).

En estanques de tratamiento de aguas residuales, se utilizan comúnmente dos tipos principales de macrófitos: plantas acuáticas flotantes y sumergidas. Las plantas flotantes sumergidas absorben dióxido de carbono según sus necesidades de oxígeno, mientras que la turbidez del agua inhibe el crecimiento de las plantas sumergidas (Yang et al., 2015).

Los humedales artificiales, como los de flujo vertical subterráneo (FSSV), distribuyen uniformemente el agua en el lecho del río, eliminando los principales contaminantes de carbono, nitrógeno y fósforo (Reyes et al., 2011). A menudo, se emplean como equipo auxiliar, compuesto por dos etapas: una con dos celdas de flujo verticales y otra con una

celda de flujo horizontal. Este diseño busca lograr la depuración eficiente de las aguas residuales, destacando la ventaja de restaurar condiciones aeróbicas durante las sequías.

Según lo afirmado por Ramírez et al. (2009), la eficacia del proceso de purificación depende de la aireación del sustrato. Además, este mecanismo tiene propensión a obstruirse, por lo que se recomienda reducir la carga orgánica a 25 g DQO/m<sup>2</sup> por día. Al utilizar el sistema de manera rotatoria, se facilita la oxigenación de la cama y se otorga al sistema períodos de descanso para el secado del lecho.

De acuerdo con Foladori et al. (2013), los humedales de flujo vertical con recirculación y funcionamiento intermitente, incluso con cargas elevadas, permiten una mejor incorporación al lecho del humedal, y por ende, la sedimentación. El oxígeno aumenta y purifica la DQO y el NO<sub>3</sub> reduciendo así la superficie. Los humedales utilizados en estos sistemas son particularmente adecuados para todos los humedales construidos en áreas montañosas donde el espacio es limitado.

En resumen, los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de aguas residuales diseñados para replicar las funciones de los humedales naturales en la purificación del agua. Estos sistemas pueden clasificarse en varios tipos o variedades según su diseño y función principal. Algunos de los tipos de humedales artificiales más comunes incluyen:

Humedales de flujo superficial (HF): En estos sistemas, el agua fluye de manera superficial a través de un área con vegetación acuática y sustrato diseñado para eliminar contaminantes. Los HF se asemejan a los humedales naturales de zonas húmedas (Vymazal, 2011).

Humedales de flujo subsuperficial (HFS): En lugar de fluir en la superficie, el agua en los HFS se mueve a través de un medio filtrante por debajo de la superficie del agua. Esto permite una mayor eliminación de contaminantes debido a la interacción con el sustrato y las raíces de las plantas (Vymazal, 2011).

Humedales de flujo vertical (HFV): En estos sistemas, el agua fluye hacia arriba a través de capas de sustrato y plantas acuáticas en lugar de moverse horizontalmente. Esto promueve una mayor oxigenación y una eliminación eficiente de contaminantes (Vymazal, 2011).

Humedales de tratamiento de aguas residuales (HTAR): Estos humedales artificiales se diseñan específicamente para tratar aguas residuales domésticas o industriales. Pueden combinar varios tipos de humedales, como los mencionados anteriormente, para lograr una eliminación eficaz de contaminantes (Vymazal, 2011).

Humedales construidos para la conservación (HCC): Aunque la principal función de los humedales artificiales es el tratamiento de aguas residuales, también se pueden diseñar para la conservación de la biodiversidad y la restauración ecológica. Estos humedales se utilizan para mantener hábitats naturales y fomentar la vida silvestre (Vymazal, 2011).

Humedales artificiales de escorrentía urbana (HAEU): Diseñados para controlar la escorrentía de aguas pluviales en áreas urbanas, estos humedales ayudan a reducir la contaminación del agua, prevenir inundaciones y mejorar la calidad del agua antes de que llegue a ríos o cuerpos de agua cercanos (Vymazal, 2011).

Humedales artificiales de aireación (HAA): Estos sistemas utilizan cascadas o aireación mecánica para introducir oxígeno en el agua, lo que estimula la descomposición de contaminantes y la eliminación de sustancias nocivas (Vymazal, 2011).

Humedales artificiales de fitodepuración (HAF): Se diseñan para eliminar contaminantes específicos, como metales pesados o nutrientes, utilizando plantas especializadas y sustratos diseñados para retener los contaminantes (Vymazal, 2011).

Humedales artificiales de aguas grises (HAAG): Estos sistemas se utilizan para tratar aguas grises, que son aguas residuales de origen doméstico o comercial que no

contienen aguas negras (aguas residuales de inodoros). Ayudan a reciclar y reutilizar el agua en aplicaciones no potables, como el riego de jardines (Vymazal, 2011).

Desde una perspectiva funcional, los macrófitos acuáticos se pueden clasificar en varias categorías según la relación de las especies con su entorno y sus formas de crecimiento (Cirujano, et al., 2011).

En la categoría de plantas acuáticas o macrófitas en sentido estricto, se incluyen aquellas en las que todas las estructuras vegetales están sumergidas o flotando. Este grupo abarca plantas vasculares, ciertos géneros de briófitas, carófitas y algas filamentosas, que pueden estar arraigadas al sustrato o flotar libremente en el agua. Estas plantas son consideradas los mejores indicadores de la condición del hábitat acuático. Algunos ejemplos de este grupo incluyen las Hierbas de estanque (todas las especies del género *Epiphyllum*), *urophyllum* spicatum, hierba boca de dragón (*Ceratophyllum demersum*), lenteja de agua (especies de lenteja de agua), nenúfares (*Nymphaea* y *Nymphaea*), entre otros.

Helófitos: plantas acuáticas de áreas anegadas con la mayoría de sus órganos vegetativos (hojas, tallos y flores) emergiendo. Se encuentran en los bordes de lagunas, estanques y llanuras aluviales poco profundas. A menudo exhiben un sistema de rizomas que permite a los individuos expandirse bajo tierra, colonizando así rápidamente las áreas que habitan.

Las plantas mencionadas, como el Carrizo (*Phragmites australis*), Tatora (*Typha domingensis*), Junco (*Schoenoplectus lacustris*), Castañuelas (*Boloschoenus maritimus*), y Junco (*Butomus umbellatus*), son menos efectivas como indicadores de la calidad del ecosistema en comparación con las plantas acuáticas, según indica Cirujano et al. (2011).

En la categoría de Hidrófita o planta marginal se incluyen aquellas que crecen en suelos húmedos en los bordes de humedales, a menudo acompañadas de hidrófitas. Algunos

ejemplos de estas plantas son el borde de apio (*Apium nodiflorum*), berro (*Rorippa nasturtium-aquaticum*), entre otros (Cirujano et al., 2011).

En la selección de especies vegetales para humedales artificiales, factores como la composición de contaminantes en el agua, las condiciones climáticas y la disponibilidad local de plantas pueden influir. En la cabecera de la subcuenca del río R. Yaranga Shullcas, ubicada en la región Junín (Sierra Central del Perú), donde la temperatura media anual oscila entre 3,0 a 1,5 °C, se observa la predominancia de plantas de la familia Poaceae, Juncaceae y Rosaceae (Chanamé et al., 2019).

A pesar de la variabilidad en la selección de especies, algunas plantas son frecuentemente consideradas efectivas en la fitodepuración de aguas residuales, como es el caso de los juncos pertenecientes al género *Juncus*, que son comúnmente utilizados en humedales artificiales. Son resistentes y pueden tolerar una amplia variedad de condiciones ambientales. Su sistema de raíces densas proporciona un entorno propicio para la biodegradación de contaminantes. No hay autores específicos destacados en relación con los juncos, ya que su uso es ampliamente reconocido (Bustamante & Pérez, 2019).

**Cyperus (Género *Cyperus*):** Es un género de plantas que incluye especies como el espadaña (*Cyperus papyrus*) y el ciprés del pantano (*Cyperus involucratus*). Estas plantas son populares en humedales artificiales debido a su capacidad para eliminar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo del agua (Muñoz & Vásquez, 2020).

**Lirio acuático (Género *Nymphaea*):** El lirio acuático es conocido por sus hojas flotantes y flores atractivas. También es eficaz en la fitodepuración, ya que sus raíces y hojas proporcionan un hábitat para bacterias beneficiosas que ayudan a eliminar contaminantes (Jabar & Odusote, (2021).

Scirpus (Género Scirpus): Al igual que los juncos, las especies de Scirpus, como el junco bulrush (Scirpus lacustris), son conocidas por su capacidad para eliminar contaminantes y proporcionar hábitats adecuados para microorganismos beneficiosos (Ismail et al, 2020).

Typha (Género Typha): Comúnmente conocido como el espadaña o lirio de agua grande, el Typha es una planta que se encuentra comúnmente en humedales artificiales. Su sistema de raíces ayuda en la eliminación de nutrientes y contaminantes (Torres 2018).

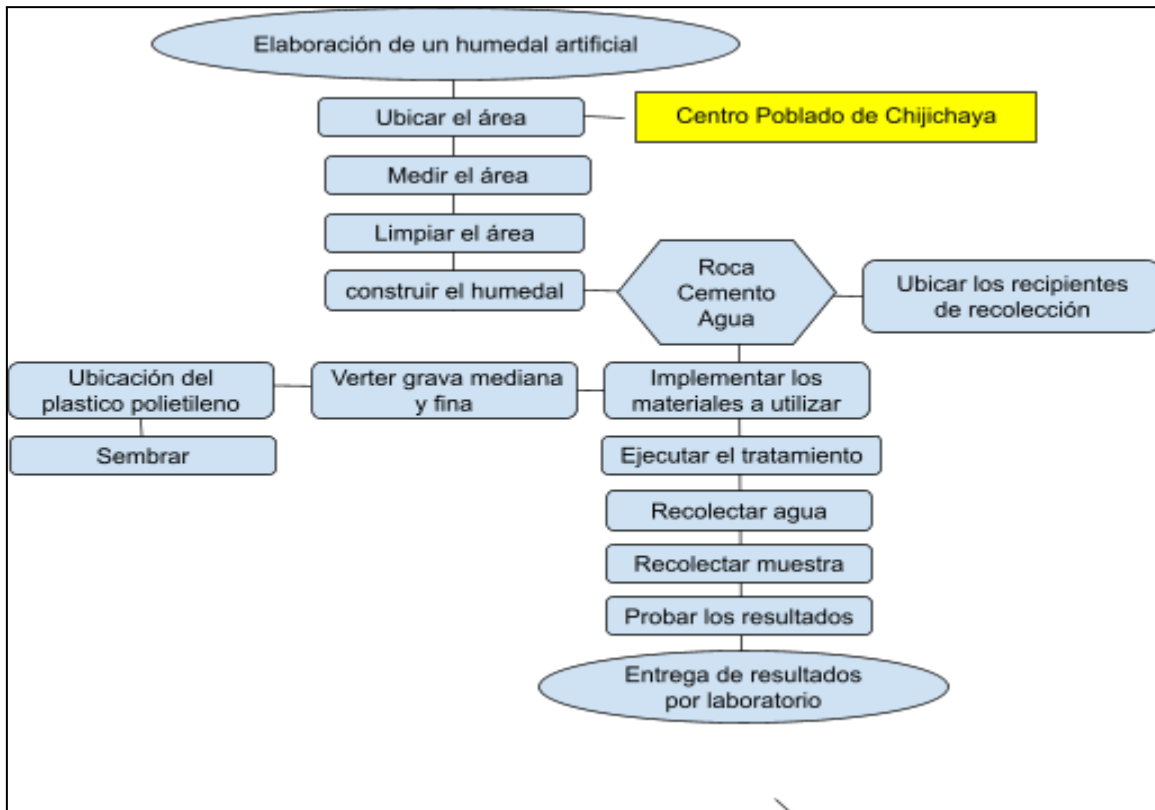
*Phragmites australis*: Esta planta, también conocida como caña común, es eficaz en la eliminación de contaminantes orgánicos y nutrientes (Vymazal, 2011).

Salix (Género Salix): Los sauces, como el sauce blanco (Salix alba), se utilizan en humedales artificiales debido a su capacidad para acumular metales pesados y reducir la carga de contaminantes (Wagner & Hörandl , 2021).

Es importante tener en cuenta que la selección de especies vegetales en un humedal artificial debe ser específica para cada proyecto y basarse en un análisis detallado de las necesidades de tratamiento de agua y las condiciones locales. Además, la investigación en el campo de la fitodepuración es continua, y nuevos estudios y descubrimientos pueden influir en las recomendaciones de plantas efectivas en el futuro.



## Procedimiento para la elaboración de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el Centro Poblado de Chijichaya – Puno.



**Figura 01:** Procedimiento para la elaboración de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales.

**Fuente:** Adaptación de Guerra (2022)

La **primera etapa** del proceso de implementación del humedal artificial en el centro poblado de Chijichaya (Puno) implica ubicar el área adecuada. El área se mide con una longitud de 3 m, un ancho de 1 m, una profundidad de 60 cm y una pendiente de 1°. Luego se lleva a cabo la limpieza del área donde se construirá el humedal y se adquieren los **materiales necesarios**.

La **segunda etapa** se enfoca en la construcción del humedal artificial. Comienza seleccionando rocas y colocándolas alrededor del perímetro del área. Luego se sella el área utilizando una mezcla de cemento, tierra y agua. Una vez que el sellado de rocas

alrededor del perímetro del humedal está sólido, se coloca una capa de plástico de polietileno de PVC.

**En la tercera etapa**, se realiza la implementación del humedal artificial. En esta etapa, se vierte grava mediana en ambos extremos del área del humedal, con una cantidad de 0.3 m<sup>3</sup> para cada extremo. Además, se vierte grava fina en el centro del humedal, con una cantidad de 1.2 m<sup>3</sup>. Luego se siembran los plantones de la especie seleccionada y se colocan recipientes para la recolección del agua para su posterior tratamiento. También se instalan tubos de PVC de media pulgada para la derivación del agua hacia los recipientes de tratamiento del agua.

**En la cuarta etapa**, se inicia la ejecución del humedal artificial recolectando agua residual en el humedal. Después de cinco días, se recoge una muestra del agua para realizar pruebas de acuerdo con las normas de monitoreo.

**En la quinta y última etapa**, denominada prueba y diagnóstico, se evalúa la muestra del agua recogida en el laboratorio. Se analizan los parámetros físicos y químicos del agua para evaluar los resultados y determinar la calidad del agua tratada en el humedal artificial.

En términos de costo, el presente humedal artificial ofrece varias ventajas. En primer lugar, es un sistema de bajo costo, lo que lo hace económicamente accesible. Además, es fácil de operar y no requiere ningún costo de energía adicional, lo que lo hace eficiente desde el punto de vista energético.

Otra ventaja en términos de costo es que tiene una vida útil de 25 años. Esto significa que el costo total de implementación, operación y mantenimiento a lo largo de ese período es bajo, lo que lo convierte en una opción económica y práctica para el tratamiento de aguas residuales.

Además, el humedal artificial requiere una potencia mínima para su funcionamiento, lo

que contribuye aún más a su eficiencia energética y a la reducción de costos.

En cuanto al mecanismo de remoción de contaminantes, el humedal artificial es capaz de eliminar sustancias como el nitrógeno, nitrato, nitrito y fósforo. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la mayoría de los contaminantes presentes en el agua no son completamente degradables, lo que implica que el humedal no logrará eliminarlos en un 100%. A pesar de esto, los humedales artificiales siguen siendo una opción efectiva y rentable para mejorar la calidad del agua tratada.

### **Diseño de un humedal artificial a nivel colectivo (multifamiliar)**

El centro poblado de Chijichaya, ubicado a una altitud de 3850 metros sobre el nivel del mar, se lleva a cabo un proceso tradicional de elaboración de un alimento esencial conocido como "tunta". Este proceso cobra vida durante la estación invernal, cuando los rigores del frío y las heladas azotan la región en los meses de mayo, junio, julio y agosto.

La elaboración de la tunta es una actividad que involucra a toda la comunidad, desde hombres hasta mujeres, y desde los más pequeños hasta los más ancianos. Es común observar familias enteras unidas en la tarea de preparar este alimento. La tunta no solo ocupa un lugar importante en la dieta diaria de estas familias, sino que también es un producto estratégico en términos económicos. Este alimento encuentra un mercado demandante debido a su buena relación calidad-precio, y se distribuye en todo el país.

Sin embargo, la producción de tunta también tiene una repercusión negativa en el medio ambiente. La alta carga de materia orgánica resultante de este proceso termina afectando gravemente al Río Huenque que atraviesa la región.

La contaminación del río es una preocupación ambiental que la comunidad debe abordar para garantizar la sostenibilidad y la conservación de su entorno natural. Por lo tanto, es crucial encontrar formas de minimizar el impacto ambiental de la producción de tunta mientras se valora y promueve esta valiosa tradición cultural.

## **Proceso constructivo**

Para este proceso se realizará reuniones participativas con la población con la finalidad que formen parte del proceso constructivo. Es decir, el proceso constructivo se realizará de forma participativa con la comunidad del Centro Poblado de Chijichaya (Trabajo comunitario para la construcción del humedal artificial), quienes aportarán con la mano de obra, previa firma del acta con el compromiso por parte de la junta directiva para el inicio del proyecto. El maestro de obra de la comunidad será capacitado para la construcción de las celdas del humedal.

## **2.2. MARCO CONCEPTUAL**

### **Humedales naturales**

Los humedales naturales engloban todas las regiones que experimentan inundaciones de manera temporal o permanente, ya sea con agua dulce o salada, y cuya flora se ha adaptado para prosperar en suelos saturados. Estos ecosistemas ribereños cumplen la función de sumideros de nutrientes para el escurrimiento provenientes de áreas elevadas, estableciéndose como esenciales amortiguadores entre tierras de cultivo, cursos de agua, entre otros (Vymazal, 2011).

### **Ecosistema de los Humedales**

Los humedales se caracterizan por su transición entre los ecosistemas terrestres y acuáticos. Por lo general, se encuentran en zonas de llanuras inundadas cerca de ríos, lagos o áreas costeras. Algunos humedales pueden incluso existir de manera aislada, obteniendo su suministro de agua de las aguas subterráneas (FUNDACIÓN AQUAE.ORG, 2021).

### **Humedales artificiales**

Los humedales artificiales, contruidos por el ser humano, se clasifican en dos categorías principales: humedales de flujo libre, que involucran sistemas de plantas flotantes sin restricciones, y humedales subterráneos, que incluyen sistemas de plantas con raíces.

Así mismo los humedales subterráneos se subdividen en sistemas de flujo horizontal y sistemas de flujo vertical (Arteaga et al., 2019).

### **Humedal superficial**

Los humedales superficiales o de flujo libre se refieren a estanques o corrientes de agua donde la superficie del agua está directamente expuesta a la atmósfera y alberga plantas macrófitas (Arteaga et al., 2019).

### **Humedal subterráneo**

Los humedales subterráneos se caracterizan por ser un estanque en el cual se incorporan bases porosas, compuesta por materiales como arena, grava u otros tipos de suelo rugoso, y se introduce vegetación (Arteaga et al., 2019).

### **Macrófitas**

Existen dos categorías principales de macrófitas que se emplean con mayor frecuencia en el tratamiento de aguas residuales en estanques: plantas acuáticas flotantes y sumergidas. Las plantas flotantes absorben dióxido de carbono según sus requisitos de oxígeno, mientras que la presencia de turbidez afecta el desarrollo de la vegetación sumergida (Yang et al., 2015).

## **2.3. MARCO NORMATIVO**

### **2.1.2. NORMA LEGAL**

En Perú, el marco normativo busca lograr la adecuación ambiental de toda actividad económica.

#### **Ley General del Ambiente N° 28611**

Toda persona tiene el derecho irrenunciable de gozar de un ambiente saludable, adecuado y equilibrado para el desarrollo pleno de la vida humana. (MINAM, 2009)

El artículo 74 de la Ley General del Ambiente N° 28611, contempla, como medidas de seguridad que está prohibido descargar sustancias contaminantes que generan degradación de los ecosistemas o alteren la calidad del ambiente, sin previamente ser tratadas, correspondiendo a la autoridad competente aplicar medidas de control.

### **Estándar de Calidad Ambiental**

El ECA es la medida para determinar los niveles de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, ya sea en el aire, el suelo o el agua, que no supongan un riesgo significativo para el ser humano en las condiciones del receptor, ni para el medio ambiente. (MINAM, 2008)

### **Límite Máximo Permisible (LMP)**

Es una medida de la concentración de una sustancia o de los parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan las emisiones que al ser superada puede causar daños a la salud y al medio ambiente. (MINAM, 2010)

### **Norma OS-090. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

El D.S. N° 011-2006-VIVIENDA aprobó la norma OS-090, la cual fue modificada mediante el D.S. N° 022-2009-VIVIENDA; en el numeral 3.116, contempla el reúso de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico. (NORMA OS.090, 2006).

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **HIPÓTESIS GENERAL**

Es factible proponer un diseño de humedal artificial para tratamiento de aguas residuales en base a una revisión sistemática de tipos de humedales artificiales y especies vegetales para el centro poblado de Chijichaya – Puno.

### **HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

Dado que, las hipótesis son proposiciones relacionales (Abreu, 2012); y como el presente estudio corresponde a un enfoque mixto y diseño descriptivo y univariable, no es

necesario que se consigne a priori las hipótesis específicas ya que son los objetivos los que verdaderamente guían la presente investigación (Hernández et al, 2014).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. ZONA DE ESTUDIO

Las zonas de estudio en la presente investigación comprende varias investigaciones (revisión sistemática de artículos científicos e informes de investigación sobre humedales artificiales) relacionadas con diferentes lagos (Lago de Xochimilco, en México; Lago Dongqian, en China; Lago Bolsena, en Roma, Italia; Lago del Bosque de San Juan de Aragón, en México; Lago Chagan, en Kazajistán; Lago de Xuanwu, en China).

En Perú, el Centro Poblado de Chijichaya en Ilave (Puno) es la zona de estudio en la presente investigación con diseño de humedales artificiales como propuesta de solución para el tratamiento de aguas residuales en el lugar mencionado.



**Figura 02:** Mapa de Chijichaya, Ilave, Puno (vista de satélite)

**Fuente:** Portal Web: [Viajetop.com/pe/](http://Viajetop.com/pe/)



## **3.2. POBLACIÓN Y TAMAÑO DE MUESTRA**

### **3.2.1. POBLACIÓN**

La población para la propuesta del diseño de humedal se consideró 3,219 habitantes del Centro Poblado de Chijichaya distribuidos en 329 viviendas (Municollao.gob.pe, 2023), para dimensionar la capacidad del humedal artificial.

### **3.2.2. MUESTRA**

Para dimensionar el humedal artificial se consideró la población de habitantes y número de viviendas mencionadas en la población.

## **3.3 MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **a) Tipo de Investigación:**

El tipo de investigación es no experimental, ya que, no se manipuló variables porque se basó en explorar información con base en los resultados de investigación básica, las cuales dependen de las necesidades sociales a cubrir, (Hernández et al, 2014)

En esa línea, este estudio es investigación aplicada, ya que busca conocer los métodos y resultados de la investigación científica realizada como respuestas a preguntas frecuentes; por lo que es necesario realizar una investigación de los hechos o fenómenos ocurridos; además de orientarse en formar un sistema de conocimientos y conceptos. (Hernández et al, 2014)

### **b) Diseño de Investigación:**

La investigación corresponde al enfoque mixto ,ya que aplica técnicas de investigación bibliográfica a nivel exploratorio-descriptivo y narrativo tópico sin tratarlos numéricamente. Su enfoque se centra en la comprensión de los fenómenos y la exploración desde la perspectiva de los factores del entorno natural. Recopila y analiza datos para su proceso interpretativo. (Hernández et al, 2014)

### **c) Método:**

Se aplicó el método inductivo cualitativo basada en la recolección y análisis de datos cualitativos para generar teorías o conceptos a partir de observaciones y patrones emergentes, el método deductivo que parte de teorías previas, utilizando información detallada y análisis de documentos (investigaciones relacionadas a humedales y especies eficaces en la remoción de parámetros contaminantes de las aguas residuales).

Los datos se examinaron y categorizaron en busca de patrones, temas y conceptos emergentes. Este enfoque permitió obtener una comprensión profunda del problema, aunque los resultados no son generalizables estadísticamente debido a la naturaleza subjetiva de la interpretación de los datos. Se centró en la comprensión contextualizada del fenómeno estudiado.

d) **Materiales:**

— Equipos informáticos y de escritorio.

e) **Técnica de recolección de datos:**

La técnica de recolección de datos que se aplicó es el análisis documental. (Hernández et al, 2014);

f) **Instrumentos de recolección de datos:**

Se utilizaron fichas de análisis de documentos. (Hernández et al, 2014).

Ver en Anexo 3.

g) Dada la naturaleza mixta con mayor enfoque cualitativo en este estudio, no se aplicó técnicas estadísticas para procesar la información, cada vez que se analizaron e interpretaron datos cualitativos para realizar la propuesta de diseño de un humedal (Hernández et al, 2014); para su discusión y diseño.

### **3.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES / CATEGORÍAS**

El presente estudio presenta un enfoque mixto, narrativo de diseño tópico, cuyo propósito es comprender y analizar conocimientos relacionados con el tema de investigación. Al ser

un estudio mixto por la propuesta de diseño, no resulta pertinente realizar la matriz de operacionalización de variables, en su lugar se emplearon "categorías". (Hernández et al, 2014)

**Categoría:** Tipos de humedales artificiales

**Subcategoría:**

- Flujo libre.
- Flujo subsuperficial horizontal.
- Flujo subsuperficial vertical.

**Categoría:** Plantas más usadas en los tipos de humedales artificiales.

**Subcategoría:**

- Plantas acuáticas flotantes.
- Plantas acuáticas sumergidas.
- Plantas acuáticas emergentes.

### 3.5 METODOLOGÍA POR OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Por su naturaleza cualitativa, un diseño estadístico no aplica en este estudio. En ese sentido, se describen las estrategias que se siguieron para lograr cada uno de los objetivos específicos planteados en la presente investigación:.

**Para lograr el objetivo específico 1:** Analizar sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar los más apropiados para el tratamiento de aguas residuales para el Centro Poblado Chijichaya. Después de haber revisado varios artículos en revistas indexadas y repositorios de universidades, se procedió a consignar por medio de una tabla, la INVESTIGACIÓN, el AUTOR, el AÑO, el TIPO DE HUMEDAL y el AFLUENTE, de tal modo que así se logró Identificar los tipos de humedales artificiales más apropiados para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.

**Para lograr el objetivo específico 2:** Revisar y analizar las especies de vegetales más

eficaces en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya. Después de una revisión sistemática las especies de vegetales en artículos seleccionados, se procedió a consignar mediante una tabla, el AUTOR, el AÑO y las ESPECIES DE VEGETALES EN LOS TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES, para facilitar la Identificación de las especies de vegetales más eficaces en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya considerando las condiciones ambientales de la zona.

**Para lograr el objetivo específico 3:** Proponer un diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Chijichaya – Puno. Después de haber analizado los artículos seleccionados, se procedió a realizar el diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Chijichaya - Puno, determinando las medidas a criterio del investigador, el área superficial del humedal, el largo, el ancho y la altura. Con relación al sustrato, se sugiere la colocación de grava de acuerdo a los materiales requeridos en humedales según diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSH).

## CAPÍTULO IV

### EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. REVISIÓN DE TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES Y ELECCIÓN ADECUADA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CENTRO POBLADO CHIJICHAYA.

**Tabla 01:** Tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales.

Investigación	Autor	Año	Según su tipo	País
Remoción altamente eficiente de nitrógeno y fósforo en un humedal construido con flujo subterráneo horizontal integrado por electrólisis modificado con biocarbón.	Gao et al.	2018	FL-HF	China
HA de flujo subterráneo a gran escala para el tratamiento de aguas residuales domésticas.	Aydın et al.	2018	HF	Turquía
HA, una alternativa para la depuración de aguas residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. DisTecD. Diseño y Tecnología para el Desarrollo, Bolivia.	Carvajal et al.	2018	FL-HF	Bolivia
HA, con la especie <i>Typha Dominguensis</i> para el tratamiento de aguas grises domésticas, AA.HH. San Benito – Carabaylo, 2017.	Torres	2018	HF-VF	Perú
Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver ( <i>chrysopogon zizanioides</i> ) en HA la	Rojas	2018	HF-VF	Perú

comunidad de Santa Rosa, distrito Chota, 2017.

Evaluación de la eficiencia de HA en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco typha sp y vetiver chrysopogon zizanioides en el distrito de Saposoa". Universidad Peruana Unión, San Martín, Tarapoto.

Bustamante et al. 2019 HF-VF Perú

Tratamiento de aguas residuales municipales mediante humedal artificial de flujo subterráneo vertical: recopilación de datos sobre la eficiencia de eliminación utilizando Phragmites Australis y Cyperus Papyrus.

García 2020 VF Ecuador

Un estudio a pequeña escala de la orientación de las plantas en el desempeño del tratamiento de humedales artificiales de flujo vertical en flujo continuo.

Nema et al. 2020 VF India

Los HA como soluciones basadas en la naturaleza para eliminar contaminantes orgánicos de las aguas residuales en condiciones de flujo irregular en un clima tropical.

Haddis et al. 2020 HF Etiopía

HA: Una alternativa para el postratamiento de aguas residuales agroindustriales.

Valencia, N. R. 2020 FL-HF Colombia

Evaluación de tres tipos de HA (ornamental, forrajero, alimenticio) como depurador de aguas residuales grises en el bosque de la ESPAM.

Mendoza & Párraga 2021 HF-VF Ecuador

Análisis del uso de HA empleando plantas macrofitas para el tratamiento de aguas residuales en el ámbito rural, Apurímac.

Céspedes 2021 HF-VF Perú

Elaboración de humedal artificial con <i>Schoenoplectus americanus</i> (Junco) para la depuración de aguas residuales domésticas en Santa Rosa – <b>Jicamarca</b> .	Guerra	2022	HF-HF	<b>Perú</b>
HA flotantes y su valor paisajístico en ríos urbanos-Ciudad de Panamá.	Del Valle-Borrero, D. M., Medina, J. R. & Fuentes, K.	2022	HAF	Panamá

Nota: **HF** = flujo horizontal, **VF** = flujo vertical, **FL** = flujo libre superficial (superficie de agua libre); y **HAF** = (humedales artificiales flotantes).

Dado que una revisión sistemática se enfoca en la recopilación y síntesis cualitativa de la evidencia disponible, se presentan los resultados de la revisión y análisis de los humedales artificiales más apropiados para el tratamiento de aguas residuales los cuales se evidencian y se puede observar en la Tabla 1. Los humedales de flujo horizontal, según Vymazal (2014), menciona que mantienen condiciones anóxicas para permitir la desnitrificación, ya que los humedales de flujo vertical favorecen la nitrificación al mantener condiciones aeróbicas; sin embargo, la combinación de ambos tipos de humedales conocidas como humedales mixtos en tándem, puede quitar eficientemente el nitrógeno total, Según Torres et al. (2017), esta combinación de humedales ofrecen una mayor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales en diversas etapas del proceso. Por su parte Vymazal (2009) refiere que otra combinación efectiva es el uso del sistema de flujo superficial junto con el sistema de flujo subsuperficial, la elección de la combinación depende de los contaminantes presentes, ya que cada sistema combinado se desempeña mejor para diversos tipos de contaminación. De acuerdo con Zhang et al. (2017), los humedales artificiales se utilizan principalmente para eliminar materia orgánica y nutrientes presentes en aguas grises, pluviales y escorrentías agrícolas; destacando que los fertilizantes utilizados en la agricultura especialmente los que contienen fosfatos, pueden filtrarse hacia las aguas subterráneas a través de la escorrentía de las tierras

agrícolas. Finalmente Vymazal (2014) sostiene que los humedales construidos con flujo subsuperficial horizontal (FSSH) pueden reemplazar el tratamiento secundario convencional ya que estos humedales son sistemas porosos saturados en los cuales se planta vegetación emergente, además de su función en el tratamiento de aguas residuales, estos humedales desempeñan un papel importante en la prevención de la salinización secundaria del suelo.

De acuerdo al análisis de la información recolectada en diferentes fuentes como revistas indexadas y repositorios sobre las características y ventajas ofrecidas se propone el humedal artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSH).



#### 4.2. ANÁLISIS DE LAS ESPECIES VEGETALES MÁS EFICACES EN HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL CENTRO POBLADO CHIJICHAYA.

**Tabla 02:** Especies de vegetales más eficaces en humedales artificiales y naturales para el tratamiento de aguas residuales.

Año	Autor	Especies de vegetales más eficaces	País/Región / Distrito
2008	Siguayro	En Puno y Capaso, destacaron la presencia <i>Distichia muscoides</i> (20,92%), <i>Plantago tubulosa</i> (11,92%) y <i>Werneria pygmaea</i> (8,17%) en el humedal de Macusani; y, en el humedal de Santa Rosa la <i>Scirpus rigidus</i> (11,08%), <i>Plantago tubulosa</i> (8,75%) y <i>Deyeuxia rigescens</i> (7,25%).	Perú - Puno -Capaso - Macusani - Santa Rosa
2018	Coarite	El uso de la Totora en planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Universidad Mayor De San Andrés Facultad, 155 Totora ( <i>Scirpus californicus</i> ) <i>Typha</i> , <i>Scirpus</i> , <i>Phragmites</i> y <i>Carex totorilla</i>	Bolivia
2018	Cui, Yuan Xiao Rong Xie, Ying Zhang, Mingxiang	- La especie macrófita emergente <i>Typha domingensis</i> (totora) 94% a 96% - La especie macrófita flotante <i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver) 88% a 90%. - La especie macrófita emergente <i>Junco</i> ( <i>Juncus</i> sp) 70% a 78%, - Especie macrófita emergente carrizo ( <i>phragmites australis</i> ) 68% a 89%, - Especie macrófita <i>Cyperus papyrus</i> (Papiro) 52% a 54%.	China

2018	Gao, Yan Zhang, Wen Gao, Bin Jia, Wen Yang, Liuyan	- Especie macrófita emergente Typha dominguensis (totora) 94% a 96% - Especie macrófita flotante Chrysopogon zizanioides (Pasto vetiver) 88% a 90%. - Especie macrófita emergente Junco (Juncus sp) 73% a 78%, - Especie macrófita emergente carrizo (phragmites australis) 68% a 89%, - Especie macrófita Cyperus papyrus (Papiro) 50% a 55%.	China
2018	Aydın Temel et al.	- Las eficiencias de remoción promedio para la DBO, DQO y SST, fueron del 65.5%, 43.5% y 22%, respectivamente	Turquía
2018	Rojas, M.	- Especie vetiver (Chrysopogon Zizanioides) Con porcentaje de remoción: 99,53% (turbidez), 95,51%(SST), 83,89% (DBO5), 72,97% (DQO) 88.89% (Aceites y grasas), 99.99% (Coliformes Termotolerantes), 47% (pH) y con una temperatura promedio de 22°C.	Perú. Distrito Chota
2019	Bustamante Dávila, E. Pérez Ruiz, W. T.	- Especie junco typha sp : Eficiencia de remoción de la DBO del 78% - Especie vetiver (Chrysopogon Zizanioides): Eficiencia de remoción de la DBO del 89 % . -Eficiencia de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) con la especie junco: 78%, y con la especie vetiver: 90% . -Eficiencia de remoción de sólidos totales en suspensión (SST) con la especie junco: 89% y con la especie vetiver: 94%. -Eficiencia de remoción de aceites y grasas con la especie junco:81%, y con la especie vetiver: 76%.	Perú. San Martín, Tarapoto.
2020	García-Ávila, F.	La eficiencia en la remoción promedio de la DBO, DQO y SST, fue del 61%, 59% y 52%, respectivamente.	Ecuador
2020	Nema, Yadav y Christian	La eficiencia en la remoción promedio de la DBO, DQO y SST, fue del 83%, 55.5% y 61%, respectivamente.	India
2020	Haddis, Van der Bruggen y Smets.	La eficiencia en la remoción de la DBO, DQO y SST, fue del 78.5%, 63.5% y 76%, respectivamente.	Etiopía

2021	Céspedes Pillaca, R. V.	- Especies macrófitas: <i>Schoenoplectus californicus</i> (totora) y <i>Phragmites australis</i> (carrizo). - Especie <i>Schoenoplectus californicus</i> (totora): alto grado de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de 98.58% . - Especie <i>Phragmites australis</i> (carrizo): alto grado de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) de 98.55% . - Especie <i>Schoenoplectus californicus</i> n (totora): alto grado de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) de 92.96% - Especie <i>Phragmites australis</i> (carrizo): alto grado de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) de 93.83% .	Perú Apurímac
2021	Mendoza Chavarría, C. J. & Párraga Mendoza, A.J.	Ornamental: Especie <i>Eichhornia crassipes</i> , Forrajero: Especie <i>Chrysopogon zizanioides</i> , presenta mayor efectividad de remoción de parámetros contaminantes que oscila entre los rangos: 86% a 90%.	Ecuador Calceta
2022	Del Valle Borrero, D. M., Medina, J. R. & Fuentes, K.	<i>Juncus effusus</i> en humedales artificiales flotantes para tratamiento de nitrógeno y sedimentos. <i>Lemna gibba</i> en humedales artificiales flotantes para tratamiento de aguas residuales.	Ciudad de Panamá.
2022	Guerra Marín, J.	<i>Schoenoplectus americanus</i> ( <b>junco</b> ) logró un óptimo tratamiento y presenta mayor efectividad de remoción de parámetros contaminantes que oscila entre los rangos: 80% a 88%. Sólidos totales disueltos de 99.69% de remoción. Sólidos suspendidos de 88.41% de remoción. DBO de 76.47% de remoción. DQO de 75.36% de remoción. Turbidez de 93.77% de remoción.	Perú Santa Rosa – Jicamarca

La Tabla 2, permite identificar las especies de vegetales más eficaces en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales con respecto al promedio del porcentaje de remoción que oscila entre los siguientes rangos: 1. *Typha dominguensis* 93% a 97%, 2. *Chrysopogon zizanioides* 88% a 90%; 3. **Juncus sp 70% a 80%**, otra importante especie es la **Totora (*Scirpus californicus*)** cumpliendo la función de purificar el agua desde un nivel secundario a un nivel avanzado, mejorando la calidad de las mismas hasta alcanzar niveles de aguas aptas para riego e incluso como aguas crudas

en el proceso de potabilización (Coarite, 2018). por su parte Muñoz y Vásquez (2020) investigaron la remoción en porcentajes de DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) en estado sólido total al mantenerse en suspensión, así como la remoción de coliformes termotolerantes, utilizando diferentes especies de macrofitas. Los resultados obtenidos indicaron que todas las especies macrofitas estudiadas (*Cyperus papyrus*, *Phragmites australis*, *Typha dominguensis*, *Chrysopogon zizanioides* y ***Juncus sp***) lograron remociones significativas en los parámetros mencionados; los porcentajes de remoción conseguidos para cada de las especies fueron: *Juncus sp*: 74.13% a 81.67%, *Phragmites australis*: 67% a 89.5%, *Typha dominguensis*: 93.57% a 96.77%, *Chrysopogon zizanioides*: 88.09% a 91% y *Cyperus papyrus*: 50.8%.

Estos resultados sugieren que todas las especies macrofitas estudiadas tienen la capacidad de remover eficientemente los parámetros de DBO5, DQO y coliformes termotolerantes en el agua o el sustrato en estado sólido. Cabe destacar que cada especie puede tener diferentes eficiencias de remoción, necesitando más investigaciones para determinar las condiciones óptimas de aplicación y los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes por parte de estas macrofitas; en concordancia Muñoz & Vásquez (2020) concluyeron que las totoras son las especies más efectivas para eliminar contaminantes de las aguas residuales domésticas.

Los investigadores han identificado dos tipos principales de macrofitas comúnmente utilizados en el tratamiento de aguas residuales en estanques: plantas acuáticas flotantes y plantas acuáticas sumergidas. Las plantas flotantes absorben dióxido de carbono de acuerdo con sus necesidades de oxígeno, mientras que la vegetación sumergida se ve afectada por la presencia de turbidez en el agua. finalmente Siguyro (2008) en el Altiplano de Puno y humedal de Capaso destacó en puna húmeda, la presencia *Distichia muscoides* (20,92%), *Plantago tubulosa* (11,92%) y *Werneria pygmaea* (8,17%) estas en

el humedal de Macusani y en el humedal de Santa Rosa fueron importantes la *Scirpus rigidus* (11,08%), *Plantago tubulosa* (8,75%) y *Deyeuxia rigescens* (7,25%).

Todas las especies mencionadas constituyen un material apropiado para la depuración de aguas residuales a propagarse en el humedal propuesto dada su capacidad adaptabilidad a las condiciones ambientales de la zona.

#### **4.3. Propuesta de un diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Chijichaya – Puno.**

- **Ubicación política y geográfica del distrito de llave**

El distrito de llave se encuentra ubicado en el departamento de Puno, Perú, específicamente en la provincia de El Collao. Su ubicación geográfica está caracterizada por estar situado en el altiplano de los Andes centrales a una altitud superior a los 3850 metros sobre el nivel del mar. El área de estudio se centra en un tramo del río llave, que atraviesa el distrito de Oeste a Este. Además, en el distrito se encuentra el **centro poblado de Chijichaya**. El clima en esta región es propio del altiplano, presentando características frías, secas y templadas durante todo el año, aunque hay ligeras variaciones estacionales (Jines et al, 2022).

En cuanto a la accesibilidad, la ciudad de llave es el centro urbano más relevante en la cuenca del río llave lo que facilita el acceso a diferentes lugares de la zona. Desde la ciudad de llave, es posible acceder a cualquier punto de la cuenca utilizando una unidad móvil. La ruta para llegar al punto de muestreo en el área de estudio consiste en una carretera asfaltada hasta la mitad del recorrido, y luego se continúa por un camino en trocha hasta llegar al lugar requerido (Jines et al, 2022).

En relación al clima, en la región de la cuenca del río llave el año se divide en cuatro estaciones astronómicas, que se caracterizan por la actividad atmosférica y la circulación

de masas de aire. Sin embargo, desde el punto de vista climatológico, se distingue una estación húmeda que va de diciembre a marzo, una estación seca de mayo a agosto, y dos periodos de transición en abril y septiembre a noviembre. Durante la estación de primavera (septiembre-noviembre), verano (diciembre-febrero), otoño (marzo-mayo) e invierno (junio-agosto), el viento dominante proviene del norte-este en general. Otra característica relevante en esta región es la presencia de una anomalía causada por el intenso calentamiento del suelo árido (Jines et al, 2022).



**Figura 03:** Ubicación política y geográfica del distrito de Ilave.

**Fuente:** [www.google.maps](http://www.google.maps)

El centro poblado de Chijichaya está ubicado dentro del distrito de Ilave, provincia de El Collao, en la región de Puno.

### **Diseño del sistema de un humedal artificial de tratamiento**

Aquí se presenta esta propuesta debido a mi experiencia de un viaje de estudio por el cual tengo la sugerencia de dar la descripción del diseño de un humedal artificial de 25 m x 14 m x 0.80 m para tratar las aguas residuales de las actividades tradicionales del Centro Poblado de Chijichaya. El sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales se debe ubicar en las proximidades del Barrio Central Los Incas (Ver Figura 4) de esta comunidad, y a 100 metros del Río Huenque (Puno). Esta comunidad tiene 3,219 habitantes distribuidos en 329 viviendas (Municollao.gob.pe, 2023). Así mismo el centro poblado de chijichaya se dedica a la elaboración de tunta de esta manera incrementa la contaminación del río. Dicho sistema sería un proyecto importante para preservar el medio ambiente y evitar la contaminación del Río Huenque por lo que la presente propuesta de humedal artificial constituye una opción eficaz y sostenible para este propósito, considerando las principales características del sistema de un humedal artificial de tratamiento para el proyecto.

### **CÀLCULO PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL**

Para determinar las medias del humedal artificial, utilice como referencia la experiencia de un viaje de estudio en la ciudad de Achocalla – La Paz Bolivia, donde realice una visita a la empresa Flor de Leche la cual contaba con un humedal artificial, que compartía y beneficiaba a la ciudad de Achocalla; gracias a la exposición y recorrido por las instalaciones del ingeniero a cargo de la empresa, me fue de gran ayuda para determinar las medidas del humedal artificial (25 m de largo, 14 m de ancho y una altura máxima de 0.80 m), ya que las características son muy similares al centro poblado de chijichaya.

Para determinar la capacidad de un humedal artificial, puedes multiplicar las dimensiones (largo x ancho x profundidad). En este caso:

Capacidad del humedal = Largo × Ancho × Profundidad

Capacidad del humedal = 25 m × 14 m × 0.80 m

Capacidad del humedal = 280 m<sup>3</sup>

Para determinar la máxima carga orgánica (DBO/m<sup>2</sup> por día), necesitamos conocer la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) del agua residual que ingresa al humedal. La fórmula para la máxima carga orgánica sería:

Máxima Carga Orgánica = (Caudal de Ingreso×DBO del agua residual) /Área del humedal

Máxima Carga Orgánica = (2600 litros/d×100 mg/L) /350 m<sup>2</sup>

Calcula este valor para obtener la máxima carga orgánica en DBO/m<sup>2</sup> por día.

Máxima Carga Orgánica = 740 DBO/m<sup>2</sup> por día.

La pendiente de un humedal artificial en lo general tiene que variar de un 0.5 a 2% pero por lo regular se genera una pendiente ligera del 1%.



**Tabla 03:** Características generales del humedal artificial de tipo subsuperficial horizontal para el tratamiento de agua residual en el proyecto para el Centro Poblado de Chijichaya-Puno.

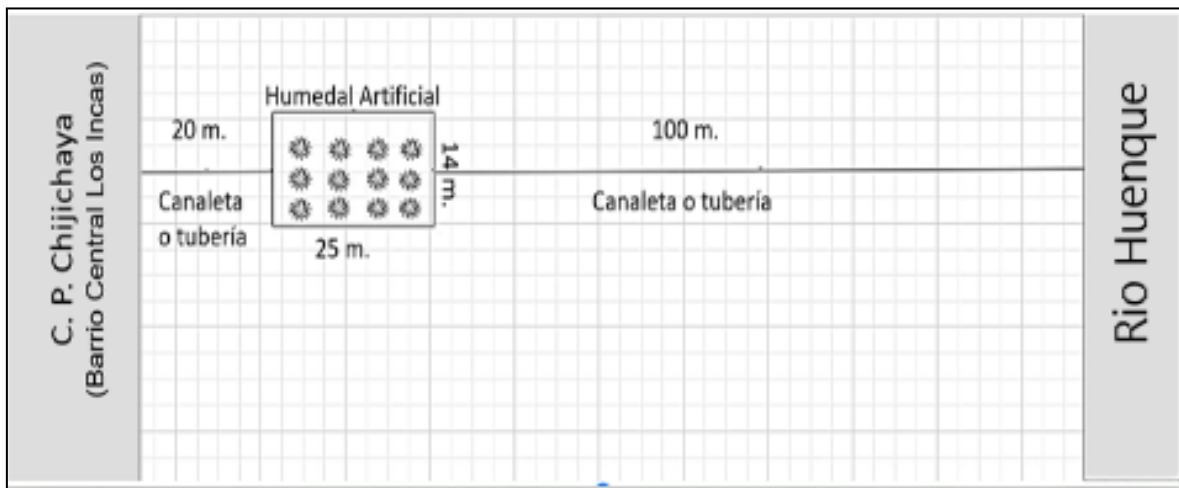
Tratamiento	Variabes	Centro Poblado de Chijichaya-Puno.
Humedal artificial de tipo subsuperficial horizontal	Caudal de ingreso al humedal artificial (l/día)	2600
	Número de humedales artificiales	01
	Capacidad máxima	280.000 litros
	Vegetación propuesta	<i>Juncus sp</i> , <i>Scirpus californicus</i> , <i>Typha</i> , <i>Scirpus Phragmites</i> y <i>Carex</i> , <i>Distichia muscoides</i> <i>Plantago tubulosa</i> <i>Werneria pygmaea</i> , <i>Scirpus rigidus</i> , <i>Plantago tubulosa</i> y <i>Deyeuxia rigescens</i>
	Máxima carga orgánica (DBO/m <sup>2</sup> día)	740
	Altura	0.8 m
	Largo	25 m
	Ancho	14 m
	Pendiente	0.5%

Se deberá instalar una canaleta o tubería o una red para transportar las aguas residuales desde la zona de elaboración de la "tunta" hasta el humedal artificial.

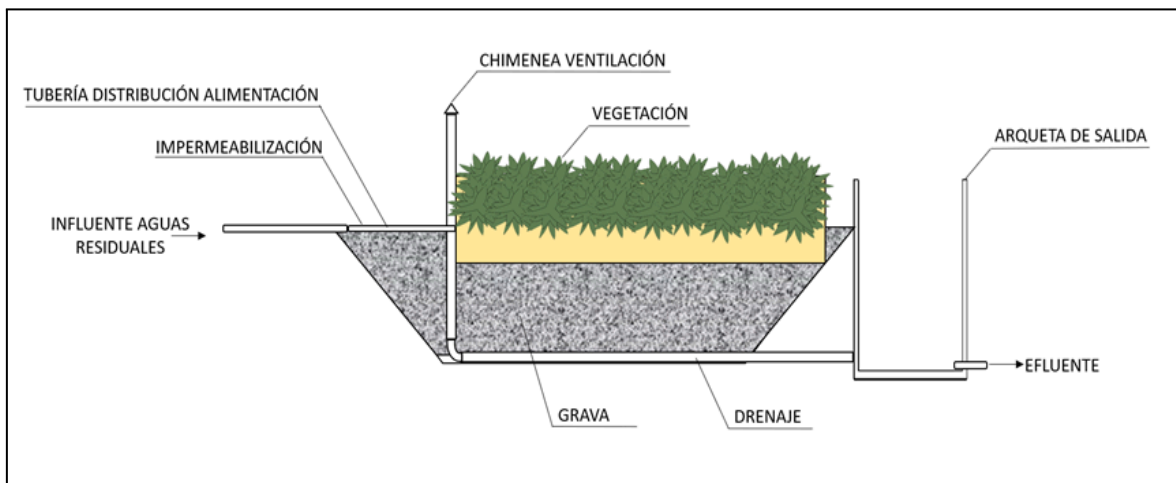
Para transportar las aguas residuales tratadas se deberá instalar un canal o red de canales de 100 metros aproximadamente desde el humedal artificial hasta del Río Huenque.

Para la operación y mantenimiento deberá contar con un operador, el cual realizará las siguientes actividades: mediciones de caudales y mantenimiento del humedal. Además, se realizará el monitoreo de afluentes y efluentes para controlar los principales

parámetros de calidad de agua residual..



**Figura 04:** Propuesta de Diseño de humedal artificial de 25 m x 14 m x 0.80 m para el tratamiento de aguas residuales



**Figura 05:** Corte transversal del humedal artificial propuesto de 25 m x 14 mx 0.80 m para el tratamiento de aguas residuales.

## PRESUPUESTO REFERENCIAL

El presupuesto referencial de construcción de un humedal artificial de Flujo subsuperficial horizontal (HAFSH), esta propuesta servirá para tener una idea del costo del proyecto si se llegara a construir, el presupuesto contiene el análisis de costo, precios unitarios y cantidad según las medidas propuestas para el humedal artificial.

**Tabla 04:** Presupuesto referencial de construcción de un humedal artificial de Flujo subsuperficial horizontal (HAFSH),

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>
Limpieza del terreno	m <sup>2</sup>	375	S/. 180
Trazado y replanteo	m <sup>2</sup>	350	S/. 520
Excavación del terreno	m <sup>3</sup>	280	S/. 1800
Topografo	unidad	1	S/. 2000
Compactado y mejoramiento	m <sup>2</sup>	350	S/. 900
Construcción de taludes para Muros del humedal	m <sup>3</sup>	78	S/. 1500
Impermeabilización con geomembrana	m <sup>2</sup>	358	S/. 7200
Provision y colocacion de grava	m <sup>3</sup>	40	S/. 500
Tubería de 12 pulgadas para (Afluente y Efluente)	unidad	1	S/. 30
Planta acuáticas	unidad	50	S/. 100
Implementación de plantas	unidad	1	S/. 90
<b>Humedal artificial</b>	<b>Total</b>		<b>S/. 15970</b>

## CONCLUSIONES

Luego de una revisión sistemática sobre humedales artificiales y especies de vegetales más eficaces de acuerdo a las condiciones ambientales de la zona para proponer el diseño de humedal ,se arribaron a las siguientes conclusiones:

**PRIMERA.** El tipo más apropiado para diseñar un humedal artificial para el centro poblado de Chijichaya se eligió el de flujo superficial horizontal, a base de especies vegetales de la zona, para el tratamiento de aguas residuales y depuración de contaminantes químicos y microbiológicos como los: coliformes fecales, nitrógeno, sólidos suspendidos totales DBO, DQO y metales tóxicos.

**SEGUNDA.** Luego de un análisis comparativo de las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de humedales artificiales, considerando medidas preventivas para evitar la obstrucción del sustrato en humedales artificiales se optó por el humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSH) por las ventajas ofrecidas.

**TERCERA.** Luego de una revisión sistemática y análisis de especies vegetales eficaces en la depuración de contaminantes para humedales artificiales, priorizando especies de zonas alto andinas para el tratamiento de aguas residuales para el Centro Poblado Chijichaya se identificaron especies vegetales más utilizadas por su eficacia, para depurar aguas residuales en relación al porcentaje de remoción, para la zona cómo: *Juncus sp* 75% a 80%; *Totora (Scirpus californicus)*, *Distichia muscoides* (20,92%), *Plantago tubulosa* (11,92%), *Werneria pygmaea* (8,17%), *Scirpus rigidus* (11,08%), *Plantago tubulosa* (8,75%) y *Deyeuxia rigescens* (7,25%), existentes en los humedales de *Macusani* y *Santa Rosa de la región Puno*.

**CUARTA.** Luego de determinar el tipo de humedal e identificación de especies vegetales para la depuración de aguas residuales, se realizó la propuesta de diseño de un humedal artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSH), con dimensiones de 25 metros de largo y 14 metros de ancho con una altura máxima 0.80 metros, para una efectiva remoción de parámetros, DBO, DQO, Sólidos Totales en Suspensión, pH y olor aceptable, con una combinación de especies vegetales, para reducir contaminantes como fuentes dispersas, escorrentías agrícolas, plaguicidas y drenaje.

## RECOMENDACIONES

**PRIMERA.** A las autoridades competentes, gestionar la instalación de humedales artificiales con especies y variedades de juncáceas dada la existencia de 225 variedades entre ellas la totorilla y carex ampliamente difundidas en la región Puno, para el tratamiento de aguas residuales ya que ofrecen múltiples ventajas y funciones como la reducción de contaminantes, prevención de la contaminación de los recursos agua y suelos incluso aire como funciones ambientales, y ecológicas.

**SEGUNDA.** A los investigadores, realizar investigaciones aplicadas utilizando la especie *Typha dominguensis* conocida como totora y sus variedades por su alta eficacia en la remoción de parámetros contaminantes y su utilización en la generalidad de humedales a nivel internacional y nacional conocida como cosmopolita por su rango de adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales.

**TERCERA.** A los investigadores, identificar especies de la región y comprobar su capacidad de remoción de contaminantes en humedales para el tratamiento de aguas residuales en la región altiplánica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abreu, J. L. (2012). Hipótesis, método & diseño de investigación.  
<http://www.spentamexico.org/v7-n2/7%282%29187-197.pdf>
- Arteaga, V.; Quevedo, A.; Del Valle, D.; Castro, M.; Bravo, Á. & Ramírez, J. (2019). Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnol. cienc. agua*. 2019, 10(5), pp.319-343.  
[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222019000500319&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222019000500319&lng=es&nrm=iso) Epub 15-Feb-2020. ISSN 2007-2422.  
<https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-05-12>.
- Aydın Temel, F., Özyazıcı, G., Uslu, V. R., & Ardalı, Y. (2018). Full scale subsurface flow constructed wetlands for domestic wastewater treatment: 3 years' experience. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(4), 1348-1360.  
<https://doi.org/10.1002/ep.12908>
- Bustamante Dávila, E. & Pérez Ruiz, W. T. (2019). Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco typha sp y vetiver chrysopogon zizanioides en el distrito de Saposoa". Universidad Peruana Unión, San Martín, Tarapoto.  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2763>
- Calheiros, C., Rangel, A., & Castro, P. (2007). Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. *Water Research*. 2007. 41(8), pp. 1790–1798.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.012>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135407000310>  
<https://repositorio.ucp.pt/bitstream/10400.14/2829/3/Constructed%20wetland%20systems%20vegetated%20with%20different.PDF>
- Céspedes Pillaca, R. V. (2021). Análisis del uso de humedales artificiales empleando

- plantas macrofitas para el tratamiento de aguas residuales en el ámbito rural, Apurímac 2021. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/64319>
- Cirujano, S., Meco, A. & Cezón, K. (2011). Flora acuática: Macrófitos. Jornada de presentación del Tesoro Taxonómico para la clasificación del estado ecológico de las masas de agua continentales, TAXAGUA. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid, España.
- Coaquira Hanco, A. L. (2018). Determinación de la eficacia en humedales 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. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3344>
- Coarite, E. (2018). Uso De La Totora En Planta De Tratamiento De Aguas Residuales. *Universidad Mayor De San Andrés Facultad*, 155. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/22630/EG-2221.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruz Bustamante, L. E. (2018). Tratamiento de aguas grises domésticas por el sistema de humedales artificiales con el *Nuphar Luteum* en el AA. HH La Rivera–Carabaylo, 2018.. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/33978>
- Delvalle-Borrero, D. M., Medina, J. R. & Fuentes, K. (2022). Humedales artificiales flotantes y su valor paisajístico en ríos urbanos-Ciudad de Panamá. *Prisma Tecnológico*, 13(1), 3-9. ISSN: 2076-8133. E-ISSN: 2312-637X DOI <https://doi.org/10.33412/pri.v13.1.2871>
- Escajadillo Mallma, F. F. (2021). Revisión sistemática: tipos de humedales artificiales para el tratamiento de aguas grises. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/68994>
- Foladori, P., Ruaben, J. & Ortigara, A. (2013). Recirculation or artificial aeration in vertical flow constructed wetlands: A comparative study for treating high load wastewater. *Bioresource Technology*. 2013. 49, pp.398-405.



<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.099>

Gao, Y., Zhang, W., Gao, B., Jia, W. & Yang, L. (2018). Highly efficient removal of nitrogen and phosphorus in an electrolysis-integrated horizontal subsurface-flow constructed wetland amended with biochar. *Water Research*. 139, 301-310.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.007>

García-Ávila, F. (2020). Treatment of municipal wastewater by vertical subsurface flow constructed wetland: Data collection on removal efficiency using *Phragmites Australis* and *Cyperus Papyrus*. *Data in brief*, 30, 105584. ISSN 23523409.

<https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105584>

Guerra Marín, J. (2022). Elaboración de humedal artificial con *Schoenoplectus americanus* (Junco) para la depuración de aguas residuales domésticas en Santa Rosa – Jicamarca. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/102977>

Haddis, A., Van der Bruggen, B. & Smets, I. (2020). Constructed wetlands as nature based solutions in removing organic pollutants from wastewater under irregular flow conditions in a tropical climate. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 20(1), 38-47.

<https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.03.001>

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. 6ta ed. México D.F. Editorial McGraw-Hill/ Interamericana Editores.

<efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Intriago Intriago, A. P. (2019). Humedal artificial para el tratamiento de aguas grises en las casas de la comunidad de PAN y AGUA, JIPIJAPA. 2019.

<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1882>

Ismail, N. I., Abdullah, S. R. S., Idris, M., Kurniawan, S. B., Halmi, M. I. E., Sbani, N. H. A., ... & Hasan, H. A. (2020). Applying rhizobacteria consortium for the enhancement of *Scirpus grossus* growth and phytoaccumulation of Fe and Al in

- pilot constructed wetlands. *Journal of environmental management*, 267, 110643.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479720305752>
- Jabar, J. M., & Odusote, Y. A. (2021). Utilization of prepared activated biochar from water lily (*Nymphaea lotus*) stem for adsorption of malachite green dye from aqueous solution. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-12.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-021-01399-9>
- Joaquín Tácanan, L. C. (2021). Diseño de Tratamiento de Aguas Residuales Mediante Humedales Artificiales en Chacapampa-Huancayo.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12848/2828>
- Laiza Otiniano, J. L. E. (2018). Revisión sistemática de estudios realizados sobre reutilización de aguas grises tratadas en viviendas. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. 2018. <http://hdl.handle.net/11537/23513>  
oai:repositorio.upn.edu.pe:11537/23513
- Laterra, P., Booman, G., Picone, L., Videla, C. & Orúe, M. (2018). Indicators of nutrient removal efficiency for riverine wetlands in agricultural landscapes of Argentine Pampas. *Journal of Environmental Management*. 222, 148-154.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.070>
- Llagas, C., Wilmer A. & Gómez, A. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del instituto de investigaciones FIGMMG*. 2006. 15(17), pp. 85-96. oai:ojs.csi.unmsm:article/699  
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/699>  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/1682-3087\\_667e0aa8bba748c1272299c53e44e5af/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/1682-3087_667e0aa8bba748c1272299c53e44e5af/Details)
- Luján Díaz, A. J., & Sánchez Soto, G. I. (2021). Revisión sistemática–eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de lixiviados generados en la planta de residuos sólidos, Cajamarca-2020.  
<https://hdl.handle.net/11537/25912>

<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3037142>

Luna, V. M. & Aburto, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. 2014.TIP Revista Especializada en Ciencias Químico- Biológicas, 17(1):32-55.

<https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenl.cgi?IDARTICULO=49870>

Malca Quiroz, D. R. (2020). Determinar el efecto de tecnologías de humedales artificiales como tratamiento de aguas residuales. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/24839>

Mateo, N.; Nani, G. ; Montiel, W.; Nakase, C.; Salazar, C. & Sandoval, L. (2019). Efecto de canna hibryds en humedales construidos parcialmente saturados para el tratamiento de aguas porcinas”. 2019. ISSN 2448 5527. Int. J. Environ. Res. Public Health 2019, 16(23), 4800. <https://doi.org/10.3390/ijerph16234800>

Mendoza Chavarría, C. J., & Párraga Mendoza, A. J. (2021). Evaluación de tres tipos humedales artificiales (ornamental, forrajero, alimenticio) como depurador de aguas residuales grises en el bosque de la ESPAM (Bachelor's thesis, Calceta: ESPAM MFL). <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1448>

MINAM. (2008). Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-002-2008-minam/>

MINAM (2009). Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM. Aprueban el Reglamento de la Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-nro-019-2009-minam/>

MINAM (2010). Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Aprueban límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-010-2010-minam/>

Muñoz Tello, K. M. & Vásquez Pérez, M . (2020). Estudio de la eficiencia del tratamiento

- de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas. 2020. <http://hdl.handle.net/11537/23943>  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN\\_1af56776179313e5b3a9c5bf53b82ca7](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_1af56776179313e5b3a9c5bf53b82ca7)
- Muñoz Tello, K. M. & Vásquez Pérez, M . (2019). Tendencias actuales para el tratamiento de aguas residuales domésticas: Una revisión de la literatura científica. 2019. <http://hdl.handle.net/11537/23046>  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN\\_f933f314c54f1ab34c0853b9b910a44a](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_f933f314c54f1ab34c0853b9b910a44a)
- Nema, A., Yadav, K. D. & Christian, R. A. (2020). A small-scale study of plant orientation in treatment performance of vertical flow constructed wetland in continuous flow. International Journal of Phytoremediation, 22(8), 849-856.  
<https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1715918>
- NORMA OS.090. (2009). Norma OS.090 Planta de tratamiento de aguas residuales. Reglamento Nacional de Edificaciones, 65.  
<https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619690-os-090-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-ds-n-022-2009>
- Pazán Toledo, A.E.; Trelles Calle, J.S & Arévalo Durazno, M.B. (2018). Análisis del estado del arte de humedales subsuperficiales de flujo vertical para tratamiento de aguas residuales y lodos de depuradoras. 2018.  
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/8224>
- Ramírez Carrillo, H. F., Luna Pabello, V. M., Arredondo Figueroa, J. L. (2009). Evaluación de un humedal artificial de flujo vertical intermitente, para obtener agua de buena calidad para la acuicultura. Revista Mexicana de Ingeniería Química. 2009, 8(1), pp.93-99. ISSN: 1665-2738.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62011375008>
- Ramos Peña, M. L. (2019). Producción de Flor de Alcatraz (*Zantedeschia aethiopica*) a

partir de Aguas Residuales Domésticas en Humedales Artificiales de Flujo Sub Superficial en el sector de Huatascapa–Puno, Perú.

<http://hdl.handle.net/20.500.12840/4594>

Reyes-Luz, M.I.; Guido-Zárate, A.; Bernal-González, M.; Ramírez-Burgos, L.I.; Padrón-López, R. M.; Salgado-Bernal, I.; Genescá-Llongueras, J. & Durán-De-Bazúa, C. (2011). Remoción de fósforo de aguas residuales en un sistema de humedales artificiales a escala de laboratorio. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*, 2 (1):76-93, 2011.

[http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:u1aey62amKIJ:cmas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/101/1/Reyes-Luz2011.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:u1aey62amKIJ:cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/work/sites/redica/resources/LocalContent/101/1/Reyes-Luz2011.pdf&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe)

Rodríguez, C. (2003). Humedales construidos. Estado del arte (II). México. *Ingeniería hidráulica y ambiental*. 2003. 24(3), pp 42-48. GALE|A146273553.

<https://go.gale.com/ps/anonymous?id=GALE%7CA146273553&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=16800338&p=IFME&sw=w>

Rodríguez Valencia, N. (2020). Humedales artificiales: Una alternativa para el postratamiento de aguas residuales agroindustriales. Componentes de un humedal artificial. Federación Nacional de cafeteros de Colombia.

[https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/2\\_Humedales\\_artificiales\\_Conceptos\\_y\\_resultados\\_en\\_el%20sector\\_cafetero.pdf](https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/2_Humedales_artificiales_Conceptos_y_resultados_en_el%20sector_cafetero.pdf)

Romero Ronderos, D. F. (2021). Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales de la industria textil por medio de humedales artificiales (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

<https://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/8737>

Segura Delgado, P. & Rocha Vera, W.A. (2019). Eficiencia de remoción de contaminantes de lixiviados generado en un relleno sanitario, mediante un biodigestor y humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal a través de la

- especie macrófita emergente carrizo (phragmites australis). 2019.  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1942>
- Tampe LI, Rosbel A. (2022). Percepción de la población adulta del distrito de ILAVE, provincia de El Collao, de la región Puno, sobre el reúso de aguas servidas tratadas año 2021. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/248>
- Torres Callupe, G. M. (2018). Humedal Artificial con la especie typha dominguensis para el tratamiento de aguas grises domésticas, AA.HH. San Benito–Carabayllo, 2017. 2018. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/28338>
- Viajetop (2018). Mapa de Chijichaya, Ilave, Puno (vista de satélite) <http://www.viajetop.com/pe/mapas-satelite-puno.php?plano=Chijichaya>
- Vymazal, J. (2009). The use constructed wetlands with horizontal sub- surface flow for various types of wastewater. *Ecological Engineering*. 2009. 35(1), pp.1–17, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.08.016>
- Vymazal, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment: Five decades of experience. *Environmental Science & Technology*. 2011. 45, pp. 61-69. <https://doi.org/10.1021/es101403q>
- Nema, A., Yadav, K. D. & Christian, R. A. (2020). A small-scale study of plant orientation in treatment performance of vertical flow constructed wetland in continuous flow. *International Journal of Phytoremediation*, 22(8), 849-856. <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1715918>
- Yang, Y., Sheng, Q., Zhang, L., Kang, H. Q. & Liu, Y. (2015). Desalination of saline farmland drainage water through wetland plants. *Agricultural Water Management*. 2015. 156(7), pp.19-29. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.001>
- Yaranga, R. (2020). High-Andean wetland of Peru: Floristic diversity, primary net aerial productivity, ecological condition, and carrying capacity. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 213-221. <https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2020.02.08>
- Zapata Alfonso, E.J.& Bermúdez Palma, Y. (2020). Estado del arte de la biodegradación

de cianuro en aguas residuales industriales. 2020. [Estado del arte de la biodegradación de cianuro en aguas residuales industriales - 10596/28192](#)

## ANEXOS




**Anexo 01:** Matriz de consistencia "Diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el Centro Poblado de Chijichaya - Puno."

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	CATEGORÍA SUBCATEGORÍA	MARCO METODOLÓGICO
<p><b>Problema general</b> ¿Cuál es la factibilidad de diseñar un humedal artificial para tratamiento de aguas residuales y especies vegetales para el centro poblado de Chijichaya - Puno?</p> <p><b>Problemas específicos</b> ¿Cuáles son los tipos de humedales artificiales más apropiados para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya?</p> <p>¿Cuál son las especies de vegetales de humedales artificiales adaptadas en zonas alto andinas para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya?</p> <p>¿Cuál es la factibilidad de</p>	<p><b>Objetivo general</b> Proponer un diseño de humedal artificial para tratamiento de aguas residuales y especies vegetales para el centro poblado de Chijichaya - Puno.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> Analizar sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar el más apropiado para el tratamiento de aguas residuales para el Centro Poblado de Chijichaya.</p> <p>Analizar sistemáticamente especies de vegetales de humedales artificiales adaptadas en zonas alto andinas para el tratamiento de aguas residuales en el</p>	<p>Es factible proponer un diseño de humedal artificial para tratamiento de aguas residuales en base a una revisión sistemática de tipos de humedales artificiales y especies vegetales para el poblado de Chijichaya - Puno.</p>	<p><b>Categoría:</b> Tipos de humedales artificiales</p> <p><b>Subcategoría:</b> -Flujo libre. -Flujo superficial horizontal. -Flujo subsuperficial vertical</p> <p><b>Categoría:</b> Plantas más usadas en los tipos de humedales artificiales.</p> <p><b>Subcategoría:</b></p>	<p>Enfoque de investigación: mixto. Tipo de Investigación: descriptiva Nivel de Investigación: Exploratorio-descriptivo y narrativo tópico. Diseño de Investigación: narrativo tópico.: -Población: 3,219 habitantes. Muestra: - La muestra: 329 viviendas</p> <p>Técnica: La técnica de recolección de datos que se aplicará es el análisis documental. Instrumento: - Se utilizarán fichas de análisis de documentos.</p>




<p>proponer un diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Chijichaya – Puno?</p>	<p>Centro Poblado Chijichaya. Proponer un diseño de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Chijichaya – Puno.</p>		<ul style="list-style-type: none"><li>-Plantas acuáticas flotantes</li><li>-Plantas acuáticas sumergidas.</li><li>-Plantas acuáticas emergentes.</li></ul>	
---	---	--	--	--

**Anexo 02:** Modelo de fichas de análisis de contenido

	TÍTULO:	
	AUTOR (ES):	
	AÑO DE PUBLICACIÓN:	
	TIPO DE INVESTIGACIÓN:	Revisión Sistemática


OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ANÁLISIS

**Anexo 03:** Fichas de análisis de contenido del autor Aydın Temel, F., Özyazıcı, G., Uslu, V. R., & Ardali, Y.

	TÍTULO:	Full scale subsurface flow constructed wetlands for domestic wastewater treatment: 3 years' experience.
	AUTOR (ES):	Aydın Temel, F., Özyazıcı, G., Uslu, V. R., & Ardali, Y.
	AÑO DE PUBLICACIÓN:	2018
	TIPO DE INVESTIGACIÓN:	Investigación aplicada experimental


OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ANÁLISIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar diferentes tipos de humedales artificiales para identificar los más apropiados para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.</li> </ul>	<p>Humedal artificial: Flujo Subterráneo Horizontal</p> <p>Condiciones operacionales:</p> <p>Tipo de humedal, composición del sustrato, tratamientos preliminares, área del humedal, población vegetal y tiempo de retención.</p> <p>Conclusiones: los Humedales Artificiales (CW) diseñados correctamente son económica y ambientalmente para tratar las aguas residuales de los asentamientos rurales.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar sistemáticamente las especies de vegetales más eficaces en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.</li> </ul>	<p>Especie de macrófitas : Juncus Acutus</p> <p>Resultados:</p> <p>Las eficiencias de remoción promedio para la DBO, DQO y SST, fueron del 65.5%, 43.5% y 22% respectivamente.</p> <p>Conclusiones: La aplicación de la especie demostró eficiencia para tratar aguas residuales domésticas con alta carga de nutrientes.</p>
	<p>Especie de macrófitas : Phragmites australis.</p> <p>Resultados:</p> <p>Las eficiencias de eliminación promedio para la DBO, DQO y SST, fueron del 54%, 40.5% y 24% respectivamente.</p> <p>Conclusiones: La aplicación de la especie demostró eficiencia para tratar aguas residuales domésticas con alta carga de nutrientes.</p>

**Anexo 04:** Fichas de análisis de contenido del autor García-Ávila, F.

	Título	Treatment of municipal wastewater by vertical subsurface flow constructed wetland: Data collection on removal efficiency using Phragmites Australis and Cyperus Papyrus.
	Autor	García-Ávila, F.
	Año de publicación	2020
	Tipo de investigación	Investigación aplicada experimental


OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ANÁLISIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar los más apropiados para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.</li> </ul>	<p>Humedal artificial: Flujo subterráneo vertical</p> <p>El humedal artificial fue implementado de forma independiente a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas.</p> <p>Condiciones operacionales: Tipo de humedal, composición del sustrato, tratamientos preliminares, área del humedal, población vegetal y tiempo de retención.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar sistemáticamente las especies de vegetales más eficaces en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.</li> </ul>	<p>Especie de macrófitas : Phragmites Australis</p> <p>Resultados: La eficiencia en la remoción promedio de la DBO, DQO y SST, fue del 61%, 59% y 52%, respectivamente.</p> <p>Conclusiones: La aplicación de la especie Phragmites Australis demostró eficiencia para tratar aguas residuales domésticas con alta carga de nutrientes.</p> <p>La aplicación de la especie Phragmites Australis eliminó los sólidos totales (62,85%) mejor que Cyperus Papyrus, ya que esta última carece de adaptabilidad.</p>
	<p>Especie de macrófitas : <i>Cyperus Papyrus</i>.</p> <p>Resultados: Cyperus Papyrus tuvo una mejor remoción de fósforo total (50%), nitrógeno amoniacal (69,69%), demanda bioquímica de oxígeno (69,87%), demanda química de oxígeno (80,69%), coliformes totales (98,08%) y coliformes fecales (95,61%)</p> <p>Conclusiones: La aplicación de la especie <i>Cyperus Papyrus</i> demostró eficiencia para tratar aguas residuales domésticas.</p>

**Anexo 05:** Fichas de análisis de contenido del autor Haddis, A., Van der Bruggen, B. & Smets, I.

	Título	Constructed wetlands as nature based solutions in removing organic pollutants from wastewater under irregular flow conditions in a tropical climate. Etiopía.
	Autor	Haddis, A., Van der Bruggen, B. & Smets, I.
	Año de publicación	2020
	Tipo de investigación	Investigación aplicada experimental


OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ANÁLISIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar los más apropiados para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.</li> </ul>	<p>Humedal artificial: Flujo subterráneo horizontal</p> <p>Condiciones operacionales:</p> <p>Tipo de humedal, composición del sustrato, tratamientos preliminares, área del humedal, población vegetal y tiempo de retención.</p> <p>Se probaron dos especies de plantas seleccionadas, <i>Cyperus papyrus</i> (papiro) y <i>Scirpus validus</i> (junco), utilizando las aguas residuales de un dormitorio en el campus de la Universidad de Jimma en Etiopía.</p> <p>Conclusiones:</p> <p>Los humedales artificiales funcionaron adecuadamente en condiciones de flujo irregular y serán la primera alternativa en tecnología de tratamiento de aguas contaminadas en países de baja economía.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar sistemáticamente las especies de vegetales más eficaces en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.</li> </ul>	<p>Especie :</p> <p>Resultados:</p> <p>La eficiencia en la remoción de la DBO, DQO y SST fue del 78.5%, 63.5% y 76%, respectivamente.</p> <p>Conclusiones:</p> <p>La aplicación de la especie demostró eficiencia para tratar aguas residuales domésticas con alta carga de nutrientes.</p> <p>Los humedales artificiales pueden funcionar bien con la especie de macrófitas <i>Cyperus papyrus</i> (papiro) en condiciones de flujo irregular y pueden ser la tecnología preferida en países de bajos ingresos, especialmente en climas tropicales.</p>

**Anexo 06:** Fichas de análisis de contenido del autor Gao, Yan, Zhang, Wen, Gao, Bin, Jia, Wen & Yang, Liuyan.

	Título	Remoción altamente eficiente de nitrógeno y fósforo en un humedal construido con flujo subterráneo horizontal integrado por electrólisis modificado con biocarbón.
	Autor	Gao, Yan, Zhang, Wen, Gao, Bin, Jia, Wen & Yang, Liuyan.
	Año de publicación	2018
	Tipo de investigación	Investigación aplicada experimental

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ANÁLISIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar los más apropiados para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.</li> </ul>	<p>Mejora de la eliminación de nitrógeno en E-BHFCW</p> <p>Para investigar la capacidad de eliminación de N del E-BHFCW, se midió la dinámica de las concentraciones de nitrógeno total (TN) afluente y efluente y la tasa de eliminación de TN. El E-BHFCW mostró una mayor eficiencia de eliminación de TN en comparación con el BHFCW de control durante la duración del experimento. La concentración de TN afluente fue de <math>18,54 \pm 0,50</math> mg/L y la HRT nominal fue de 24 h durante todo el proceso experimental en ambos CW (humedales artificiales).</p> <p>El E-BHFCW tiene mayor capacidad de eliminación de TN, <math>\text{NO}_3\text{-N}</math> y <math>\text{PO}_4^{3-}\text{-P}</math> que el BHFCW. Además, hay menos acumulación de <math>\text{NO}_2\text{-N}</math>, <math>\text{NH}_3\text{-N}</math> y Fe cuando se utiliza BC como sustrato para adsorber los subproductos del proceso de electrólisis. Además, el BC también puede modificarse mediante iones de hierro de los cátodos in situ y adsorber en gran medida <math>\text{NO}_3\text{-N}</math> y <math>\text{PO}_4^{3-}\text{-P}</math> de las aguas residuales. La combinación de ánodo y cátodos de hierro proporciona un buen rendimiento para la eliminación simultánea de nitrógeno y fósforo de zonas contaminadas.</p>

**Anexo 07:** Fichas de análisis de contenido del autor Nema, A., Yadav, K. D. & Christian, R.

	Título	A small-scale study of plant orientation in treatment performance of vertical flow constructed wetland in continuous flow. India.
	Autor	Nema, A., Yadav, K. D. & Christian, R. A.
	Año de publicación	2020
	Tipo de investigación	Investigación

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ANÁLISIS
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar sistemáticamente diferentes tipos de humedales artificiales para identificar los más apropiados para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.</li> </ul>	<p>Humedal artificial: Flujo vertical</p> <p>Condiciones operacionales:</p> <p>Tipo de humedal,</p> <p>composición del sustrato, tratamientos preliminares, área del humedal, población vegetal y tiempo de retención.</p> <p>Conclusiones:</p> <p>Los Humedales Artificiales (CW) diseñados correctamente son económica y ambientalmente para tratar las aguas residuales de los asentamientos rurales.</p> <p>Los resultados indicaron que la orientación de la planta juega un papel importante en la eliminación de diversos parámetros fisicoquímicos.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Analizar sistemáticamente las especies de vegetales más eficaces en humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en el Centro Poblado Chijichaya.</li> </ul>	<p>Especie de macrófitas : Phragmites Australis</p> <p>Resultados:</p> <p>La eficiencia en la remoción promedio de la DBO, DQO y SST fue del 83%, 55.5% y 61%, respectivamente.</p>