

SISTEMA DE GESTIÓN DOCUMENTAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



Firmado digitalmente por DUEÑAS
JURADO Carlos FAU 20168014962
soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 30.07.2026 20:04:17 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 30 de Julio del 2026

OFICIO N° 000408-2026-UNH/EPIAS

Señor (a):

VICTOR GUILLERMO SANCHEZ ARAUJO
DECANO(A)

Presente. –

**Asunto: DESIGNACIÓN DE ASESOR, APROBACIÓN E INSCRIPCIÓN DE
PROYECTO DE TESIS, MEDIANTE ACTO RESOLUTIVO.**

Referencia: INFORME 000011-2026-UNH/DAIAS (21JUL2026)

De mi consideración:

Es grato dirigirme a usted, para hacerle llegar el saludo cordial a nombre de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria y el mío propio, en atención al documento de la referencia, solicito aprobación mediante acto resolutivo la designación de Asesor, Aprobación e Inscripción de Proyecto de Tesis, el cual adjunto al presente los documentos de la referencia:

ASESOR:

Mg. NILO ABELARDO ENRÍQUEZ NATEROS

PROYECTO DE TESIS:

**"HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL DE AGUAS
RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCVELICA CON JUNCO TOTORA"**

PRESENTADO POR:

MILAGROS KIHUMARA QUILCA QUISPE

WILMA ROSMERY LIMA VÁSQUEZ

Hago propicia la oportunidad para expresarle el testimonio de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

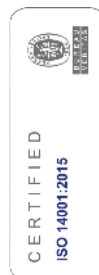
CARLOS DUEÑAS JURADO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

CDJ/hcq
cc.:

N° Expediente: 2026-0017950



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **H6QWEJ9**



	Reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica	Código:	RE-VRAC-PO01-1-1
		Versión:	1
		Página:	Página 63 de 95

Anexo 02

Ficha de evaluación de proyecto de tesis/trabajo de investigación/trabajo académico



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIA DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

FICHA DE EVALUACIÓN DE PROYECTO DE TESIS/TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/TRABAJO ACADÉMICO

Título del proyecto	“HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCAMELICA CON JUNCO TOTORA”
Investigador	• Milagros Kihumara QUILCA QUISPE • Wilma Rosmery LIMA VÁSQUEZ
Asesor(a)	Mg. Nilo Abelardo, Enríquez Nateros

INCOMPLETO (1)	BUENO (2)	MUY BUENO (3)
----------------	-----------	---------------

TITULO		ESCALA		
		1	2	3
1	El título presenta: claridad, precisión y coherencia (mínimo 15 y máximo 20 palabras)			X
2	Delimitación adecuada			X
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA				
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA		1	2	3
3	Delimita y contextualiza el problema.		X	
4	La redacción del planteamiento del problema es coherente.			X
5	Argumentación con referencias bibliográficas.			X
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA		1	2	3
6	La formulación del problema está redactada con claridad y precisión.			X
7	El problema presenta variable(s) y tiene relación con el título.			X
8	Los problemas específicos se relacionan con el problema general.			X
OBJETIVOS		1	2	3
9	El objetivo general evidencia el propósito del estudio			X
10	Los objetivos específicos se derivan del objetivo general y son factibles de alcanzar.			X
11	Los objetivos responden al problema de investigación.			X
JUSTIFICACIÓN		1	2	3
12	Se exponen las razones ¿por qué?, ¿para qué? y la viabilidad del estudio.		X	
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO				
ANTECEDENTES		1	2	3



13	Presenta los antecedentes y los integra en relación con el problema de investigación.		X	
14	En los antecedentes se mencionan el problema, objetivo(s), metodología, población, resultados y conclusiones.		X	
BASES TEÓRICAS		1	2	3
15	La organización de las bases teóricas es coherente y corresponde a las variables de estudio.		X	
16	Las bases teóricas fundamentan las variables de estudio.		X	
DEFINICIÓN DE TÉRMINOS		1	2	3
17	Define los conceptos más relevantes del estudio.		X	
18	Utiliza 10 conceptos como mínimo con fuentes en orden alfabético.			X
HIPÓTESIS		1	2	3
19	La hipótesis se enuncia de manera clara y precisa.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación	X
20	Si no plantea hipótesis las investigaciones tecnológicas obtienen la ponderación máxima			X
21	La hipótesis responde al problema de investigación.			X
VARIABLES		1	2	3
22	Identifica(n) con precisión la(s) variable(s) de estudio			X
OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES		1	2	3
23	La operacionalización presenta definición conceptual y operacional de la(s) variable(s) o también presenta dimensiones (si es pertinente), indicadores, ítems o instrumentos.			X
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA		1	2	3
24	Identifica el ámbito de estudio.		X	
25	Selecciona y fundamenta el tipo y nivel de investigación.		X	
26	Existe correspondencia entre nivel y diseño de investigación.		X	
27	Señala la población y muestra de estudio.	Proyectos de investigación que consideren hipótesis, se califica y se otorga el puntaje correspondiente	Proyectos de investigación que no consideren hipótesis, se asigna la máxima puntuación	X
28	Selecciona y fundamenta el tipo de muestreo a utilizar.			X
29	Selecciona y fundamenta las técnicas e instrumentos a utilizar en el estudio.		X	
30	Precisa los procedimientos para la recolección de datos.		X	
31	Especifica y fundamenta la(s) técnica(s) y procedimientos estadísticos(s) para el análisis de datos.		X	
CAPÍTULO IV: ASPECTO ADMINISTRATIVO		1	2	3
32	Se señala el recurso humano y los recursos materiales y equipos			X
33	El presupuesto, financiamiento y cronograma de actividades son coherentes.			X
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		1	2	3
34	Las citas y referencias se corresponden con el estilo de redacción.			X
35	Todas las citas están referenciadas y validadas.			X
ANEXOS		1	2	3
36	La matriz de consistencia expresa la relación del problema, objetivos, hipótesis, variables y metodología de estudios.		X	



	Reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica	Código:	RE-VRAC-PO01-1-1
		Versión:	1
		Página:	Página 63 de 95

CONTEO TOTAL DE MARCAS (realice el conteo de marcas en cada una de las tres categorías de la escala y anote)	0	14	22
	A	B	C

$$Puntaje\ Total = 1(A) + 2(B) + 3(C) = 1(0) + 2(14) + 3(22) = 94$$

Para el resultado final, ubicar el puntaje obtenido en la siguiente tabla:

RESULTADO	INTERVALO
Desaprobado	[1 – 36]
Replantear	(36 – 72]
Aprobado	(72 – 108]

94

Nombre del asesor: Mg. Nilo Abelardo, ENRÍQUEZ NATEROS

Huancavelica, 21 de julio de 2026



Firmado digitalmente por ENRIQUEZ
NATEROS Nilo Abelardo FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.07.2026 17:09:08 -05:00

Asesor

Nota:

* Con dos veces desaprobado se cambia automáticamente nuevo proyecto de investigación.

** El presente formato de acta es flexible, debiendo contener mínimamente la información descrita.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA

(Creada por Ley N°25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



PROYECTO DE TESIS

**Planta piloto de humedal artificial de flujo subsuperficial
horizontal de aguas residuales del camal municipal de
Huancavelica con Junco Totorá**

LINEA DE INVESTIGACION

MEDIO AMBIENTE Y/O SANITARIO

PRESENTADO POR:

Milagros Kihumara Quilca Quispe

Wilma Rosmery Lima Vásquez

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA

HUANCABELICA – PERÚ

2026

TITULO

PLANTA PILOTO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL DE AGUAS
RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE
HUANCAVELICA CON JUNCO TOTORA

AUTORES

QUILCA QUISPE MILAGROS KIHUMARA

LIMA VASQUEZ WILMA ROSMERY

ASESOR Y CO-ASESOR

DEDICATORIA

A nuestro divino, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. También para mis padres por apoyarme en la educación profesional y a los ingenieros de la facultad en a que pertenezco por inculcarme conocimientos para mi superación profesional.

INDICE

TITULO	ii
AUTORES	iii
ASESOR Y CO-ASESOR	iv
DEDICATORIA.....	v
INDICE	vi
INDICE DE TABLAS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
INTRODUCCION	x
CAPITULO I	11
1.1. Planteamiento del problema.....	11
1.2. Formulación del problema	13
1.2.1. Problema General:	13
1.2.2. Problemas Específicos:	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo General:	14
1.3.2. Objetivos Específicos:	14
1.4. Justificación	15
CAPITULO II	17
MARCO TEORICO	17
2.1. Antecedentes:	17
2.1.1. Nivel internacional	17
2.1.2. Nivel nacional	20
2.1.3. Nivel local.....	22
2.2. Bases Teóricas.....	23
2.2.1. Teoría de la Fitorremediación.....	23
2.2.2. Teoría de la Biodegradación	24
2.2.3. Filtración.....	25
2.2.4. Sedimentación.....	25
2.2.5. Transferencia de oxígeno.....	26
2.2.6. Biodegradación de grasas	27

2.2.7. Bases Conceptuales	27
2.3. Definición De Términos:	45
2.4. Hipótesis:	47
2.4.1. Hipótesis General:	47
2.4.2. Hipótesis Específicos:	47
2.5. Variables De Investigación:	48
2.5.1. Variable Dependiente	48
2.5.2. Variable Independiente	48
2.5.3. Variable Interveniente.....	49
2.6. Operacionalización De Variables:.....	50
CAPITULO III.....	53
METODOLOGIA	53
3.1. Ámbito espacial y temporal	53
3.1.1. Ámbito Espacial	53
3.1.2. Ámbito Temporal.....	56
3.2. Métodos de Investigación.....	56
3.3. Tipo de investigación.....	57
3.4. Nivel de investigación	58
3.5. Diseño de investigación	58
3.6. Población, muestra y muestreo	60
3.6.1. Población.....	60
3.6.2. Muestra	60
3.6.3. Muestreo.....	61
3.7. Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos ...	61
3.7.1. Técnicas de investigación.....	61
3.7.2. Instrumentos y procedimientos para recolección de datos	62
3.7.3. Validez o confiabilidad del instrumento de recolección de datos ..	64
REFERENCIAS	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tipos de tratamiento de aguas residuales</i>	30
Tabla 2 <i>Comparación de los tipos de humedal artificial</i>	35
Tabla 3 <i>Comparación de HA de flujo vertical y horizontal</i>	36
Tabla 4 <i>Compuestos de la Materia orgánica</i>	40
Tabla 5 <i>Criterios de DBO</i>	40
Tabla 6 <i>Relación de Biodegradabilidad</i>	42
Tabla 7 <i>Operacionalización de variables</i>	50

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Sistemas macrofitas flotantes</i>	33
Figura 2 <i>Sistemas con macrofitas sumergidas</i>	33
Figura 3 <i>Humedales de flujo horizontal</i>	34
Figura 4 <i>Humedal de flujo vertical</i>	35
Figura 5 <i>Planta junco totora</i>	38
Figura 6 <i>Mapa de ubicación geopolítica</i>	54
Figura 7 <i>Ubicación geográfica</i>	55

INTRODUCCION

En la actualidad el agua residual en las ciudades es un gran problema que va afectando la salud de la población y al ambiente. Esto sucede debido a que muchas aguas residuales son vertidas sin tratamientos. Como en el camal municipal de Huancavelica el agua residual necesita un tratamiento previo antes de ser vertida al río Ichu, por lo que optamos establecer un humedal artificial haciendo uso de la planta junco.

La aplicación de humedales artificiales para procesar aguas residuales de hogares e industrias es una opción que se ha investigado con resultados positivos. Las plantas que se emplean en los humedales aprovechan la materia orgánica presente en el agua residual, removiendo los contaminantes de los efluentes líquidos e incorporándolos dentro de sí mismas (Malaver Moreno, 2013).

La contaminación de los recursos hídricos en la actualidad es un gran problema en las zonas urbanas y rurales, debido a que la mayoría debido a la descarga de las aguas residuales sin un tratamiento eficiente, debido al desconocimiento de la operación y mantenimiento de los sistemas de la planta de tratamiento de aguas residuales, llegando así a contaminar los cuerpos de agua y asimismo afectando la salud pública (Pari Sedano & Sullcaray Laime, 2021).

En el proceso de tratamiento de aguas residuales, es crucial implementar tecnologías efectivas y económicas que pueden satisfacer los requisitos y cumplir con los estándares establecidos para eliminar materia orgánica, nutrientes y microorganismos, especialmente cuando se pretende su reutilización. Los sistemas biológicos y fisicoquímicos son las tecnologías más comunes, destacando por sus menores costos de operación y mantenimiento (Paima Chuquipiondo & Grately Pinedo, 2021).

Existe una crisis creciente en todo el mundo relacionada al tratamiento y disposición final de aguas residuales provenientes de diversas actividades antropogénicas. Las consecuencias suelen ser muy preocupantes, ya que dañan diversos ecosistemas, agravando los problemas ambientales existentes, además de deteriorar la salud pública y afectar negativamente al desarrollo económico local y nacional (Soria Flores, 2025).

CAPITULO I

1.1. Planteamiento del problema

En todo el mundo el uso del agua fue incrementando un 1% al año durante los últimos 40 años. Mayormente se da en los países con economía media y bajas, especialmente en aquellos que están surgiendo. Este aumento en el uso sobre el agua se da por el crecimiento demográfico, desarrollo socioeconómico y cambios en los patrones de consumo (Engin & Richard, 2023). Donde la evolución de la demanda de agua depende mucho del lugar y refleja los cambios en los patrones de uso de los tres grandes sectores que utilizan el agua: los municipios, la industria y la agricultura (Engin & Richard, 2023).

El ambiente donde se sacrifican los animales se conoce como matadero para satisfacer la demanda de consumo de carne humana. Debido al incremento de la población se aumentan los desechos de los mataderos que generan contaminación en nuestro país sino en toda Latinoamérica y el mundo. Cada año, millones de animales son sacrificados en todo el mundo (Chowdhury, Nabi, Arefin, & Rashid, 2022).

Según los investigadores Chowdhury, Nabi, Arefin, & Rashid, (2022) dicen en su artículo que hay bastantes mataderos en Etiopía que simplemente vertían y desechaban sus efluentes al aire libre sin ningún tratamiento, también mencionan que, en India, debido a la falta de la implementación de un sistema centralizado estándar, los residuos líquidos se desechan en el sistema alcantarillado municipal.

En México se generan 200 m³/s. Sin embargo, solo el 36% de estas aguas reciben tratamiento; que evidencia que es necesario contar con más infraestructura y perfeccionar la calidad del tratamiento para satisfacer las necesidades socioeconómicas y ambientales. Los métodos que se utilizan para tratar estas aguas residuales son procesos físicos, químicos y microbiológicos (Aguilar, Cruz, Salina, & Hernandez, 2009).

En el país de Ecuador, cuenta con una población aproximada de 4,5 millones de bovinos distribuidos en todo el territorio nacional, y con más de 200 mataderos localizados, que en su mayoría están siendo administrados por municipios (Orley & César, 2020).

La contaminación del río es un problema grande debido a las diferentes actividades de las personas. El agua del río está demasiado contaminado y evidencia un peligro por la presencia de los coliformes fecales y demás agentes biológicos que pueden ocasionar enfermedades y afectar a los animales, a las plantas y a las personas. También por la presencia de microorganismos como virus, bacterias, hongos y parásitos en el agua del río (Marquez, Torre, Yupanqui, Reyes, & Hajar, 2023).

Por ello mediante esfuerzos organizados por las autoridades locales para mejorar la calidad del medio ambiente, específicamente del Río Opamayo para así poder controlar enfermedades infecciosas y no infecciosas (Marquez, Torre, Yupanqui, Reyes, & Hajar, 2023).

En el camal municipal de Chota-Perú las aguas residuales contienen sangre, también tienen los residuos de la limpieza de órganos internos y los compuestos que surgen de la mucosa, los cuales producen elevados niveles de carga orgánica, lo cual son descargadas directamente a los cuerpos de agua y suelo, y como resultado se origina la aparición de infecciones, impacto visual negativo, malos olores y se desequilibra la capacidad de las aguas del río Colpamayo-Chota, la cual amenaza el bienestar de las comunidades que están cerca del camal y de los que hacen uso del agua (Medina-Valderrama, Uriarte-Tirado, Cardenas-Vásquez, & Orrego-Zapo, 2020).

La gran cantidad de materia orgánica, ya sea en forma disuelta o en suspensión, se atribuye a la existencia de elementos como aminos, proteínas,

compuestos volátiles y ácidos orgánicos, siendo el desangrado uno de los aspectos más importantes que contribuyen más a la polución de las aguas residuales de un matadero. Ya que el desangrado posee un gran potencial de impureza que ocasiona que se rebasen los límites máximos permisibles que son establecidos en la normativa, de igual manera la presencia de grasas y aceites es un problema importante (Medina-Valderrama, Uriarte-Tirado, Cardenas-Vásquez, & Orrego-Zapo, 2020).

Los mataderos y plantas procesadoras de carne generan efluentes con gran cantidad de sangre, estiércol, pelo, grasa, huesos, proteínas y otras toxinas solubles; por lo general presencian altas temperaturas y albergan microorganismos, además de una considerable cantidad de compuestos orgánicos y de nitrógeno. Donde la relación normal de oxígeno sintético en la (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y nitrógeno (N) en un matadero es de 12:4:1 (Huaman, 2023).

Por esta razón con el transcurso de los años se ha visto el crecimiento de la contaminación de río Ichu, debido a las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, también la acumulación de desechos sólidos que va aumentando en las diferentes épocas del año. Por ello es necesario entender el valor del agua tanto para el consumo humano y animal, como también para el riego de vegetales; para lograr la sostenibilidad del ecosistema y de los recursos que nos brinda; así también prevenir la generación de enfermedades fuertes a futuro en el cual se desconoce su intensidad (Huaman, 2023).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General:

¿Cuál es la eficiencia de remoción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en la planta piloto del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica con junco totora (*Schoenoplectus californicus*)?

1.2.2. Problemas Específicos:

- ¿Cuál es la concentración de los parámetros físicos-químicos (color, pH, Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda

Química de Oxígeno, aceites y grasas y sólidos suspendidos totales) por efecto de las aguas residuales del camal Municipal en Huancavelica con junco totora (*Schoenoplectus californicus*) antes y después del tratamiento?

- ¿Cuál es la concentración de los parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes) por efecto de las aguas residuales del camal Municipal en Huancavelica con la planta nativa junco totora (*Schoenoplectus californicus*) antes y después del tratamiento?
- ¿Cumplen los parámetros físicos-químicos y microbiológicos con los estándares de calidad ambiental, Agua, ¿categoría 3 (bebida de animales y riego de vegetales) y con los Límites Máximos Permisibles?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General:

Evaluar la eficiencia de remoción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en la planta piloto del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica con junco totora (*Schoenoplectus californicus*).

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Determinar la concentración de los parámetros físicos-químicos (pH, Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, aceites y grasas y sólidos suspendidos totales) en las aguas residuales del camal Municipal en Huancavelica con junco totora (*Schoenoplectus californicus*) antes y después del tratamiento.
- Determinar la concentración de los parámetros microbiológicos (coliformes termo tolerantes) en las aguas residuales del camal Municipal en Huancavelica con la planta nativa junco totora (*Schoenoplectus californicus*) antes y después del tratamiento.
- Comparar los parámetros físicos-químicos y microbiológicos con los estándares de calidad ambiental (ECA) para Agua, categoría 3 (bebida

de animales y riego de vegetales) y con los Límites Máximos Permisibles.

1.4. Justificación

El propósito de este estudio es para mitigar la contaminación del río Ichu haciendo uso de métodos naturales para tratar las aguas servidas del camal municipal de Huancavelica. Esta investigación facilitará la evaluación de la efectividad de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal empleando la planta nativa junco totora (*Schoenoplectus californicus*) como una opción sostenible para reducir la contaminación ambiental producida por el inadecuado tratamiento o mal manejo de las aguas residuales; y así mejorar la calidad del agua, la flora y fauna.

A) Académico

En lo académico ayudará a entender cómo funciona un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. Esto incluye su parte hidráulica, biológica y químico-física. Se aplicará a aguas de mataderos de animales, esto Servirá de guía para estudiantes, investigadores y profesionales para que puedan perfeccionar con más ideas innovativas.

B) Social

Esta investigación es importante para la sociedad debido a que las aguas sucias del Camal Municipal de Huancavelica tienen mucha materia orgánica, sangre, grasa, aceite y microbios malos que si se tiran sin limpiar o hacer un pre tratamiento causan malos olores y atraen vectores que amenazan la salud de la comunidad en general. Al poner una planta piloto de humedal artificial, se busca disminuir o eliminar estos problemas.

C) Científico

Nos va permitir evaluar qué tan bien quita o que tan efectiva es un humedal artificial eliminando contaminantes. Usar un humedal de flujo subsuperficial horizontal con el uso de la planta junco totora. Se medirán cosas como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Esto será con las aguas residuales del camal

municipal (matadero). Como resultados darán información científica mostrando el potencial de hacer uso de esta tecnología natural.

D) Económico

Implementar humedales artificiales el costo es bajo a comparación de otros sistemas normales debido a que usan menor energía y tienen poca mecánica. También por la facilidad de obtener grava, arena y plantas de la zona como en este caso es la junto totora que crece bien en la región reduciendo el costo de adaptarla o cambiarla, esto baja mucho el costo de construcción.

E) Ambiental

El proyecto es para disminuir y mitigar la contaminación en el río Ichu que son contaminados por las aguas residuales que provienen del camal municipal de Huancavelica que son vertidas sin un pretratamiento que afecta el suelo y el agua. Por ello, el humedal artificial nos servirá como un sistema que va remover contaminantes para mejorar la calidad del agua y sea vertida al cuerpo de agua. También al usar la planta local como la junto totora fomentamos el uso de tecnologías limpias que son tecnologías sostenibles protegiendo el medio ambiente y cuidando la calidad del agua y de vida de los seres vivos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes:

2.1.1. Nivel internacional

Zairi et al.(2025) investigaron la influencia medioambiental de las aguas residuales de las ciudades y la eficacia de la planta de lodos activados en Saida, situada en el noroeste de Argelia, durante la celebración de Eid Al-Adha, con el objetivo de examinar las variaciones atípicas en la carga de contaminantes orgánicos. Aplicaron una metodología cuantitativa que abarcó la evaluación de parámetros físicoquímicos como DBO₅, DQO, sólidos en suspensión y nutrientes, así como el cálculo del Índice de Contaminación Orgánica (ICO). A partir de una muestra de aguas residuales entrantes y salientes obtenidas a través de monitoreos continuos como también de muestras del río receptor. Los resultados evidenciaron un aumento significativo de los niveles de contaminación en las horas de la mañana, elevando el ICO a rangos considerados de "contaminación severa" y disminuyendo el oxígeno disuelto en el cuerpo de agua receptor. Los investigadores concluyeron que la descarga de estas aguas representa un grave peligro para el entorno y la salud pública, dejando claro que es crucial mejorar las tácticas de gestión operativa de la planta y establecer regulaciones ambientales rigurosas.

Miranda, Taboada, & Bustos (2025) llevaron a cabo estudios en el lago San Miguel, un humedal artificial de 3 hectáreas situado en San Miguel de Tucumán, durante las temporadas de inundaciones y sequías, con el objetivo de determinar la diversidad de microalgas (perifiton) y caracoles (gasterópodos) vinculados a la macroalga *Chara* sp. e investigar sus interacciones en múltiples niveles tróficos, donde se implementó una metodología tanto cuantitativa como cualitativa que comprendió el método de Braun-Blanquet. Con una muestra de 15 ejemplares de *Chara* sp. y 410 caracoles a lo largo de un transecto. Los resultados indicaron una cobertura continua de la macroalga (50-55%), una diversidad de 48 taxones de microalgas y 4 especies de caracoles, destacándose la especie invasora *Melanoides tuberculata*. En conclusión, se establece una relación simbiótica en la que la macroalga ofrece refugio, áreas de reproducción y calcio, mientras que los caracoles realizan limpieza mediante el pastoreo; sin embargo, se advierte que la proliferación de esta especie invasora supone un grave riesgo ecológico para la zona.

Encarnación et al.(2023) hicieron investigaciones sobre las comunidades de microalgas en la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella, ubicada en un canal de Xochimilco a lo largo del año 2021. Con el objetivo de evaluar la composición, riqueza y abundancia del fitoplancton y fitobentos, así como su vínculo con diferentes parámetros fisicoquímicos, con una metodología mixta que abarcó tanto medidas cualitativas como cuantitativas, a partir de una muestra de agua y biopelícula superficial reunida a través de monitoreos. Los resultados revelaron una grave situación de eutrofización, atribuida a elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo, destacando la prevalencia de cianobacterias y diatomeas bentónicas (*Nitzschia* spp. y *Navicula* spp.) que son resistentes a la contaminación orgánica. En conclusión, los autores afirmaron que la descarga de la planta de tratamiento disminuye la diversidad ecológica y promueve especies que indican una mala calidad del agua, demostrando que la estructura de las microalgas actúa como un excelente indicador biológico de degradación causada por la actividad humana.

Ramírez & Rodríguez (2021) evaluaron la aplicación de técnicas avanzadas utilizadas para la purificación y reutilización de aguas residuales a nivel global en Colombia, con el objetivo de medir la eficacia en la eliminación de contaminantes emergentes, patógenos difíciles de erradicar y materia orgánica restante. Se utilizó una metodología descriptiva, cualitativa y comparativa que analizó la efectividad de métodos como la filtración a través de membranas, los procesos de oxidación avanzada y los reactores biológicos de membrana, apoyándose en una revisión exhaustiva de literatura científica. Los resultados indicaron que los tratamientos secundarios convencionales no son suficientes para eliminar micro contaminantes, mientras que la combinación secuencial de tecnologías avanzadas, como la ozonización u oxidación avanzada junto a ósmosis inversa, alcanza eficiencias de eliminación superiores al 95% en compuestos difíciles, metales pesados, pesticidas y patógenos complicados. En conclusión, las autoras señalaron que la implementación de estos esquemas tecnológicos constituye una solución sostenible, evidenciando que el éxito en la regeneración del agua depende de la selección adecuada del tratamiento.

Herrera-López et al. (2021) analizaron un sistema interconectado que incluye un reactor anaerobio con deflectores y un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con *Typha domingensis* instalado en Chiapas, México. Que tiene el objetivo de evaluar su efectividad en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales de instituciones para futuros usos en el riego de áreas verdes. Haciendo uso de la metodología cuantitativa y experimental, realizando un monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tanto en la entrada y también en la salida de cada parte del sistema, se utilizó una muestra de agua residual de un centro de investigación, trabajando con un tiempo de retención hidráulica de 3. 2 días. Los resultados arrojaron altas eficiencias en la eliminación de contaminantes, con un 91. 5% en la Demanda Química de Oxígeno, 94. 6% en sólidos suspendidos totales y una disminución de coliformes fecales. En conclusión, los investigadores concluyeron que este sistema acoplado representa una opción tecnológica, económica y practicable que satisface las

regulaciones necesarias para el uso seguro del agua en el riego de jardines, mencionando que el humedal artificial actúa eficazmente como un tratamiento terciario crucial para la eliminación precisa de nutrientes y patógenos.

2.1.2. Nivel nacional

Camacllanqui Huamanlazo (2025) evaluó el uso de biomasa orgánica vegetal (BOV) en un reactor biológico secuencial de tipo aeróbico, con el propósito de tratar las aguas residuales generadas por una curtiembre en el distrito de San Jerónimo de Tunán, situado en Huancayo, Perú. El objetivo fue determinar la eficacia en la eliminación de cromo hexavalente (Cr VI) y considerar una opción sostenible en comparación con los métodos fisicoquímicos convencionales. se aplicó una metodología cuantitativa y experimental a nivel de planta piloto, que puso a prueba una mezcla de residuos lignocelulósicos triturados (como corontas de maíz, cáscaras de naranja y cascarillas de arroz) dentro de un sistema de flujo continuo. Utilizando muestras reales de efluentes industriales. Los resultados indicaron que el reactor logró una eficiencia de remoción de cromo (VI) superior al 94% bajo condiciones óptimas, consiguiendo transformar e inmovilizar el contaminante en la matriz vegetal y reduciendo significativamente la toxicidad del efluente tratado. En conclusión, el autor concluyó que la utilización de biomasa orgánica vegetal en reactores secuenciales representa una biotecnología eficaz, económica y ecológicamente sustentable.

Montes-Iturrizaga et al.(2023) estudiaron el Humedal Artificial de Chilca (HAC) (un ecosistema de 21,4 hectáreas en la costa de Lima, Perú) con el objetivo de llevar a cabo la primera caracterización de sus aves y analizar su relevancia para la diversidad biológica de la costa central peruana, se aplicó un método basado en conteos a través de transectos, empleando instrumentos ópticos para la identificación de las especies y la captura fotográfica de sus etapas reproductivas Utilizando una muestra obtenida de 26 evaluaciones quincenales realizadas entre diciembre de 2020 y marzo de 2022. Los resultados mostraron un total de 56 especies de aves agrupadas en

22 familias (siendo Scolopacidae la más variada), también evidenciaron el uso preferente del hábitat del humedal, el asentamiento de parihuanas (*Phoenicopterus chilensis*) y la exitosa reproducción de 4 especies. En conclusión, los autores sostuvieron que este humedal artificial representa un hábitat crucial para el descanso, refugio y reproducción de especies dentro del corredor migratorio, además de tener un significativo potencial para el ecoturismo; sin embargo, advierten que la presencia de perros salvajes, la acumulación de basura y el ingreso de vehículos son amenazas serias para su conservación.

Chavarría, Chávez, López, & Orellana (2023) realizaron la investigación sobre la existencia de coliformes fecales en el Río Opamayo y sus implicaciones respecto a la salud pública de las personas en Pampas Tayacaja, con el objetivo de examinar las repercusiones de la contaminación del agua y mejorar la calidad de los recursos acuáticos, se aplicó una metodología cuantitativa y experimental que incluyó encuestas, entrevistas y análisis laborares. Se utilizó una muestra de 30 individuos que residen en las cercanías del río, afectados por el camal municipal. Los resultados muestran que la muestra de agua fue positiva para coliformes fecales, en el cual el 66.75% de la población utiliza esta agua para actividades agrícolas o ganaderas. Además, se determinó que el 83. 3% de las enfermedades reportadas son de tipo gastrointestinal y digestivo, afectando principalmente a las mujeres (56. 7%), con un 60% de la población indicando que no recibe asistencia de las autoridades. Se concluyó que existe una gran inquietud entre los habitantes sobre los efectos de la contaminación del camal en su salud, por la falta de acciones rápidas por parte de las autoridades, así como la confirmación, a través de análisis de laboratorio, de la presencia de coliformes fecales en el río.

Medina-Valderrama et al. (2022) realizaron una evaluación del proceso Fenton como una técnica avanzada de oxidación para tratar las aguas residuales que son originadas en el matadero municipal de Chota, ubicado en Cajamarca, Perú. Con el objetivo de mejorar las condiciones operativas del sistema con el fin de incrementar la eliminación de materia orgánica medida

en DQO. se implementó un enfoque experimental y cuantitativo fundamentado en el diseño Box-Behnken, utilizando muestras del efluente y llevadas a cabo pruebas en frascos. Los resultados indicaron que las condiciones óptimas lograron una eficiencia en la remoción de DQO cercana al 80% y aumentando el índice de biodegradabilidad del efluente hasta un valor de 0.5. Como conclusión, los autores concluyeron que el proceso Fenton representa una opción efectiva y factible como tratamiento inicial, destacando que el pH se considera el factor más crítico en este proceso y que el sistema es capaz de preparar los efluentes complejos para su tratamiento biológico convencional posterior.

2.1.3. Nivel local

Parí Sedano & Sulicaray Layme (2021) realizaron un estudio sobre un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal que utiliza berros (*Nasturtium officinale*) para eliminar materia orgánica en una instalación a escala piloto, enfocándose a las aguas residuales del distrito de Yauli en Huancavelica, con el objetivo de medir la efectividad en la eliminación de este tipo de materia, aplicando una metodología práctica y con un enfoque explicativo y experimental, las muestras se recolectaron de la población de Yauli y se llevaron al humedal artificial,. Los resultados mostraron que, para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 5 días (de caudal de 12.5 ml/min), la eficiencia mínima para la eliminación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue del 28.77 % y la máxima del 42.20 % en temperaturas de 11 °C a 13 °C; mientras que en un TRH de 7 días (de caudal de 8.93 ml/min), la eficiencia mínima de eliminación de DQO alcanzó el 32.44 % y la máxima fue del 78.13 % en temperaturas de 11 °C a 15 °C. En conclusión, el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal que utiliza berros, a una escala piloto, es efectivo en la eliminación de la materia orgánica en las aguas residuales de Yauli Huancavelica.

Castro Olarte (2018) estudió un nuevo sistema de tratamiento primario que propone utilizar el reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para tratar las aguas residuales del Camal Municipal de

Huancavelica, con el objetivo de medir la efectividad en la eliminación de materia orgánica. Tras bombear las aguas residuales después de un pretratamiento a un tanque de almacenamiento en un entorno de laboratorio, se utilizó una metodología explicativo y fundamentalmente experimental para observar el funcionamiento del sistema ante diversos tiempos de retención hidráulica (TRH). Los resultados indicaron que con un TRH de 14 horas se alcanzó una eficiencia mínima de eliminación de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 33. 66% y una máxima del 76. 90% (dentro de un rango de temperatura entre 10 °C y 19 °C), además de conseguir una reducción máxima de sólidos suspendidos totales del 30. 28%. El autor concluyó que el reactor UASB es una opción práctica y aplicable para la eliminación de materia orgánica y sólidos en áreas con condiciones climáticas y de altitud similares, pudiendo optimizarse su diseño para un TRH de 14 horas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Teoría de la Fitorremediación

La teoría de la fitorremediación sostiene que ciertas especies vegetales tienen la habilidad de absorber, transformar, estabilizar o eliminar contaminantes en el agua, suelo y sedimentos mediante procesos fisiológicos y bioquímicos que se presentan en sus raíces, tallos y hojas. En los humedales artificiales, las plantas actúan como purificadores al favorecer la absorción de nutrientes como nitrógeno y fósforo, además de propiciar el crecimiento de los microorganismos que son los responsables de descomponer la materia orgánica. A nivel molecular, las raíces liberan oxígeno en la rizosfera, creando condiciones propicias para la oxidación y transformación de compuestos contaminantes presentes en aguas residuales (Arias Martínez, Betancur Toro, Gomez Rojas, et al., 2010).

Humedal Artificial

Los humedales artificiales se basan en la replicación controlada de los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que suceden de forma natural en estos ecosistemas, con el fin de eliminar contaminantes en las aguas

residuales. Estos sistemas aprovechan la interacción entre el agua, el sustrato, las plantas macrófitas y las comunidades microbianas para depurar el efluente a través de sedimentación, filtración, adsorción, absorción vegetal, transformación química y degradación biológica (Miranda Ríos & Luna Cabello, 2024).

Los humedales artificiales actúan como ecosistemas diseñados que utilizan la capacidad innata de las plantas y microorganismos para disminuir la carga contaminante, lo que permite la eliminación de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes, microorganismos patógenos y otros compuestos que están en las aguas residuales (Miranda Ríos & Luna Cabello, 2024).

Depuración natural

Indica que los ecosistemas acuáticos tienen la capacidad de mejorar la calidad del agua mediante los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan de forma natural. Estos procesos incluyen la sedimentación de partículas, la filtración a través del sustrato, la adsorción de contaminantes, la absorción de nutrientes por las plantas y la degradación biológica llevada a cabo por microorganismos. Los humedales artificiales imitan estos mecanismos naturales de manera controlada, lo que permite reducir progresivamente la carga contaminante en las aguas residuales y favorece la recuperación de la calidad del agua antes de su disposición final (Overton et al., 2023).

2.2.2. Teoría de la Biodegradación

Se basa en la habilidad que tiene los microorganismos para descomponer compuestos orgánicos complejos en formas más simples a través de reacciones metabólicas. Durante el proceso de tratamiento de aguas residuales, donde las bacterias aprovechan la materia orgánica como su principal fuente de carbono y energía de esa manera degradando las proteínas, grasas y carbohidratos que se encuentran en el efluente (Jarcia Becerra & Ortiz, 2018).

En los humedales artificiales, las bacterias, hongos y otros microorganismos utilizan la materia orgánica que está presente en aguas residuales como un recurso de energía y nutrientes, lo que genera procesos de oxidación, reducción y mineralización, esto resulta en una disminución de la concentración de contaminantes que provocan la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), mejorando notablemente la calidad del efluente (Jarcia Becerra & Ortiz, 2018).

2.2.3. Filtración

Indica que cuando el agua residual pasa por medio de un medio poroso, como la grava o el sustrato en un humedal artificial, ocurren procesos físicos y fisicoquímicos que permiten la retención de contaminantes. A nivel molecular, las partículas en suspensión, los coloides y los compuestos orgánicos presentes en el agua interactúan con la superficie del medio filtrante a través de fuerzas de atracción electrostática, adsorción y retención mecánica. Estas interacciones facilitan la inmovilización de contaminantes y aumentan el tiempo que el agua residual está en contacto con los microorganismos que se adhieren al sustrato (Estrada Pérez & López Ocaña, 2025).

En los humedales artificiales con flujo subsuperficial horizontal, la filtración es uno de los métodos principales para eliminar sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos, ya que las partículas más grandes quedan atrapadas en los espacios del medio granular, mientras que los compuestos disueltos pueden ser adsorbidos o degradados biológicamente (Estrada Pérez & López Ocaña, 2025).

2.2.4. Sedimentación

La sedimentación postula que las partículas sólidas que están suspendidas en un líquido tienden a depositarse debido a la gravedad cuando la velocidad del flujo se reduce y las condiciones hidráulicas son favorables para su asentamiento. En los humedales artificiales, este mecanismo se configura como uno de los métodos físicos más importantes para la depuración, ya que permite la eliminación de sólidos en

suspensión y parte de la materia orgánica vinculada a estos (González Díaz et al., 2022).

La presencia de vegetación acuática y el medio filtrante disminuyen la velocidad del agua residual, lo que favorece la deposición gradual de las partículas en suspensión. Además, la sedimentación promueve procesos de degradación biológica posteriores a cargo de microorganismos que están adheridos al sustrato y a las raíces de las plantas. De este modo contribuye de manera significativa a la disminución de la carga contaminante y a la mejora de la calidad del agua (González Díaz et al., 2022).

2.2.5. Transferencia de oxígeno

Se basa en el traslado del oxígeno desde un estado gaseoso a uno líquido, impulsado por las diferencias en su concentración. Este fenómeno se produce de forma natural a través de la difusión, donde el oxígeno se mueve de áreas con alta concentración a aquellas con baja concentración hasta que se logra un equilibrio. En los sistemas de tratamiento de aguas residuales, este proceso es crucial ya que proporciona el oxígeno necesario para el crecimiento de microorganismos aerobios que descomponen la materia orgánica, oxidan contaminantes (Marinez & Rodríguez, 2005).

La rapidez de la transferencia está influenciada por factores como la cantidad de oxígeno disuelto, la temperatura y el área de contacto entre el aire y el líquido. En los humedales artificiales la transferencia de oxígeno ocurre gracias a la difusión ambiental y en gran medida gracias a la intervención de las plantas microfilas (Marinez & Rodríguez, 2005).

Adsorción

Se puntualiza en la habilidad de ciertos materiales sólidos para captar moléculas, iones o sustancias disueltas que se encuentran en un líquido sobre su superficie a través de interacciones físicas o químicas. Este fenómeno tiene lugar cuando los contaminantes son atraídos y se adhieren a la superficie del material adsorbente, formando una capa que ayuda a reducir la concentración de contaminantes en el líquido (Sakadevan & Bavor, 1998).

La adsorción se combina con procesos de sedimentación, filtración y degradación biológica, y además representa uno de los mecanismos más importantes para eliminar contaminantes, principalmente fósforo, amonio, metales pesados y compuestos orgánicos disueltos. Este proceso se lleva a cabo fundamentalmente en el sustrato del humedal, que está compuesto de grava, arena, tierra o materiales porosos, que tienen superficies capaces de captar sustancias contaminantes a través de enlaces físicos y químicos (Sakadevan & Bavor, 1998).

2.2.6. Biodegradación de grasas

Es el comportamiento de aceites y grasas en aguas residuales se apoya en el principio de flotación de Arquímedes y en la Ley de Stokes, que explican que las sustancias que tienen una densidad inferior a la del agua tienden a elevarse hacia la superficie gracias al empuje generado por el fluido. Los aceites y grasas, al ser compuestos hidrofóbicos y menos densos que el agua, crean películas en la superficie o gotas que pueden fusionarse a través de un proceso conocido como coalescencia, formando partículas más grandes que facilitan su separación (Orozco Jaramillo, 2005a).

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales, como los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, estos contaminantes son eliminados mediante mecanismos combinados de flotación, retención física, adsorción en el sustrato y biodegradación por microorganismos (Orozco Jaramillo, 2005).

2.2.7. Bases Conceptuales

A) Aguas Residuales

Para OEFA las aguas residuales son aquellas que presentan alteraciones o modificaciones en relación a sus características iniciales, que estos fueron causados por diversas actividades del hombre; por ende, la adecuada disposición antes de volver a usar, es decir antes de ser vertida al cuerpo receptor en los sistemas de alcantarillado, es necesario un previo tratamiento (Ccente Rojas & Huayllani Condor, 2021).

Desde la década de los 60, aparecieron vocablo de contaminación del aire y del agua, también de la protección del medio ambiente, ecología, etc; lo cual al ser palabras comunes pasaron desapercibidos como si fueran ideas confusas. Desde esa década la humanidad ha sido bombardeada continuamente por los medios de comunicación con el pensamiento de que el hombre estaba trabajando para su autodestrucción (Ramalho, 2003).

Fuentes de contaminación de Aguas Residuales:

Se han agrupado respecto a su procedencia y pueden ser clasificadas en 4 grandes grupos:

- **Urbanas o Sociales:** Son descargas de origen doméstico y público en el que pertenecen las aguas residuales municipales como lavado de ropa, baño y desperdicios de cocina. Constituyen una mayor fuente de contaminación por los grandes volúmenes de aguas residuales producidos que son colectados por sistemas de alcantarillado. Debido a crecimiento demográfico, en el cual la mayoría de áreas suburbanas no cuentan con la conexión del sistema de alcantarillado y disponen estas directamente a los cuerpos de agua (Ramos et al., 2002).
- **Industriales:** Son originados por el desarrollo de las actividades que son de extracción y transformación de los recursos naturales para bienes de consumo y satisfacción para la sociedad. En el cual está integrada por muchos procesos como la industria química, petroquímica, de los plásticos, textil, etc. Por ende, cada una de ellos descargan considerables números de agua residual a los cuerpos receptores (Ramos et al., 2002).
- **Agropecuarias:** Es la consecuencia del uso del agua en las actividades agrícolas como de las herbicidas, las plaguicidas y los fertilizantes; para el control de las plagas y su incremento en cuanto a su productividad, lo cual estas aguas arrastran restos de estos compuestos hacia los cuerpos receptores, como también los arrastres de las excretas

de los animales que alteran los ecosistemas acuáticos (Ramos et al., 2002).

- **Naturales:** Son por causas naturales como los arrastres de la materia orgánica muerta por los escurrimientos de agua pluvial, como también los productos inorgánicos que son ocasionados por la erosión del suelo (Ramos et al., 2002).

Características de Aguas Residuales

La composición de las aguas residuales suele tener similares características entre sí, lo que se desemboca en una cierta homogeneidad para su debido tratamiento de las mismas, que tienen ciertas diferencias basadas en las actividades económicas realizadas en las aglomeraciones, también factores de densidad de población, presencia de red de saneamiento unitaria, etc.; además pueden contener contaminantes fuertes de origen industrial y esto requieran de tratamiento específico (Ramis Cirujeda; Juan, 2019).

Su composición es:

- **Materia Orgánica:** Compuestos basados por carbono, aportados por los residuos biológicos humanos desechados.
- **Sólidos en Suspensión:** Son las partículas no que no aparecen disueltas en las aguas residuales, lo cual son removidas por procesos físicos de filtración o decantación.
- **Color y Olor:** Causados por sólidos en suspensión y emisiones de gases disueltos como H₂S.
- **Aceites y Grasas:** Compuestos con densidad menor que el agua y se acumulan en la superficie.
- **Temperatura:** Valores por debajo de los 10 °C y valores encima de los 40 °C interfieren en la remoción de contaminantes.
- **Tóxicos:** Se originan en actividades industriales y comerciales.
- **pH:** Es una cualidad del agua y depende de las condiciones naturales de los materiales disueltos.

Tipos De Tratamiento

Para el grado de tratamiento sobre las aguas residuales depende principalmente de los límites de vertido para el afluente o punto de descarga. Seda una clasificación convencional de los procesos de tratamiento; tenemos al tratamiento primario que es para la remoción de los sólidos en suspensión y los sólidos flotantes, que tiene limpites para la descarga al medio receptor y también para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario; lo cual esta comprende de tratamiento biológicos convencionales; respecto a los tratamientos terciarios eliminan los contaminantes que no fueron eliminados en el segundo tratamiento (Ramalho, 2003).

Tabla 1

Tipos de tratamiento de aguas residuales

TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Tratamiento Primario
Cribado o desbrozo Sedimentación
Flotación
Separación de Aceites
Homogeneización
Neutralización

Tratamiento Secundario

Lodos Activados

Aireación prolongada

Estabilización por contacto

Otras modificaciones del sistema convencional de lodos activados.

Lenguaje con aireación

Estabilización por lenguaje

Filtros biológicos

Discos biológicos (Percoladores)

Tratamientos anaerobios

Tratamiento Terciario O Avanzado

Microtamizado

Filtración

Precipitación y coagulación

Adsorción

Intercambio Iónico

Osmosis Inversa

Electrodiálisis

Cloración y ozonización

Procesos de reducción de nutrientes

Otros

NOTA: Ramalho, (2003).

B) Humedales Artificiales

Los humedales artificiales creados por el ser humano y son sistemas no convencionales que se basan en procesos microbiológicos, biológicos, físicos y químicos para la depuración de aguas residuales que requieren inversiones económicas reducidas (Barreto Acha, 2014).

Con un diseño adecuado y exacto, además de una operación y mantenimiento adecuados, se puede transformar el tratamiento de

efluentes en un proceso de bajo consumo energético. Se realiza especialmente en comunidades pequeñas, áreas rurales; donde hay amplios espacios disponibles para la construcción de humedales (Barreto Acha, 2014).

Características de los Humedales Artificiales

Los humedales son zonas que contienen con un terreno empapado de agua y una comunidad en vida (plantas y animales) que se han adaptado a la existencia en ambientes acuáticos (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Tienen 3 componentes típicos:

- **Presencia de agua:** Se encuentra inundada permanentemente que tiene una profundidad no menos a un metro.
- **Suelos característicos:** Clasificados como hídricos.
- **Vegetación:** Están las plantas macrofitas que se adaptan a las condiciones hidrológicas y del suelo.

Tipos de Humedales Artificiales

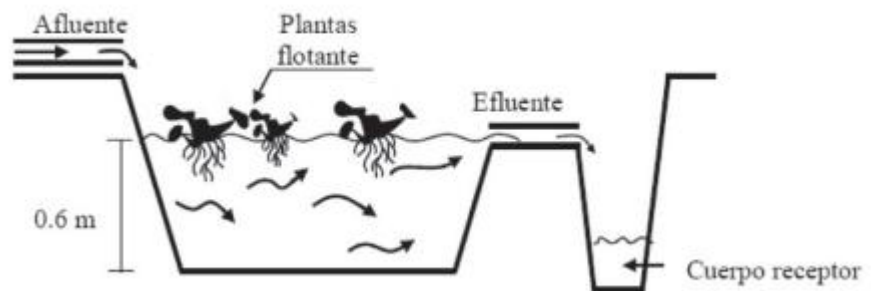
❖ **Humedal Artificial Flujo Superficial:** Son canales con la superficie del agua al descubierto con la atmosfera y el suelo formado por tierra relativamente impenetrable, con una vegetación emergente y los niveles de agua que están entre 0.1- 0.6 metros. El tratamiento se realiza en la circulación lenta del agua por medio de tallos y raíces de la vegetación (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Se dividen en el sistema según al tipo de macrofitas:

Sistemas con macrofitas flotantes: Constituidos por lagunas con niveles bajos de agua y con plantas macrofitas que en la superficie están flotando (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Figura 1

Sistemas macrofitas flotantes

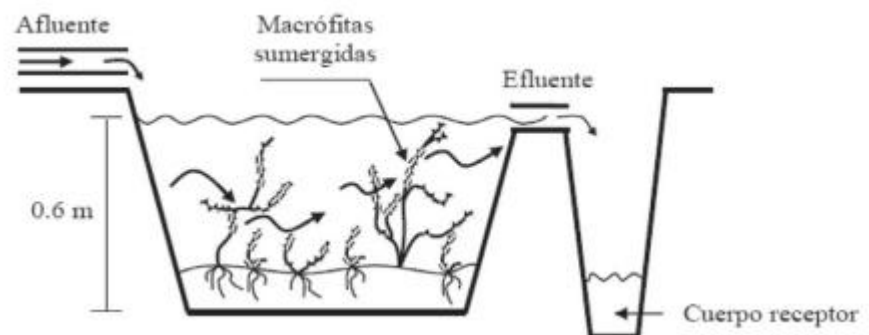


NOTA: Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al. (2010).

Sistemas con Macrofitas Sumergidas: Constituidos por lagunas de un bajo nivel de agua que tienen plantas plantadas macrofitas, que crecen si el agua tiene oxígeno disuelto con alto contenido de materia orgánica biodegradable (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Figura 2

Sistemas con macrofitas sumergidas



NOTA: Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al. (2010)

❖ Humedal Artificial de flujo Subsuperficial

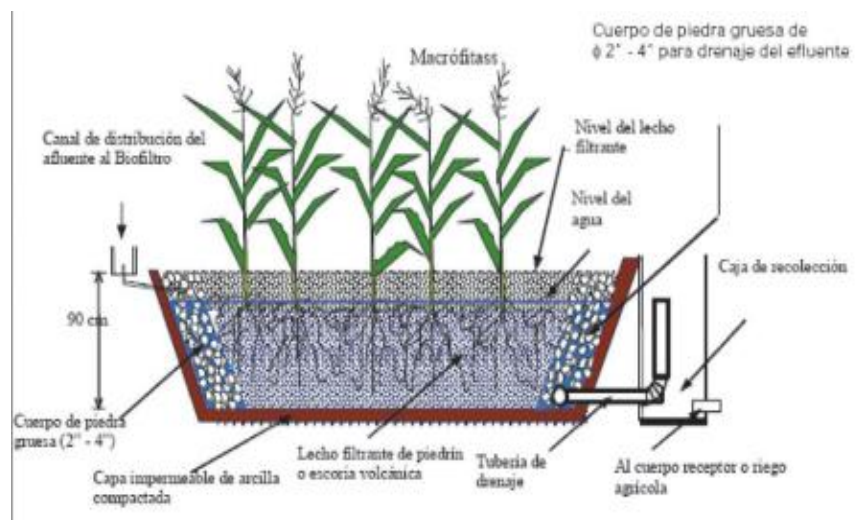
Se trata de un filtro biológico que este relleno de un medio poroso como la grava, piedra volcánica; en el cual, las plantas

macrofitas se siembran en la superficie del lecho filtrante. Lo cual las aguas residuales se infiltran, donde el nivel de agua se encuentra por debajo de la superficie del medio poroso (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Humedales de flujo Horizontal: Las aguas residuales fluyen de manera lenta desde el área de distribución en el ingreso del humedal, en una dirección horizontal por medio del lecho filtrante, hacia la superficie en la recolección del efluente (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Figura 3

Humedales de flujo horizontal

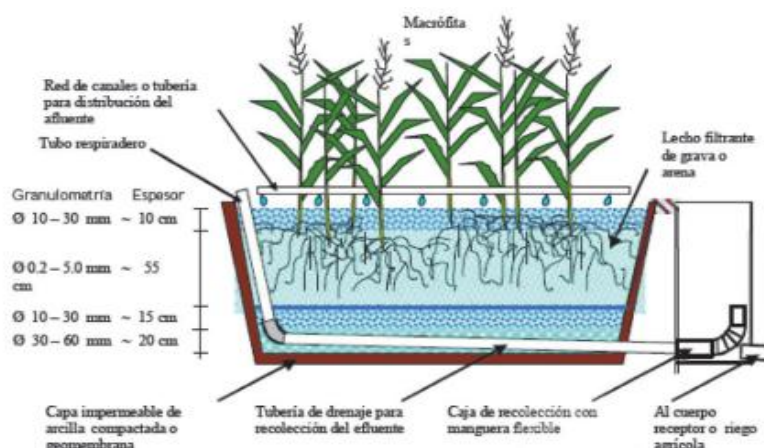


NOTA: Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al. (2010)

Humedales de Flujo Vertical: Las aguas residuales fluyen de manera uniforme sobre l superficie del lecho filtrante y después desembocan en la zona de recolección (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Figura 4

Humedal de flujo vertical



NOTA: Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al. (2010)

Ventajas y Desventajas de los Humedales Artificiales

La comparación es necesaria para saber las ventajas y desventajas de la aplicación de los humedales artificiales ya sea superficial o subsuperficial (Delgadillo et al., 2010).

Tabla 2

Comparación de los tipos de humedal artificial

	Humedal Superficial	Artificial Subsuperficial
Tratamiento	Son tratamientos de flujos secundarios (que son aguas ya tratadas por otros medios). Lagunas, biodiscos, fangos activados, etc.	Tratan flujos primarios (Aguas pre tratadas) Tanque de Imhoff, pozos sépticos.
Operación	Opera con baja carga orgánica	Opera con alto nivel de carga orgánica

Olor	Puede ser controlado.	No existe.
Insectos	El control es caro.	No existe
Protección Térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción.	Buena, se debe por la acumulación de restos vegetales y flujo subterráneo donde el agua conserva una temperatura casi constante.
Área	Usan superficies de mayor tamaño.	Usan superficies de menor tamaño.
Costo	Son de menor costo	Son de mayor Costo
Valor Ecosistema	Mayor valor para la vida salvaje.	Menor Valor para la vida.
Usos Generales	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas.	Tratamiento para casas aisladas y núcleos menores de 200 hab.
Operación	Tratamientos adicionales a los sistemas convencionales.	Puede usarse como tratamiento secundario.

NOTA: Delgadillo et al. (2010).

Comparación entre Humedales de flujo Subsuperficial Horizontal y Vertical

Tabla 3

Comparación de HA de flujo vertical y horizontal

	HORIZONTAL	VERTICAL
Funcionamiento	Continuo	Discontinuo

Estado Oxidación	Mas reducido	Mas oxidado
Eficiencia	Mas superficie	Menos superficie
Carga Superficial	4-6 g DB05/m2. d	20.40 g DBO5/m2. d
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Mas compleja

NOTA: Delgadillo et al. (2010).

Construcción De Los Humedales Artificiales

Es una tecnología de depuración de las aguas residuales, que es una mejor opción para ser usada en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de pequeños núcleos urbanos (Delgadillo et al., 2010).

Para su implementación se sugieren los pasos:

- El reconocimiento del Terreno.
- Los estudios Geotécnicos.
- Actividades de desmonte.
- Levantamiento topográfico.
- El uso de energía eléctrica.
- Construcción del dique de construcción.
- La construcción de cámaras de Registro.
- Impermeabilización del dique (fosa o embalse).
- Ensamblado del sistema de drenaje o colección.
- Llenado de gravas y las arenas.
- Ensamblado del sistema de aplicación.

C) Planta Junco Totorá

La planta Totorá (*Scirpus californicus*) es una planta Fito depuradora es una de las macrofitas más conocidas y difundidas. Forma de parte de la amplia gama de plantas fitodepuradoras

empleadas en los sistemas no convencionales de depuración (Delgadillo et al., 2010).

Figura 5

Planta junco totora



NOTA: Delgadillo et al. (2010).

Características Generales

“Es una hierba perenne, acuática, arraigada al sustrato emergente, rizoma horizontal robusto, con raíces que llegan a medir entre 30 y 45 cm. Tallo de 60 a 120 cm de alto, triangular, liso, que sobresale de la superficie del agua. Hojas reducidas a vainas. pseudolateral, Inflorescencia mutante, compuesta multivariada; involucro de 2 a 3 brácteas más cortas que la inflorescencia; espiguillas aisladas, de 8 a 12 mm, lanceolado-oblongas; glumas de ápice emarginado con un mucrón subapical encorvado hacia afuera. El fruto es una nuez obovoide, plano-convexa, de color castaño”(M. Torres Falcon, 2025).

La Totora son ancestros directos de los “vegetales vasculares”. Poseen epidermis muy delgadas con el fin de menorar el paso de los gases, agua, nutrientes y tejidos; que posee grandes espacios intercelulares que

forman una red de vías con hueco en donde se almacena y se circule el aire con oxígeno (Delgadillo et al., 2010).

- Reino: *Plantae*.
- División: *Magnoliophyta*.
- Clase: *Liliopsida*
- Orden: *Cyperaceae*
- Familia: *Cyperales*
- Género: *Scirpus*
- Especie: *Scirpus californicus tator*

Hábitat y distribución

La planta Totorá se encuentra distribuido en los terrenos inundados, orillas de lagos, canales y arroyos. Se les puede ubicar hasta los 4000 m s. n. m., en suelos de inundación permanente y en aguas de profundidad. Además, tolera pH de 4 a 9 y temperaturas de 16 a 27 °C (M. Torres Falcon, 2025).

Eficiencia de remoción

Según Torres Falcon (2025) y demás mencionan en el “Catálogo de especies de plantas eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas y/o municipales” elaborado por el MVCS que, en los humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal, a escala piloto, que tiene un caudal de 4 m³/día, respecto al tiempo de retención hidráulica es de 6 días, se logró obtener una remoción del 98.58 % para DBO₅, 92.96 % para DQO y 99.59 % para coliformes termo tolerantes.

D) Materia Orgánica

Están constituidos por carbono que son causados mayormente por los residuos biológicos que son desechados por las personas por medio de un sistema de alcantarillado. También descargan ciertas industrias como los mataderos, alcoholera, etc.; además las lluvias arrastran hidrocarburos vertidos en calzada, etc. (Ramis Cirujeda; Juan, 2019).

Tabla 4*Compuestos de la Materia orgánica*

COMPUESTO	% APORTACION A MATERIA ORGANICA
Proteínas	40-60%
Hidratos de Carbono	25-50%
Grasas	< 10%

NOTA: Torres Falcon (2025).

❖ **Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que se necesita para que pueda desintegrar a la materia orgánica y la inorgánica. Se aplica para estimar la cantidad total o global de contaminantes orgánicos que presenta en las aguas residuales (Romero Caballero & Albornoz Rupire, 2023).

Para poder interpretar los resultados del DBO5 se hace uso de la tabla:

Tabla 5 de DBO*Criterios de DBO*

DBO	CRITERIO	DESCRIPCION
$\leq a\ 10\ mg/L$	Excelente	Sin contaminación
$> a\ 10\ mg/L\ y\ \leq a\ 20\ mg/L$	Buena Calidad	Mínimo contenido de materia orgánica biodegradable.
$> de\ 20\ mg/L\ y\ \leq a\ 40\ mg/L$	Aceptable	Propenso a contaminación con capacidad de autodepuración.

$> \text{de } 40 \text{ mg/L y}$ $\leq \text{a } 200 \text{ mg/L}$	Contaminado	Aguas con efluentes de aguas residuales crudas, primordialmente de origen municipal.
$> \text{de } 200 \text{ mg/L}$	Muy contaminado	Aguas con un elevado impacto de efluentes residuales crudas las municipales y no municipales.

NOTA: Elaboración propia

Los 5 días de incubación es para lograr que sea un plazo ágil, fiable; donde se logra obtener la oxidación de un porcentaje elevado de materia orgánica biodegradable, y finalmente porque en este periodo no se ha terminado por completo el oxígeno en la oxidación de nitrógeno amoniacal (Ramis Cirujeda; Juan, 2019).

❖ **Demanda Química De Oxígeno (DQO)**

Es un parámetro de manera global que es usado como indicador de contenido orgánico que están en las aguas residuales, que es usado mayormente sin monitoreo de estaciones de tratamiento de efluentes líquidos (Romero Caballero & Albornoz Rupire, 2023).

Se puede determinar por los métodos de titulométrico y colorimétrico; donde el primer método tiene ventaja, ya que se puede demostrar la presencia de turbidez elevada y residuos de digestión con dicromato (Romero Caballero & Albornoz Rupire, 2023).

Es el volumen del oxígeno que se necesita para realizar la oxidación de la fracción orgánica de una muestra sujeto a una oxidación al dicromato o permanganato (Ramalho, 2003).

Relación de DBO Y DQO

A mayores niveles de estos parámetros de DBO Y DQO existe mayor contaminación del agua. La relación entre el contenido de DQO

Y DBO es importante para poder determinar el tipo de tratamiento que se va aplicar si es biológico o no (Ramis Cirujeda; Juan, 2019).

Para aplicar los tratamientos Biológicos se requiere que mayoritariamente el agua residual contenga material orgánico biodegradable. El método más fácil para poder determinar si la relación es la adecuada o no es el coeficiente entre la DBO5/DQO (Ramis Cirujeda Juan, 2019).

Tabla 6

Relación de Biodegradabilidad

RELACION DBO5/DQO	BIODEGRADABILIDAD
< 0.4	Alta
0.2-0.4	Media
< 0.2	Baja

NOTA: (Ramis Cirujeda Juan, 2019).

E) Potencial De Hidrogeno (pH)

El pH presenta índices de acidez o alcalinidad presente en una solución, en el cual se refleja el equilibrio entre los iones tanto de hidrogeno como de hidroxilo en el agua. El pH tiene valores de una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro. También indican que el pH que tiene un rango de 6.0 a 9.0 se considera protector en la vida acuática. El impacto al ambiente respecto a los factores sinérgicos, que es resultado de la combinación de dos o más sustancias generando efectos masivos. En el agua el pH tiene un rol importante para la determinación de posibles efectos tóxicos de estas sustancias (Romero Caballero & Albornoz Rupire, 2023).

Respecto a una solución el pH es el logaritmo negativo de la acción del ion hidrógeno y también es una medida de equilibrio que tiene por diferentes compuestos disueltos. Para medir el pH de una solución

acuosa se mide electrométicamente con un electrodo de vidrio, este instrumento se llama potenciómetro. En la mayoría de fuentes de agua natural el pH oscila entre 6,5 y 8,5. Los valores del pH van de 0 a 14 en disolución acuosa, cuando son inferiores a pH 7, ácidas y las que tiene pH mayores a 7, son alcalinas o básicas; y cuando el pH es 7 indica que la disolución es neutra (Molinares, 2006).

F) Color

Constituye la luz no absorbida. Para el agua hay variedad de colores que son del azul hasta el rojo, y estos van a depender de las diferentes sustancias químicas que están disueltas en el agua, también del plancton. Están las proteínas, las grasas, los carbohidratos, etc. Así también las algas verdeazules que hacen un color verdoso en el agua y las diatomeas que hacen un color amarillento al agua, esto es por la presencia del azufre (Roldán, 2003).

El color aparente del agua es debido a la acción de la luz sobre los materiales suspendidos, junto con el tipo de fondo o reflexión del cielo; por ello para conocer el color real del agua se debe centrifugarse para liberarla de las fuentes que le brindan ese color que aparenta ser (Roldán, 2003).

Estos causan el cambio de color:

- ❖ Efluentes de aguas industriales.
- ❖ Efluentes de aguas Domesticas.
- ❖ Efluentes de actividades agrícolas
- ❖ Efluentes de la ganadería.

G) Temperatura

En las etapas de tratamiento de las aguas residuales es un importante parámetro físico, ya que interviene en la composición del agua, donde altera la vida acuática, cambia los niveles de concentración del oxígeno disuelto (OD) como también las velocidades de las reacciones químicas y actividad bacteriana. La temperatura optima esta entre 20 °C a 35°C para actividades biológicas y el desarrollo de la actividad bacteriana; por encima de estas temperaturas los valores de

digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden y cuando está muy abajo del rango es lenta la reacción metanogénica y dejan de operar las bacterias nitrificantes (Ramírez Jiménez, 2021).

H) Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Se encuentran el plancton, los minerales de las arcillas, la arena, el limo, coloides, agregados, materia orgánica e inorgánica que están divididos finitamente y otros organismos en el agua. Proviene de diferentes fuentes y se dividen respecto a su composición orgánica o inorgánica, que pueden ser de fuentes alóctonas o autóctona, etc. (Beltrán-Vargas & Rangel-Ch., 2012).

Características de los SST

- Son retenidas mediante un filtro de fibra de vidrio que tiene un tamaño de 0.45 mm; se queda luego de que se evapore el agua entre 103 °C-105 °C. El material que se sedimenta en 45 minutos en un cono de Imhoff se llama sólidos sedimentables. En el agua superficial contiene variables de material en suspensión, donde es probable que llegue a niveles altos (Jiménez Cisneros, 2001).
- Los SST en el agua incrementan la turbiedad, aunque no haya relación depende del tamaño y la distribución de estas partículas; para que sean desestabilizados en el agua debe haber la presencia de Fe (III) y Al (III), que van a formar flóculos y se va precipitar (Jiménez Cisneros, 2001).

I) Aceites Y Grasas

Son sustancias de menor densidad que el agua, es por ello que el agua hace que flote las gotas de aceite (Orozco Jaramillo, 2005b).

Proceso de Separación

Para realizar la separación de aceites y grasas que mayormente contienen en las aguas residuales industriales, se hace uso de las trampas de grasa, que se consiguen comercialmente, con su específico flujo; como también es necesario diseñar separadores de aceites para

las instalaciones industriales que se realizan con la guía de American Petroleum Institute, que es llamado separadores API (Orozco Jaramillo, 2005b).

J) Coliformes Totales

Grupo coliformes

Estos están en el tracto intestinal del hombre y en los animales y son las enterobacterias, así también en especies propias del suelo y el agua; todos pertenecen a los bacilos Gram (-) no esporulados y estos originan la producción de la lactosa a 35 °C con acidez y gas, lo cual implica su aislamiento e identificación en muestras ambientales y alimentos; que se llaman en conjunto los coliformes totales (Lazcano Carreño, 2016).

Coliformes Termotolerantes

Pertenecen al propio tracto intestinal de los animales que poseen sangre caliente, y estos producen lactosa a 44-45 °C con gas y acidez, lo cual son indicadores de contaminación fecal de muestras ambientales y alimentos. El tipo que mayormente predomina es *Echerichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*; sin embargo, la *Escherichia Coli* se diferencia a los demás, ya que tiene en la enzima la presencia de B-gluconidasa y es aplicado como indicio de contaminación fecal en todo tipo de agua (Lazcano Carreño, 2016).

2.3. Definición De Términos:

- a) Agua Residual:** Es el líquido que ha sido empleado en actividades del hogar, industriales o comerciales y que incluye los elementos contaminantes físicos, químicos y biológicos que modifican su calidad natural (Metcalf & Eddy, 2014).
- b) Aguas residuales de camal:** Son los desechos generados durante el sacrificio y limpieza de animales en un camal, que contienen sustancias como sangre, grasas, aceites, materia orgánica y organismos microscópicos (Chávez Ortiz et al., 2016).

- c) **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):** Este es un parámetro biológico que evalúa la cantidad de oxígeno disuelto que utilizan los microorganismos para oxidar y estabilizar materia orgánica biodegradable en una muestra de agua, en condiciones aeróbicas controladas a 20 °C durante cinco días de incubación estándar (Incacutipa Mamani, 2025).
- d) **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Este parámetro mide la cantidad de oxígeno equivalente necesario para oxidar químicamente toda la materia orgánica y las sustancias inorgánicas que pueden ser oxidadas en el agua (Janeiro, 2012).
- e) **Humedal Artificial:** Es un sistema creado artificialmente para procesar aguas residuales a través de métodos naturales realizados por plantas, microorganismos y medios como grava y arena que actúan como filtros (Vymazal, 2010).
- f) **Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal:** Este tipo de humedal artificial permite que el agua residual fluya horizontalmente por debajo de la superficie del lecho filtrante, impidiendo el contacto directo con el entorno y promoviendo la eliminación de contaminantes (Papaevangelou et al., 2016).
- g) **Junco Totora:** Es una planta acuática emergente, que resiste altos niveles de contaminación. Su función principal en sistemas de tratamiento es transferir oxígeno al sustrato a través de sus raíces, fomentando la degradación por bacterias y absorbiendo nutrientes del efluente al mismo tiempo (Alarcón Maquera, 2024).
- h) **Materia orgánica:** La materia orgánica en los efluentes líquidos está compuesta de compuestos de carbono que provienen de plantas, animales y actividades humanas, como proteínas, carbohidratos y grasas. Su presencia consume el oxígeno disuelto en el cuerpo receptor durante su proceso de descomposición bacteriana, siendo cuantificada mediante DBO y DQO (Trinidad-Santos & Velasco-Velasco, 2016).

- i) **Planta piloto:** Es una instalación de pruebas en pequeña escala que funciona en condiciones reales, con el propósito de analizar, mejorar y confirmar la eficiencia de un proceso tecnológico antes de su implementación a gran escala (León Torres et al., 2019).
- j) **Schoenoplectus californicus:** Es una planta perenne con raíces profundas que soporta efluentes con alta carga de materia orgánica. Su principal utilidad radica en su capacidad para introducir oxígeno del aire en la rizosfera, creando microzonas aeróbicas en el sustrato, lo que acelera la degradación de los contaminantes por microorganismos (Hidalgo-Cordero & García-Navarro, 2018).
- k) **Tratamiento de aguas residuales:** Se trata de un conjunto de etapas físicas, químicos y biológicos que cambian las características del agua contaminada. Su objetivo principal es eliminar sólidos, materia orgánica y sustancias tóxicas, disminuyendo la carga contaminante a niveles seguros antes de devolver el agua a los cuerpos hídricos (Ramalho, 2021).

2.4. Hipótesis:

2.4.1. Hipótesis General:

- La planta piloto del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con junco Totorá (*Schoenoplectus californicus*) muestra una capacidad de remoción mayor a 60% de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, reduciendo notablemente sus niveles de concentración y mejorar la calidad del efluente tratado.

2.4.2. Hipótesis Específicas:

- Los parámetros físico-químicos (pH, Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, aceites y grasas) son removidos exitosamente en la planta piloto del humedal artificial con flujo subsuperficial horizontal con junco totora (*Schoenoplectus californicus*) de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica.

- Los parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes) son removidos exitosamente en la planta piloto del humedal artificial con flujo subsuperficial horizontal con junco totora (*Schoenoplectus californicus*) de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica.
- Los parámetros físico-químicos y microbiológicos del efluente que fueron tratados mediante la planta piloto de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con la planta Junco Tatora (*Schoenoplectus californicus*) cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, categoría 3 (bebida de animales y riego de vegetales), así como en los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por la norma vigente.

2.5. Variables De Investigación:

2.5.1. Variable Dependiente

- ❖ Calidad del Agua Tratada del camal municipal de Huancavelica.

Dimensiones:

- Parámetros físico-químicos
- Parámetros microbiológicos

Indicadores:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Potencial de Hidrogeno (pH)
- Temperatura
- Aceites y Grasas
- Coliforme Termotolerantes
- Solidos suspendidos totales

2.5.2. Variable Independiente

- ❖ Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal

Dimensiones:

- Parámetros hidráulicos.

Indicadores:

- Área del Humedal Artificial.
- Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).
- Caudal
- Medio de soporte

2.5.3. Variable Interviniente

- ❖ Temperatura del agua residual del camal municipal.
- ❖ Edad y estado de crecimiento de la planta junco Totorá.
- ❖ Tamaño del medio de soporte

2.6. Operacionalización De Variables:

Tabla 7

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad De Medida	Escala De Medición	Instrumento
Variable Independiente Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal	Los sistemas de humedales artificiales con flujo subsuperficial horizontal están creados para procesar aguas residuales, empleando un material filtrante permeable y plantas macrófitas, permitiendo que el agua fluya de manera horizontal por debajo de la superficie del sustrato. En estos sistemas se llevan a cabo interacciones físicas, químicas y biológicas (Arias Martínez, Betancur Toro, Gomez Rojas, et al., 2010).	Para el proyecto de investigación el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal para tratar aguas residuales. Se diseñará un humedal artificial que tiene un tiempo de retención hidráulica de 5-7 días. Donde se evaluará la calidad de la planta junco Totorá y la remoción de contaminantes en el agua residual.	➤ Parámetros hidráulicos.	➤ Área del humedal. ➤ Tiempo de Retención Hidráulica (TRH). ➤ Caudal ➤ Medio de soporte	➤ m ² ➤ Días. ➤ L/s ➤ Tipo	➤ Razón ➤ Razón ➤ Razón ➤ Nominal	➤ Ficha de registro. ➤ Calendario y/o ficha de registro ➤ Cronometro y probeta ➤ Ficha de observación

Variable Dependiente Calidad del agua tratada del camal municipal de Huancavelica	La calidad del agua se constituye una condición determinada por la interacción de sus propiedades físico-químicas microbiológicas, que son evaluadas mediante parámetros y criterios técnico-científicos estandarizados. Lo cual, permiten establecer el nivel de aptitud del recurso hídrico para diversos usos, como el riego, la recreación y demás actividades que requieren condiciones óptimas para la protección de la salud y el medio ambiente(Castillo & Rangel P., 2012).	La evaluación de la calidad del agua tratada se dará en el afluente y efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, el cual las muestras se enviarán a un laboratorio para su análisis correspondiente sobre los parámetros físico-químicos y microbiológicos; además se evaluará los parámetros insitu, la temperatura del agua y el pH.	➤ Parámetros físico-químicos	➤ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	➤ mg/L	➤ Razón	➤ Incubadora de DBO
				➤ Demanda Química de Oxígeno (DQO)	➤ mg/L	➤ Razón	➤ Digestor y espectrofotómetro
				➤ pH	➤ Unidad de pH	➤ Intervalo	➤ pH-metro
				➤ Temperatura	➤ °C	➤ Intervalo	➤ Multiparámetro
				➤ Aceites y Grasas	➤ mg/L	➤ Razón	➤ Método gravimétrico
				➤ Sólidos suspendidos totales	➤ mg/L	➤ Razón	➤ Método gravimétrico
				➤ Coliformes Termotolerantes	➤ NMP /100 ml	➤ Razón	➤ Material de laboratorio para método NMP e incubadora bacteriológica.
			➤ parámetros Microbiológicos				

Variable Interviniente Condiciones operativas y ambientales del humedal artificial	Las condiciones de operación y del ambiente del humedal artificial incluyen factores hidráulicos, físicos, químicos y climáticos. Estos influyen en cómo funciona el sistema de tratamiento su efectividad (Miranda Ríos & Luna-Pabello, 2024).	Se supervisarán y documentarán las circunstancias operativas y ambientales del humedal artificial a lo largo del tiempo de evaluación, ya que estas pueden afectar la eficacia en la eliminación de contaminantes se medirán de forma regular para reducir su impacto en los resultados obtenidos y asegurar que las variaciones observadas en la calidad del agua residual sean precisas.	➤ Ambiental	➤ Temperatura del agua	➤ °C	➤ Intervalo	➤ Multiparámetro portátil
				➤ Edad y crecimiento de la planta Junco Totorá	➤ Días y m	➤ Razón	➤ Ficha de campo
			➤ Físico	➤ Tamaño del medio de soporte (grava)	➤ cm	➤ Razón	➤ Calibrador Vernier

NOTA: Elaboración Propia.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Ámbito espacial y temporal

3.1.1. Ámbito Espacial

La investigación se llevará a cabo en el Perú, en el departamento de Huancavelica, en la provincia de Huancavelica y el distrito de Huancavelica. El estudio de campo se desarrollará en el camal municipal de Huancavelica ubicado en el Jr. Jorge Chávez S/N en el barrio de Yananaco- Callqui Chico.

A) Ubicación Geopolítica:

Departamento: Huancavelica

Provincia: Huancavelica

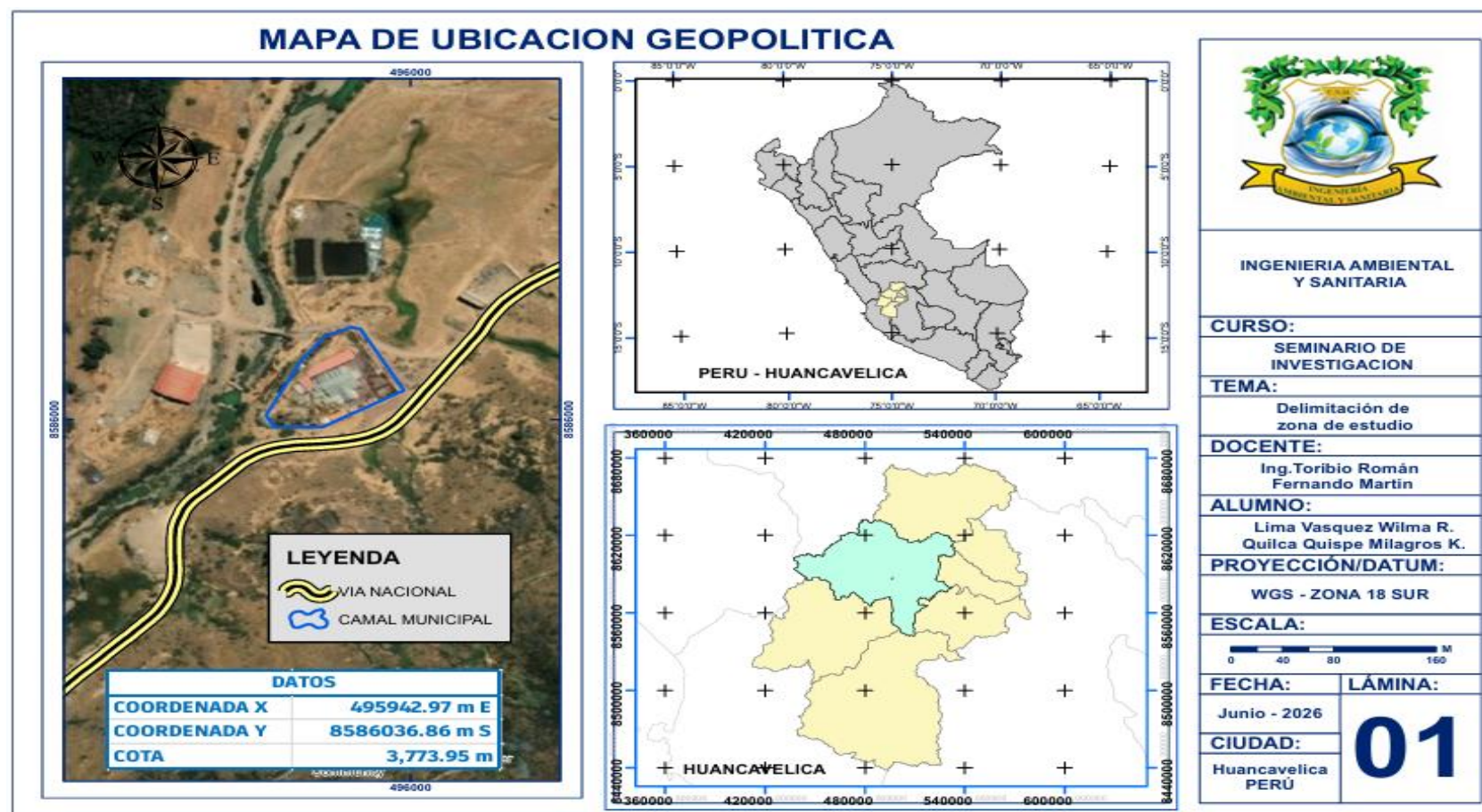
Distrito: Huancavelica

Lugar de Estudio: Camal Municipal de Huancavelica

Altitud: 3776 m.s.n.m.

Figura 6

Mapa de ubicación geopolítica



NOTA: Elaboración propia

B) Ubicación Geográfica:

El camal Municipal de Huancavelica se encuentra a 1.5 km de la ciudad de Huancavelica, ubicado en el Jr. Jorge Chávez S/N en el barrio de Yananaco-Callqui Chico.

Coordenadas UTM: 495942.97 E, 858636.86 N

Latitud: 2° 47' 26" S

Longitud: 75° 2' 15" W

Altitud: 3,773 m.s.n.m.

Figura 7

Ubicación geográfica



NOTA: Elaboración propia

C) Clima en Huancavelica

El clima de Huancavelica combina climas fríos, en las zonas más altas tiene un clima templado en los valles y quebradas que no supera los 21° C. En

las zonas altas, están las cumbres que tienen nieve, donde el clima es seco (Eguren, 2013).

Tiene un clima diverso que son conocidos primordialmente por tener baja temperaturas, que pueden llegar hasta los -8°C en algunas noches y madrugadas en los meses de junio a agosto (Ccanto et al., 2018).

3.1.2. Ámbito Temporal

El proyecto de investigación se realizará desde el mes de abril del 2026 hasta el mes de junio del 2027, donde se realizará las evaluaciones pertinentes de cada una de las variables para verificar la eficiencia en la remoción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, como también se evaluará si cumple o no con los Estándares de calidad Ambiental de Agua en la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), así también si cumplen con los límites máximos permisibles (LMP).

3.2. Métodos de Investigación

A) Método general:

Métodos Científico

Se hará uso del método científico, ya que facilitará la realización del análisis de manera estructurada, objetiva y comprobable, a través de la observación del problema, la creación de hipótesis, la realización de experimentos y el análisis de los resultados. Este enfoque nos permitirá verificar la efectividad del humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial con la totora en el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, logrando resultados confiables mediante la valoración de los parámetros de calidad del agua (Bunge, 2000).

El método científico consiste en un conjunto de procedimientos organizados, sistemáticos y lógicos que permiten examinar los fenómenos del mundo real de forma objetiva. Se fundamenta en observar, identificar y definir problemas, crear hipótesis, realizar experimentos, analizar resultados y validar la información adquirida, este enfoque se distingue por

su capacidad de verificación, su rigor y su apoyo en evidencias, lo que ayuda a eliminar percepciones personales y obtener resultados confiables (Tamayo & Tamayo, 2000).

B) Métodos Específicos:

➤ **Método hipotético-deductivo**

De acuerdo con Hernández Sampieri; Roberto et al. (2014) este método de investigación comienza con la formulación de una hipótesis que busca explicar un fenómeno específico. A partir de esta hipótesis, se hacen deducciones que luego se validan a través de la observación, experimentación y análisis de los resultados, lo que permite aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

➤ **Método analítico**

Según Bernal; Cesar (2010) este método se centra en el análisis de un fenómeno a través de la descomposición de sus elementos o componentes fundamentales, con el objetivo de estudiar cada parte de forma aislada y entender sus propiedades, conexiones y comportamiento en el fenómeno analizado.

➤ **Método cuantitativo**

Para Hernández Sampieri; Roberto et al.(2014) este método representa un enfoque de investigación que implica la recolección y el análisis de datos numéricos para evaluar variables, verificar hipótesis e identificar patrones de conducta usando procedimientos objetivos. Se distingue por emplear mediciones, herramientas de evaluación y análisis estadístico para lograr resultados que puedan ser confirmados.

3.3. Tipo de investigación

A) Investigación aplicada:

Se hará uso la investigación aplicada ya que es esencial para tomar decisiones y disponer políticas y estrategias. Se caracteriza principalmente es en el énfasis de solucionar problemas o situaciones (Namakforoosh Naghi, 2000).

Es un eslabón que se encuentra en el centro tanto del sistema de conocimientos científicos y la aplicación práctica, es decir uso de teorías y leyes científicas ya comprobadas para solucionar situaciones de la sociedad (Díaz, 2009).

Son necesarios en la práctica y en la científica, donde los resultados son sometidos a afirmaciones empíricas respecto a las investigaciones teóricas. Además, esta investigación motiva el desarrollo de investigaciones fundamentales al tener una relación directa con la ciencia con novedosos problemas prácticos que necesitan una solución, es decir nuevas explicaciones teóricas (Díaz, 2009).

3.4. Nivel de investigación

A) Explicativo o experimental:

La investigación se aplicará el nivel de investigación de tipo explicativo, el cual está dirigido a comprobar hipótesis, en el cual se verifica y se realiza el análisis de las causas (variables independientes) y sus resultados que son hechos variables (variables dependientes); debido a ello es necesario disponer de variables donde se presente un grado de complejidad por el cual los resultados impliquen explicaciones que aporten al conocimiento científico. Esto conlleva esfuerzo en el investigador, mayor capacidad de análisis, síntesis y también interpretación (Mendez Alvarez, 2020).

Se basa en la prueba de la hipótesis e indaga que los veredictos lleven a la formulación o la contra respecto a las leyes o principios científicos. Por ello, el investigador propone metas u objetivos de como estudiar el porqué de las cosas, de las situaciones o fenómenos; se analizan las causas y los efectos respecto a la relación de las variables (Bernal Torres et al., 2006).

3.5. Diseño de investigación

A) Diseño experimental

Es el método para diseñar experimentos y analizar los resultados obtenidos, lo que busca es la relación entre la causa-efecto, en el cual explican un

fenómeno natural; se basa en la asunción de dos hipótesis; el error sigue una distribución normal y hay igual variabilidad entre errores (Yuin Wu & Alan Wu, 1996)

Se pueden dividir en preexperimentales, donde no hacen uso de métodos de aleatoriedad para medir factores extraños. Cuasi experimentales o estadísticos, donde el investigador no tiene la potestad de obtener la totalidad de manipulación de los horarios o distribución de unidades de tratamiento que están a prueba y experimentales verdaderos (Kinnear & Taylor, 2007).

El tipo de diseño experimental que se utilizara en la investigación es experimentales verdaderos, donde el investigador tiene la potestad de designar aleatoriamente unidades de prueba antes y después con un grupo de control, en el están el diseño de prueba previa y posterior con un grupo de control (Kinnear & Taylor, 2007).

Como se muestra en el esquema de diseño de grupo de control solo pre test y post test:

GE:	R	O₁	X	O₂
GC:	R	O₃		O₄

Donde:

GE: Grupo experimental

GC: Grupo de control

R: Asignación aleatoria

X: Tratamiento o estimulo

O₁ y O₃: Pretest

O₂ y O₄: Posttest

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

La población viene a ser el grupo o conjunto de elementales, objetos o seres que tienen características comunes, ya sean en número limitado o ilimitado. Esto puede incluir familias, objetos, empresas, individuos, y otros componentes. También se refiere a todas las unidades que fueron objeto de análisis en una investigación durante un período específico (Valderrama, 2013).

La población de estudio se compone del efluente producido en el Camal Municipal de Huancavelica, resultado de las actividades relacionados con el procesamiento de animales y la limpieza del lugar. El camal genera un flujo promedio de (17.42 m³/día), es decir 0.201 L/s de aguas residuales, las cuales forman la población de estudio y servirán de base para diseñar el humedal artificial de flujo horizontal y evaluar los parámetros de calidad del agua.

3.6.2. Muestra

Es la agrupación individuos que, si se van a estudiar, es decir en un subconjunto de la población, para así obtener resultados. Es la representación de la población, lo cual se definen muy bien los criterios de inclusión y exclusión; haciendo uso de técnicas de muestreo adecuadas (Icart Isern et al., 2006).

La muestra que se empleara en la investigación es de tipo no probabilístico.

La muestra en nuestro proyecto de investigación será el 10% del caudal promedio de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, que es conveniente y adecuado para la planta piloto del humedal subsuperficial de flujo horizontal, ya que el tiempo de retención hidráulica es de 5 a 7 días, por ello será un caudal de: 1.742 m³/día, es decir 0.0201 L/s.

3.6.3. Muestreo

Los muestreos no probabilísticos se distinguen porque los componentes de la población no tienen una probabilidad claramente definida para ser seleccionados. La falta de conocimiento sobre la probabilidad de selección impide el uso de herramientas diseñadas para hacer inferencias de la muestra a la población. Por lo tanto, en este tipo de muestreo no se puede determinar el tamaño del error relacionado con la estimación del parámetro poblacional (Vivanco, 2005).

Se implementará un muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que las muestras se obtendrán en lugares específicos que han sido definidos dentro del sistema de tratamiento (entrada y salida del humedal artificial), considerando que dichos puntos reflejan las condiciones reales del agua residual antes y después del tratamiento. La recolección de muestras se llevará a cabo durante el periodo experimental, siguiendo un cronograma planificado y cumpliendo con los procedimientos técnicos establecidos para el muestreo de aguas residuales.

Se realizarán muestreos dos veces a la semana de los parámetros: temperatura, pH y sólidos suspendidos totales; en cuando a la demanda bioquímica de oxígeno, a la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termo tolerantes y aceites grasas se harán muestreo una vez a la semana, se enviarán a analizar a un laboratorio acreditado por INACAL para tener la garantía de que los resultados obtenidos sean confiables y verídicos.

3.7. Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos

3.7.1. Técnicas de investigación

A) Técnica de campo

La técnica de la observación

La técnica de la observación sugiere y motiva las situaciones y dirige para que se sistematicen los datos, hace referencia a la visualización y está inmerso para mencionar de diferentes maneras la percepción que son registradas tal y como lo observamos (Ernesto A. & Rodríguez Moguel, 2005).

Por ello se utilizará la técnica de la observación donde se realizará el análisis físico-químico y microbiológico del agua residual del camal municipal de Huancavelica de acuerdo a los protocolos para su respectivo análisis en el laboratorio acreditado por INACAL.

En la etapa experimental las aguas residuales serán tratadas en la planta piloto del humedal artificial del flujo subsuperficial de flujo horizontal con Junco Totorá, el cual permitirá demostrar las hipótesis planteadas.

B) Técnica de investigación documental

Ficha de trabajo

Se recopila información verídica de fuentes, en el cual esta reflexiones, comentarios, análisis, resúmenes y conclusiones. Son necesarias en la investigación la consulta de bibliografías amplias y así optar por un mayor dominio respecto al tema de investigación (Barbosa Moreno, 2020)

- Identificación de fuentes
- Relación con la información
- Organizar notas

3.7.2. Instrumentos y procedimientos para recolección de datos

➤ Determinación de los puntos de muestreo

Se establecerán dos puntos para recolectar las muestras, que serán el afluente y el efluente de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, el cual serán georreferenciados adecuadamente con GPS.

➤ **Toma de muestra**

Se realizará de acuerdo al protocolo del monitoreo de calidad de agua-ANA, con las siguientes consideraciones:

- ❖ Se hará la esterilización de los frascos de vidrio, que se realizará en la autoclave; mediante el método húmedo.
- ❖ Se rotulará los frascos, se colocará el código de la estación, fecha y la hora exacta.
- ❖ Se hará uso del guante látex y mascarilla.
- ❖ Se utilizará el multiparámetro debidamente calibrado para tomar la muestra insitu; en el cual se medirá el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica.
- ❖ Entre otras consideraciones.

Las muestras que son obtenidas serán conservadas en coolers, respecto a una determinada temperatura, también se adecuara correctamente para evitar posibles rupturas y derrames. Serán enviadas a un laboratorio acreditado por INACAL en el menos tiempo posible, cumpliendo con las exigencias de preservación y el tiempo de almacenamiento de las muestras.

➤ **Uso del laboratorio**

Se harán uso de los siguientes equipos:

- ❖ Incubadora de DBO: Se medirán la concentración de demanda bioquímica de oxígeno presente en el agua, se mide a temperatura de 20° C mayormente.
- ❖ Digestor y espectrofotometro: Medirá la concentración de la demanda química de oxígeno (DQO).
- ❖ Medidor de Aceites y Grasas: Se utilizará un equipo especializado en medir la concentración de aceites y grasas con el método gravimétrico.

- ❖ Estufa u horno de secado: Se utilizará un equipo especializado en medir la concentración de sólidos suspendidos totales, generalmente a una temperatura de 103° C a 105° C.
- ❖ Incubadora bacteriológica: Medirá la concentración de los coliformes termo tolerantes.

➤ **Ficha de registro**

Se hará uso de la cadena de custodia, en el cual se va registrar todos los datos de campo y también de laboratorio. Esta información obtenida nos permitirá procesar y analizar los resultados que nos arrojan en el campo y en el laboratorio.

3.7.3. Validez o confiabilidad del instrumento de recolección de datos

La validez de los instrumentos estará garantizada y respaldada mediante la aplicación de protocolos de muestreo y métodos analíticos estandarizados para el análisis de aguas residuales, así como por la utilización de instrumentos calibrados y reactivos debidamente certificados. La confiabilidad se garantizará realizando la toma de muestras bajo las mismas condiciones y circunstancias operativas del Camal Municipal de Huancavelica, siguiendo procedimientos uniformes durante todo el periodo de evaluación y realizando los análisis en un laboratorio acreditado o que aplique métodos reconocidos, garantizando de esta manera resultados exactos y confiables.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. R., Cruz, A. C., Salina, E. S., & Hernandez, L. O. (2009). Tratamiento de Aguas residuales por un sistema de piloto de Humedales Artificiales: Evaluacion de la remocion de la Carga Organica [Revista,Centro de Investigacion en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Química]. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 156-157. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a4.pdf>
- Chowdhury, M. W., Nabi, M. N., Arefin, A., & Rashid, F. (2022). Reciclaje de residuos de mataderos para convertirlos en fuentes potenciales de energía e hidrógeno: Un enfoque para la energía sostenible del futuro. *ScienceDirect*, 19. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101133>
- Engin, K., & Richard, C. (2023). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: alianzas y cooperación por el agua ; datos, cifras y ejemplos de acción*. Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. Obtenido de <https://honduras.un.org/sites/default/files/2023-04/WWDR%202023%20Executive%20Summary%20SP.pdf>
- Huaman, W. S. (2023). *Efecto de las Aguas Residuales del Camal Municipal en la calidad del rio Ichu, Huancavelica* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Huancavelica: Repositorio UNH. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/items/09d91443-5cdf-4565-84c7-c76d4603abe5>
- Malaver Moreno, A. (2013). *Evaluación de un Humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (Lemna minor) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres*. Bogota.
- Marquez, E. Y., Torre, M. Y., Yupanqui, G. M., Reyes, D. E., & Hijar, J. B. (2023). Contaminación del Río Opamayo por el camal municipal en la población de Pampas-Tayacaja, 2023 [Revista científica, Universidad Autonoma de

- Tayacaja Daniel Hernandez Morillo]. *Revista de Investigacion Científica Tayacaja*, 6(1), 33-43. doi:10.46908/tayacaja.v6i1.206
- Medina-Valderrama, C., Uriarte-Tirado, W., Cardenas-Vásquez, E., & Orrego-Zapo, S. (2020). Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton. *Revista INGENIERÍA UC*, 27(2), 166-174. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230005/html/>
- Orley, C. L., & César, A. H. (2020). Reduccion de color y turbidez en aguas residuales del camal Municipal de Manta mediante biofiltracion con cascara de coco (cocos nucifera) y cascarilla de arroz (Oriza Sativa), enero 2020 . *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura "YAKU"*.
- Paima Chuquipiondo, D., & Gratelly Pinedo, W. (2021). *Eficiencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en el tratamiento de aguas residuales domesticas en una vivienda del A,H 9 de octubre, Pucallpa*. Pucallpa.
- Pari Sedano , L., & Sullcaray Laime , R. (2021). *Evaluacion del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con Berros (Nasturtium Officinale) en la remoción de materia organica a escala piloto de las aguas residuales del distrito de yauli . Huancavelica .*
- Soria Flores, S. (2025). *Tratamiento de aguas residuales del camal municipal de la ciudad Yurimaguas mediante humedal artificial con Heliconia psittacorum, 2022*. Moyobamba, Perú.
- Alarcón Maquera, G. E. (2024). Eficiencia de la totora (schoenoplectus californicus) y el junco (juncus effusus) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4487>
- Camacclanqui Huamanlazo, A. O. (2025). Remoción de cromo (VI) de agua residual de curtiembre empleando biomasa orgánica vegetal en un reactor biológico secuencial aerobio. *Revista de Ciencias Ambientales*, 59(1), 1–21. <https://doi.org/10.15359/RCA.59-1.7>

- Castro Olarte, J. (2018). Evaluación de la remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica [Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/4fb0ebeb-db9c-4786-8515-3cbcfa79a077/download>
- Chávez Ortiz, J., Leiva Tafur, D., & Corroto, F. (2016). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales en la ciudad de Chachapoyas, Región Amazonas. *Ciencia Amazónica* (Iquitos), 6(1), 16. <https://doi.org/10.22386/CA.V6I1.104>
- Chavarría, E., Chávez, M., López, G., & Orellana, D. (2023). Contaminacion del Rio Opamayo por el camal Municipal en la poblacion Pampas-Tayacaja, 2023. *Revista de investigacion cientifica Tayacaja*, 6(1). doi: doi:10.46908/tayacaja.v6i1.206
- Encarnación, S. A., Torres, M. G. F., Guerrero, M. J. F., del Rosario Malpica Sánchez, A., & Vázquez, J. R. Á. (2023). Microalgas asociadas a un vertedero de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cerro de la Estrella, en un canal de Xochimilco, Ciudad de México[Microalgas asociadas a un vertedero de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estr.... *Hidrobiología*, 33(1), 73–86. <https://doi.org/10.24275/UAM/IZT/DCBS/HIDRO/2023V33N1/FIGUEROA>
- Herrera-López, D., Mejía-González, G., Cuevas-González, R., Arévalo-Velázquez, M. A., & Guillén-Navarro, G. K. (2021). Sistema de humedales acoplado construido por la UASB para la reutilización de aguas residuales para riego de jardinería[Sistema acoplado reactor anaerobio con deflectores-humedal artificial como alternativa para retorno de agua residual en riego de áreas.... *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 249–257. <https://doi.org/10.20937/RICA.53643>
- Hidalgo-Cordero, J. F., & García-Navarro, J. (2018). Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material.

Industrial Crops and Products, 112, 467–480.
<https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.12.029>

Incacutipa Mamani, C. (2025). Demanda bioquímica y química de oxígeno en las aguas residuales del camal municipal de Ilave, 2025. Universidad Privada San Carlos. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/20.500.14891/1893>

Janeiro, M. (2012). Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Mente & Materia. <https://rida2.utp.ac.pa/handle/123456789/12812>

León Torres, C. A., Nomberto Rodríguez, C., Mendoza Avalos, G. A., Bardales Vásquez, C. B., Cabos Sánchez, J., & Barrena Gurbillón, M. A. (2019). Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol. Arnaldoa, 26(3), 1017. <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.263.26311>

Metcalf, W., & Eddy, C. (2014). Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, Fifth Edition, 1–2018.
<https://repositori.mypolycc.edu.my/jspui/handle/123456789/4586>

Medina-Valderrama, C., Uriarte-Tirado, W., Cardenas-Vásquez, E., & Orrego-Zapo, S. (2022). Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton. Revista INGENIERÍA UC, 27(2), 165–174. <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230005/html/>

Montes-Iturrizaga, D., Aponte, H., & Valle-Rubio, S. (2023). Un nuevo humedal artificial en la costa central de Perú: Primera caracterización de su avifauna[Un nuevo humedal artificial en la costa central de Perú: primera caracterización de su avifauna]. Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 47(183), 352–370. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1883>

Papaevangelou, V., Gikas, G. D., & Tsihrintzis, V. A. (2016). Effect of operational and design parameters on performance of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands treating university campus wastewater. Environmental Science and Pollution Research 2016 23:19, 23(19), 19504–19519. <https://doi.org/10.1007/S11356-016-7162-7>

- Parí Sedano, L. F., & Sullcaray Layme, R. O. (2021). Evaluación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berros (*nasturtium officinale*) en la remoción de materia orgánica a escala piloto de las aguas residuales del distrito de yauli-huancavelica. Universidad Nacional de Huancavelica .
- Ramírez, A. T. O., & Rodríguez, N. S. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121–134. <https://doi.org/10.18359/rcin.5343>
- Romero Aguilar, M., Colín Cruz, A., Sánchez Salinas, E., & Ortiz-Hernández, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157–167. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37012012004>
- Ramalho, R. S. (2021). Tratamiento de aguas residuales / R.S. Ramalho ; versión española por: Domingo Jiménez Beltrán, Federico de Lora, Rubens Sette Ramalho. *Tratamiento de Aguas Residuales.*, Traducción, 716. https://books.google.com/books/about/Tratamiento_de_aguas_residuales.html?hl=es&id=T9MfEAAAQBAJ
- Trinidad-Santos, A., & Velasco-Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agro Productividad*, 9(8), 52–58. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.352507>
- Vymazal, J. (2010). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience†. *Environmental Science and Technology*, 45(1), 61–69. <https://doi.org/10.1021/ES101403Q>
- Zairi, S., Meddah, B., Slimani, M., & Rahmani, A. (2025). Evaluación del impacto ambiental de las aguas residuales urbanas y de la capacidad de tratamiento de la planta de lodos activados de Saida (noroeste de Argelia) con motivo del Eid Al-Adha[Evaluación del impacto ambiental de las aguas residuales urbanas y.... *Correo Técnico Militar/Vojnotehnicki Glasnik*, 73(2), 575–604. <https://doi.org/10.5937/vojtehg73-55420>

- Arias Martínez, S. A., Betancur Toro, F. M., Gomez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernández Ángel, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas | Informador Técnico. 74. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5
- Estrada Perez, N., & Lopez Ocaña, G. (2025). *Sagittaria lancifolia* en la remoción de DQO y nutrientes de efluentes agrícolas con humedales artificiales de flujo subsuperficial. 12. <https://revistajobs.ujat.mx/jobs/es/article/view/6679/4819>
- Garcia Becerra, F. Y., & Ortiz, I. (2018). Biodegradation of Emerging Organic Micropollutants in Nonconventional Biological Wastewater Treatment: A Critical Review. *Environmental Engineering Science*, 1012–1036. <https://doi.org/10.1089/EES.2017.0287;CTYPE:STRING:JOURNAL>
- Gonzáles Diaz, A., Rodríguez Valencia, N., García Núñez, J. A., Ruiz Álvarez Elizabeth, Acero Hernández, J. H., & Reyes Ávila, W. A. (2022). Humedales artificiales como alternativa para el tratamiento terciario de efluentes de planta de beneficio de palma de aceite. <https://repositorio.fedepalma.org/server/api/core/bitstreams/7b9260e2-b6cc-4b5d-9721-4786dc0e7ee2/content>
- Marinez, S., & Rodriguez, M. (2005). Aireación en sistemas de tratamiento de aguas residuales . In *Tratamiento de aguas residuales con Matlab* (6). Reverté. <https://books.google.com/books?id=-1NxMzYv9-UC&pgis=1>
- Miranda Ríos, M., & Luna-Pabello, V. M. . (2024). *Estado Del Arte y Perspectivas de Aplicación de Los Humedales Artificiales de Flujo Horizontal en México*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educacion.
- Orozco Jaramillo, A. (2005). *Bioingeniería de Aguas Residuales* . Acodal . https://books.google.com/books/about/Bioingenieria_de_Aguas_Residuales.htm?hl=es&id=t5w5EZf1VhMC

- Overton, O. C., Olson, L. H., Majumder, S. Das, Shwiyyat, H., Foltz, M. E., & Nairn, R. W. (2023). Mecanismos de eliminación emergentes en humedales artificiales. 12(2), 472. <https://doi.org/10.3390/LAND12020472>
- Sakadevan, K., & Bavor, H. J. (1998). Características de adsorción de fosfato de suelos, escorias y zeolitas que se utilizarán como sustratos en sistemas de humedales artificiales. 32(2), 393–399. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00271-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00271-6)
- Arias Martínez, S. A., Betancur Toro, F. M., Gomez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernández Ángel, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas | Informador Técnico. 74. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5
- Miranda Ríos, M., & Luna-Pabello, V. M. . (2024). Estado Del Arte y Perspectivas de Aplicación de Los Humedales Artificiales de Flujo Horizontal en México. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educacion.
- Bernal; Cesar. (2010). Metodología de la investigación (tercera). https://www.ispsn.org/sites/default/files/documentos-virtuais/pdf/metodologia_de_la_investigacion_tercera-_bernal.pdf
- Bunge, M. (2000). La investigación científica. Su estrategia y su filosofía. <https://ia800601.us.archive.org/9/items/BungeMarioLaInvestigacionCientificaSuEstrategiaYSuFilosofia/Bunge%20Mario%20-%20La%20Investigacion%20Cientifica%20-%20Su%20Estrategia%20Y%20Su%20Filosofia%20.pdf>
- Hernández Sampieri; Roberto, Hernández Callado; Carlos, & Baptista Lucio; Pilar. (2014). Metodología de la investigación (Sexta). <https://biblioteca.isaeuniversidad.ac.pa/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=3cd92035f3219d91f16877820e84d7ec>
- Tamayo, M., & Tamayo. (2000). El proceso de la investigación científica (cuarta edición).

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso__de_la_investigacion_cientifica_Mario_Tamayo.pdf

Valderrama, Santiago. (2013). Pasos para Elaborar Proyectos de Investigación Científica Cuantitativa, Cualitativa y Mixta. 2da edición. Editorial San Marcos, 1-495.

http://www.editorialsanmarcos.com/index.php?id_product=211&controller=product

Vivanco, Manuel. (2005). Muestreo estadístico: diseño y análisis. Muestreo Estadístico: Diseño y Análisis, 209.
https://books.google.com/books/about/Muestreo_Estadistico_Dise%C3%B1o_Y_Aplicacio.html?id=-_gr5l3LbpIC



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



Firmado digitalmente por ENRIQUEZ
NATEROS Nilo Abelardo FAU
20168014962 soft
Cargo: Docente Nombrado
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.07.2026 17:36:52 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 21 de Julio del 2026

INFORME N° 000011-2026-UNH/DAIAS

A: **CARLOS DUEÑAS JURADO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

ASUNTO: **APROBACIÓN DE PROYECTO DE TESIS.**

Referencia: MEMORANDO 000033-2026-UNH/EPIAS (16JUL2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 21 de Julio de 2026

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarle y a la vez informarle como asesor del proyecto de tesis, según lo siguiente:

De la evaluación del proyecto de tesis titulado "PLANTA PILOTO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCAVELICA CON JUNCO TOTORA" presentado por las estudiantes: **Milagros Kihumara QUILCA QUISPE y Wilma Rosmery LIMA VÁSQUEZ**, se observó el título, razón por la cual se modificó y se aprueba con la siguiente denominación "**HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCAVELICA CON JUNCO TOTORA**". Con el nuevo título continuar el trámite administrativo.

Sin otro particular es propicia la ocasión para hacerle llegar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS
DOCENTE NOMBRADO

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

NEN
CC.:

N° Expediente: 2026-0017950



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **WPZ7BZR**





UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y
TÍTULOS - EPI AMBIENTAL



Firmado digitalmente por ENRIQUEZ
NATEROS Nilo Abelardo FAU
20168014962 soft
Cargo: Coordinador De Gestion De
Grados Y Titulos
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 14.07.2026 23:40:32 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 14 de Julio del 2026

INFORME N° 000029-2026-UNH/UFGT-EPIAS

A: **CARLOS DUEÑAS JURADO**
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

ASUNTO: **PROPUESTA DE DESIGNACIÓN DE ASESOR PARA PROYECTO DE TESIS.**

Referencia: PROVEIDO 000588-2026-UNH/EPIAS (10JUL2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 14 de Julio de 2026

Tengo el agrado de dirigirme a usted para saludarle cordialmente, y a la vez remitir la propuesta de asesor de acuerdo al documento en referencia, proponiendo a los docentes Mg. Nilo Abelardo ENRÍQUEZ NATEROS, y Mg. Alfredo Grover ROJAS CARRIZALES del proyecto de tesis titulado: **"PLANTA PILOTO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCAVELICA CON JUNCO TOTORA"** presentado por las estudiantes: **Milagros Kihumara QUILCA QUISPE y Wilma Rosmery LIMA VÁSQUEZ**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, a fin de que su despacho remita a quien corresponda para su aprobación mediante acto resolutivo.

Sin otro particular es propicia la ocasión para hacerle llegar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS
COORDINADOR DE GESTION DE GRADOS Y TITULOS
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI AMBIENTAL

NEN
cc.:

N° Expediente: 2026-0017950



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: KGHETUY





UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCAVELICA

ESCUELA PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



Firmado digitalmente por DUEÑAS
JURADO Carlos FAU 20168014962
soft
Cargo: Director(A) De Escuela
Profesional
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 16.07.2026 12:55:43 -05:00

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

Huancavelica, 16 de Julio del 2026

MEMORANDO N° 000033-2026-UNH/EPIAS

A: **NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS**
DOCENTE NOMBRADO
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

ASUNTO: **DESIGNACIÓN DE ASESOR PARA PROYECTO DE TESIS.**

Referencia: INFORME 000029-2026-UNH/UFGT-EPIAS (14JUL2026)

Fecha elaboración: Huancavelica, 16 de Julio de 2026

Por medio del presente me dirijo a Usted, de mi especial consideración y estima personal, asimismo en atención al documento de la referencia se designa como asesor del Proyecto de Tesis **"PLANTA PILOTO DE HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE HUANCAVELICA CON JUNCO TOTORA"** presentado por: **Milagros Kihumara QUILCA QUISPE y Wilma Rosmery LIMA VÁSQUEZ**. Para su respectivo asesoramiento de acuerdo al del Reglamento de Grados y Títulos de la UNH.

-SEGUN EL ART. 17.4 DEL REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS, EL DIRECTOR DERIVA AL ASESOR PARA REVISIÓN DEBIENDO EMITIR UN INFORME AL DIRECTOR EN UN PLAZO MÁXIMO DE 10 DÍAS, CON EL RESULTADO DE LA EVALUACIÓN UTILIZANDO EL ANEXO 02 Y ADJUNTAR EL PROYECTO DE TESIS EN MEDIO DIGITAL.

-ADJUNTO ANEXO 02

Atentamente,

Documento Firmado Digitalmente

CARLOS DUEÑAS JURADO
DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

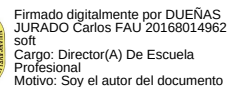
CDJ/hcq
cc.:

N° Expediente: 2026-0017950



"Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado por la Universidad Nacional de Huancavelica, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 026-2016-PCM".
Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través.
Dirección web: <https://sgd.unh.edu.pe:8181/verifica/inicio.do>
Código de Verificación: **U3GHD21**





PROVEIDO 000588-2026-UNH/EPIAS

EXPEDIENTE : 2026-0017950

ASUNTO:	SEGUN EL ART. 17.3 DEL REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS, EL DIRECTOR DERIVA A LA UNIDAD FUNCIONAL DE GRADOS Y TÍTULOS, A FÍN DE QUE EN UN PLAZO MÁXIMO DE 3 DÍAS PROPOGA DOS DOCENTES Y EL DIRECTOR DESIGNA A UNO COMO ASESOR.
---------	--

REFERENCIA : SOLICITUD N° 2

SOLICITUD DE DESIGNACION DE ASESOR

FECHA

10/07/2026

Atender en 0 días

DEPENDENCIA DESTINO	TRAMITE	PRIORIDAD	INDICACIONES
UNI. FUN. GESTIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS - EPI AMBIENTAL	ATENDER	NORMAL	
ENRIQUEZ NATEROS NILO ABELARDO			

DUEÑAS JURADO CARLOS

DIRECTOR(A) DE ESCUELA PROFESIONAL

	Reglamento de grados y títulos de la Universidad Nacional de Huancavelica	Código:	RE-VRAC-PO01-1-1
		Versión:	1
		Página:	Página 62 de 95

SOLICITUD

SEÑOR DIRECTOR DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

Yo, Quilca Quispe Milagros Kihumara, identificado con DNI N.º 71887440 y Lima Vásquez Wilma Rosmery, identificado con DNI N.º 71082993, condiciones estudiantes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria solicito la designación de asesor para el desarrollo de mi proyecto de tesis titulado:

“Planta piloto de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica con Junco Totorá”

Sugiriendo como asesor ¹al docente: Ing. Nilo Abelardo Enríquez Nateros

En cumplimiento de las disposiciones reglamentarias, declaro que todas las comunicaciones, resoluciones y notificaciones relacionadas con el proceso de obtención del título profesional mediante sustentación de tesis serán remitidas al siguiente correo institucional:

- Correo electrónico institucional para notificaciones oficiales (obligatorio): 2022161022@unh.edu.pe
- Correo personal para respaldo: quilcaquispemilagros@gmail.com

Asimismo, me comprometo a revisar permanentemente el correo institucional y a dar respuesta o cumplimiento a las observaciones y disposiciones que se me notifiquen, reconociendo la plena validez legal de las notificaciones digitales emitidas con firmas digitales institucionales.

Huancavelica, 09 de julio de 2026



Firma

Nombres y Apellidos: Quilca Quispe Milagros Kihumara
DNI N.º: 71887440



Firma

Nombres y Apellidos: Lima Vásquez Wilma Rosmery
DNI N.º: 71082993

Nº de celular: 928665213 - 943939812

¹ En caso de proyectos de tesis y del artículo científico, el solicitante podrá sugerir opcionalmente un co-asesor.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N°25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



PROYECTO DE TESIS

Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica con Junco Totora

LINEA DE INVESTIGACION

MEDIO AMBIENTE Y/O SANITARIO

PRESENTADO POR:

Milagros Kihumara Quilca Quispe

Wilma Rosmery Lima Vásquez

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA AMBIENTAL Y SANITARIA

HUANCAMELICA – PERÚ

2026



Firmado digitalmente por ENRIQUEZ
NATEROS Nilo Abelardo FAU
20168014962 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 21.07.2026 17:33:13 -05:00

TITULO

HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL
HORIZONTAL DE AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL
MUNICIPAL DE HUANCVELICA CON JUNCO TOTORA

AUTORES

QUILCA QUISPE MILAGROS KIHUMARA

LIMA VASQUEZ WILMA ROSMERY

ASESOR

ING. NILO ABELARDO ENRIQUEZ NATEROS

DEDICATORIA

A nuestro divino, por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. También para mis padres por apoyarme en la educación profesional y a los ingenieros de la facultad en a que pertenezco por inculcarme conocimientos para mi superación profesional.

INDICE

TITULO	ii
AUTORES	iii
ASESOR.....	iv
DEDICATORIA.....	v
INDICE	vi
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCION	xi
CAPITULO I.....	13
1.1. Planteamiento del problema.....	13
1.2. Formulación del problema	15
1.2.1. Problema General:	15
1.2.2. Problemas Específicos:	16
1.3. Objetivos	16
1.3.1. Objetivo General:	16
1.3.2. Objetivos Específicos:	16
1.4. Justificación	17
2. CAPITULO II.....	19
MARCO TEORICO	19
2.1. Antecedentes:.....	19
2.1.1. Nivel internacional	19
2.1.2. Nivel nacional	22
2.1.3. Nivel local	24
2.2. Bases Teóricas.....	25
2.2.1. Teoría de la Fitorremediación.....	25
2.2.2. Teoría de la Biodegradación	27
2.2.3. Filtración.....	27
2.2.4. Sedimentación	28
2.2.5. Transferencia de oxígeno	28

2.2.6.	Biodegradación de grasas	29
2.2.7.	Bases Conceptuales	30
2.3.	Definición De Términos:	48
2.4.	Hipótesis:.....	50
2.4.1.	Hipótesis General:	50
2.4.2.	Hipótesis Específicos:	50
2.5.	Variables De Investigación:	51
2.5.1.	Variable Dependiente.....	51
2.5.2.	Variable Independiente	51
2.5.3.	Variable Interveniente	51
2.6.	Operacionalización De Variables:	52
3.	CAPITULO III.....	55
	METODOLOGIA	55
3.1.	Ámbito espacial y temporal.....	55
3.1.1.	Ámbito Espacial	55
3.1.2.	Ámbito Temporal	58
3.2.	Métodos de Investigación	58
3.3.	Tipo de investigación	60
3.4.	Nivel de investigación	60
3.5.	Diseño de investigación.....	61
3.6.	Población, muestra y muestreo	62
3.6.1.	Población	62
3.6.2.	Muestra	62
3.6.3.	Muestreo	63
3.7.	Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos.....	64
3.7.1.	Técnicas de investigación	64
3.7.2.	Instrumentos y procedimientos para recolección de datos.....	65
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	71
4.	CAPITULO IV	73
	ASPECTO ADMINISTRATIVO	73
4.1.	Recurso Humano	73
4.2.	Materiales y equipo	74

4.3.	Cronograma de actividades	75
4.4.	Presupuesto.....	78
4.5.	Financiamiento	85
REFERENCIAS		86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tipos de tratamiento de aguas residuales</i>	32
Tabla 2 <i>Comparación de los tipos de humedal artificial</i>	37
Tabla 3 <i>Comparación de HA de flujo vertical y horizontal</i>	39
Tabla 4 <i>Compuestos de la Materia orgánica</i>	42
Tabla 5 <i>Criterios de DBO</i>	43
Tabla 6 <i>Relación de Biodegradabilidad</i>	44
Tabla 7 <i>Operacionalización de variables</i>	52
Tabla 8 <i>Cronograma de monitoreo de parámetros</i>	70
Tabla 9 <i>Recurso humano</i>	73
Tabla 10 <i>Materiales y equipos</i>	74
Tabla 11 <i>Cronograma de actividades</i>	75
Tabla 12 <i>Presupuesto</i>	78

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Sistemas macrofitas flotantes</i>	35
Figura 2 <i>Sistemas con macrofitas sumergidas</i>	35
Figura 3 <i>Humedales de flujo horizontal</i>	36
Figura 4 <i>Humedal de flujo vertical</i>	37
Figura 5 <i>Planta junco totora</i>	40
Figura 6 <i>Mapa de ubicación geopolítica</i>	56
Figura 7 <i>Ubicación geográfica</i>	57
Figura 8 <i>Plano de distribución de la planta junco totora</i>	69

INTRODUCCION

En la actualidad el agua residual en las ciudades es un gran problema que va afectando la salud de la población y al ambiente. Esto sucede debido a que muchas aguas residuales son vertidas sin tratamientos. Como en el camal municipal de Huancavelica el agua residual necesita un tratamiento previo antes de ser vertida al río Ichu, por lo que optamos establecer un humedal artificial haciendo uso de la planta junco.

La aplicación de humedales artificiales para procesar aguas residuales de hogares e industrias es una opción que se ha investigado con resultados positivos. Las plantas que se emplean en los humedales aprovechan la materia orgánica presente en el agua residual, removiendo los contaminantes de los efluentes líquidos e incorporándolos dentro de sí mismas (Malaver Moreno, 2013).

La contaminación de los recursos hídricos en la actualidad es un gran problema en las zonas urbanas y rurales, debido a que la mayoría debido a la descarga de las aguas residuales sin un tratamiento eficiente, debido al desconocimiento de la operación y mantenimiento de los sistemas de la planta de tratamiento de aguas residuales, llegando así a contaminar los cuerpos de agua y asimismo afectando la salud pública (Pari Sedano & Sullcaray Laime , 2021).

En el proceso de tratamiento de aguas residuales, es crucial implementar tecnologías efectivas y económicas que pueden satisfacer los requisitos y cumplir con los estándares establecidos para eliminar materia orgánica, nutrientes y microorganismos, especialmente cuando se pretende su reutilización. Los sistemas biológicos y fisicoquímicos son las tecnologías más comunes, destacando por sus menores costos de operación y mantenimiento (Paima Chuquipiendo & Gratelly Pinedo, 2021).

Existe una crisis creciente en todo el mundo relacionada al tratamiento y disposición final de aguas residuales provenientes de diversas actividades antropogénicas. Las consecuencias suelen ser muy preocupantes, ya que dañan diversos ecosistemas, agravando los problemas ambientales existentes, además de deteriorar la salud pública y afectar negativamente al desarrollo económico local y nacional (Soria Flores, 2025).

CAPITULO I

1.1. Planteamiento del problema

En todo el mundo el uso del agua fue incrementando un 1% al año durante los últimos 40 años. Mayormente se da en los países con economía media y bajas, especialmente en aquellos que están surgiendo. Este aumento en el uso sobre el agua se da por el crecimiento demográfico, desarrollo socioeconómico y cambios en los patrones de consumo (Engin & Richard, 2023). Donde la evolución de la demanda de agua depende mucho del lugar y refleja los cambios en los patrones de uso de los tres grandes sectores que utilizan el agua: los municipios, la industria y la agricultura (Engin & Richard, 2023).

El ambiente donde se sacrifican los animales se conoce como matadero para satisfacer la demanda de consumo de carne humana. Debido al incremento de la población se aumentan los desechos de los mataderos que generan contaminación en nuestro país sino en toda Latinoamérica y el mundo. Cada año, millones de animales son sacrificados en todo el mundo (Chowdhury, Nabi, Arefin, & Rashid, 2022).

Según los investigadores Chowdhury, Nabi, Arefin, & Rashid, (2022) dicen en su artículo que hay bastantes mataderos en Etiopía que simplemente vertían y desechaban sus efluentes al aire libre sin ningún tratamiento, también mencionan que, en India, debido a la falta de la implementación de un sistema centralizado estándar, los residuos líquidos se desechan en el sistema alcantarillado municipal.

En México se generan 200 m³/s. Sin embargo, solo el 36% de estas aguas reciben tratamiento; que evidencia que es necesario contar con más infraestructura y perfeccionar la calidad del tratamiento para satisfacer las necesidades socioeconómicas y ambientales. Los métodos que se utilizan para tratar estas aguas residuales son procesos físicos, químicos y microbiológicos (Aguilar, Cruz, Salina, & Hernandez, 2009).

En el país de Ecuador, cuenta con una población aproximada de 4,5 millones de bovinos distribuidos en todo el territorio nacional, y con más de 200 mataderos localizados, que en su mayoría están siendo administrados por municipios (Orley & César, 2020).

La contaminación del río es un problema grande debido a las diferentes actividades de las personas. El agua del río está demasiado contaminado y evidencia un peligro por la presencia de los coliformes fecales y demás agentes biológicos que pueden ocasionar enfermedades y afectar a los animales, a las plantas y a las personas. También por la presencia de microorganismos como virus, bacterias, hongos y parásitos en el agua del río (Marquez, Torre, Yupanqui, Reyes, & Hajar, 2023).

Por ello mediante esfuerzos organizados por las autoridades locales para mejorar la calidad del medio ambiente, específicamente del Río Opamayo para así poder controlar enfermedades infecciosas y no infecciosas (Marquez, Torre, Yupanqui, Reyes, & Hajar, 2023).

En el camal municipal de Chota-Perú las aguas residuales contienen sangre, también tienen los residuos de la limpieza de órganos internos y los compuestos que surgen de la mucosa, los cuales producen elevados niveles de carga orgánica, lo cual son descargadas directamente a los cuerpos de agua y suelo, y como resultado se origina la aparición de infecciones, impacto visual negativo, malos olores y se desequilibra la capacidad de las aguas del río Colpamayo-Chota, la cual amenaza el bienestar de las comunidades que están cerca del camal y de los que hacen uso del agua (Medina-Valderrama, Uriarte-Tirado, Cardenas-Vásquez, & Orrego-Zapo, 2020).

La gran cantidad de materia orgánica, ya sea en forma disuelta o en suspensión, se atribuye a la existencia de elementos como aminos, proteínas,

compuestos volátiles y ácidos orgánicos, siendo el desangrado uno de los aspectos más importantes que contribuyen más a la polución de las aguas residuales de un matadero. Ya que el desangrado posee un gran potencial de impureza que ocasiona que se rebasen los límites máximos permisibles que son establecidos en la normativa, de igual manera la presencia de grasas y aceites es un problema importante (Medina-Valderrama, Uriarte-Tirado, Cardenas-Vásquez, & Orrego-Zapo, 2020).

Los mataderos y plantas procesadoras de carne generan efluentes con gran cantidad de sangre, estiércol, pelo, grasa, huesos, proteínas y otras toxinas solubles; por lo general presencian altas temperaturas y albergan microorganismos, además de una considerable cantidad de compuestos orgánicos y de nitrógeno. Donde la relación normal de oxígeno sintético en la (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y nitrógeno (N) en un matadero es de 12:4:1 (Huaman, 2023).

Por esta razón con el transcurso de los años se ha visto el crecimiento de la contaminación de río Ichu, debido a las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, también la acumulación de desechos sólidos que va aumentando en las diferentes épocas del año. Por ello es necesario entender el valor del agua tanto para el consumo humano y animal, como también para el riego de vegetales; para lograr la sostenibilidad del ecosistema y de los recursos que nos brinda; así también prevenir la generación de enfermedades fuertes a futuro en el cual se desconoce su intensidad (Huaman, 2023).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General:

¿Cuál es la eficiencia de remoción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica con junco totora (*Schoenoplectus californicus*)?

1.2.2. Problemas Específicos:

- ¿Cuál es la concentración de los parámetros físicos-químicos (color, pH, Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y sólidos suspendidos totales) por efecto de las aguas residuales del camal Municipal en Huancavelica con junco totora (*Schoenoplectus californicus*) antes y después del tratamiento?
- ¿Cuál es la concentración de los parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes) por efecto de las aguas residuales del camal Municipal en Huancavelica con la planta nativa junco totora (*Schoenoplectus californicus*) antes y después del tratamiento?
- ¿Cumplen los parámetros físicos-químicos y microbiológicos con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR)?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General:

Evaluar la eficiencia de remoción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos en el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica con junco totora (*Schoenoplectus californicus*).

1.3.2. Objetivos Específicos:

- Determinar la concentración de los parámetros físicos-químicos (pH, Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y sólidos suspendidos totales) en las aguas residuales del camal Municipal en Huancavelica con junco totora (*Schoenoplectus californicus*) antes y después del tratamiento.
- Determinar la concentración de los parámetros microbiológicos (coliformes termo tolerantes) en las aguas residuales del camal Municipal en Huancavelica con la planta nativa junco totora (*Schoenoplectus californicus*) antes y después del tratamiento.

- Comparar los parámetros físicos-químicos y microbiológicos con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales domesticas o municipales (PTAR).

1.4. Justificación

El propósito de este estudio es para mitigar la contaminación del rio Ichu haciendo uso de métodos naturales para tratar las aguas servidas del camal municipal de Huancavelica. Esta investigación facilitará la evaluación de la efectividad de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal empleando la planta nativa junco totora (*Schoenoplectus californicus*) como una opción sostenible para reducir la contaminación ambiental producida por el inadecuado tratamiento o mal manejo de las aguas residuales; y así mejorar la calidad del agua, la flora y fauna.

A) Académico

En lo académico ayudará a entender cómo funciona un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. Esto incluye su parte hidráulica, biológica y químico-física. Se aplicará a aguas de mataderos de animales, esto Servirá de guía para estudiantes, investigadores y profesionales para que puedan perfeccionar con más ideas innovativas.

B) Social

Esta investigación es importante para la sociedad debido a que las aguas sucias del Camal Municipal de Huancavelica tienen mucha materia orgánica, sangre, grasa, aceite y microbios malos que si se tiran sin limpiar o hacer un pre tratamiento causan malos olores y atraen vectores que amenazan la salud de la comunidad en general. Al poner una planta piloto de humedal artificial, se busca disminuir o eliminar estos problemas.

C) Científico

Nos va permitir evaluar qué tan bien quita o que tan efectiva es un humedal artificial eliminando contaminantes. Usar un humedal de flujo subsuperficial horizontal con el uso de la planta junco totora. Se medirán

cosas como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Esto será con las aguas residuales del camal municipal (matadero). Como resultados darán información científica mostrando el potencial de hacer uso de esta tecnología natural.

D) Económico

Implementar humedales artificiales el costo es bajo a comparación de otros sistemas normales debido a que usan menor energía y tienen poca mecánica. También por la facilidad de obtener grava, arena y plantas de la zona como en este caso es la junto totora que crece bien en la región reduciendo el costo de adaptarla o cambiarla, esto baja mucho el costo de construcción.

E) Ambiental

El proyecto es para disminuir y mitigar la contaminación en el río Ichu que son contaminados por las aguas residuales que provienen del camal municipal de Huancavelica que son vertidas sin un pretratamiento que afecta el suelo y el agua. Por ello, el humedal artificial nos servirá como un sistema que va remover contaminantes para mejorar la calidad del agua y sea vertida al cuerpo de agua. También al usar la planta local como la junto totora fomentamos el uso de tecnologías limpias que son tecnologías sostenibles protegiendo el medio ambiente y cuidando la calidad del agua y de vida de los seres vivos.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes:

2.1.1. Nivel internacional

Zairi et al.(2025) investigaron la influencia medioambiental de las aguas residuales de las ciudades y la eficacia de la planta de lodos activados en Saida, situada en el noroeste de Argelia, durante la celebración de Eid Al-Adha, con el objetivo de examinar las variaciones atípicas en la carga de contaminantes orgánicos. Aplicaron una metodología cuantitativa que abarcó la evaluación de parámetros fisicoquímicos como DBO₅, DQO, sólidos en suspensión y nutrientes, así como el cálculo del Índice de Contaminación Orgánica (ICO). A partir de una muestra de aguas residuales entrantes y salientes obtenidas a través de monitoreos continuos como también de muestras del río receptor. Los resultados evidenciaron un aumento significativo de los niveles de contaminación en las horas de la mañana, elevando el ICO a rangos considerados de "contaminación severa" y disminuyendo el oxígeno disuelto en el cuerpo de agua receptor. Los investigadores concluyeron que la descarga de estas aguas representa un grave peligro para el entorno y la salud pública, dejando claro que es crucial

mejorar las tácticas de gestión operativa de la planta y establecer regulaciones ambientales rigurosas.

Miranda, Taboada, & Bustos (2025) llevaron a cabo estudios en el lago San Miguel, un humedal artificial de 3 hectáreas situado en San Miguel de Tucumán, durante las temporadas de inundaciones y sequías, con el objetivo de determinar la diversidad de microalgas (perifiton) y caracoles (gasterópodos) vinculados a la macroalga *Chara* sp. e investigar sus interacciones en múltiples niveles tróficos, donde se implementó una metodología tanto cuantitativa como cualitativa que comprendió el método de Braun-Blanquet. Con una muestra de 15 ejemplares de *Chara* sp. y 410 caracoles a lo largo de un transecto. Los resultados indicaron una cobertura continua de la macroalga (50-55%), una diversidad de 48 taxones de microalgas y 4 especies de caracoles, destacándose la especie invasora *Melanoides tuberculata*. En conclusión, se establece una relación simbiótica en la que la macroalga ofrece refugio, áreas de reproducción y calcio, mientras que los caracoles realizan limpieza mediante el pastoreo; sin embargo, se advierte que la proliferación de esta especie invasora supone un grave riesgo ecológico para la zona.

Encarnación et al.(2023) hicieron investigaciones sobre las comunidades de microalgas en la descarga de la planta de tratamiento de aguas residuales Cerro de la Estrella, ubicada en un canal de Xochimilco a lo largo del año 2021. Con el objetivo de evaluar la composición, riqueza y abundancia del fitoplancton y fitobentos, así como su vínculo con diferentes parámetros fisicoquímicos, con una metodología mixta que abarcó tanto medidas cualitativas como cuantitativas, a partir de una muestra de agua y biopelícula superficial reunida a través de monitoreos. Los resultados revelaron una grave situación de eutrofización, atribuida a elevadas concentraciones de nitrógeno y fósforo, destacando la prevalencia de cianobacterias y diatomeas bentónicas (*Nitzschia* spp. y *Navicula* spp.) que son resistentes a la contaminación orgánica. En conclusión, los autores afirmaron que la descarga de la planta de tratamiento disminuye la diversidad ecológica y promueve especies que indican una mala calidad del

agua, demostrando que la estructura de las microalgas actúa como un excelente indicador biológico de degradación causada por la actividad humana.

Ramírez & Rodríguez (2021) evaluaron la aplicación de técnicas avanzadas utilizadas para la purificación y reutilización de aguas residuales a nivel global en Colombia, con el objetivo de medir la eficacia en la eliminación de contaminantes emergentes, patógenos difíciles de erradicar y materia orgánica restante. Se utilizó una metodología descriptiva, cualitativo y comparativo que analizó la efectividad de métodos como la filtración a través de membranas, los procesos de oxidación avanzada y los reactores biológicos de membrana, apoyándose en una revisión exhaustiva de literatura científica. Los resultados indicaron que los tratamientos secundarios convencionales no son suficientes para eliminar micro contaminantes, mientras que la combinación secuencial de tecnologías avanzadas, como la ozonización u oxidación avanzada junto a ósmosis inversa, alcanza eficiencias de eliminación superiores al 95% en compuestos difíciles, metales pesados, pesticidas y patógenos complicados. En conclusión, las autoras señalaron que la implementación de estos esquemas tecnológicos constituye una solución sostenible, evidenciando que el éxito en la regeneración del agua depende de la selección adecuada del tratamiento.

Herrera-López et al. (2021) analizaron un sistema interconectado que incluye un reactor anaerobio con deflectores y un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con *Typha domingensis* instalado en Chiapas, México. Que tiene el objetivo de evaluar su efectividad en la eliminación de contaminantes de las aguas residuales de instituciones para futuros usos en el riego de áreas verdes. Haciendo uso de la metodología cuantitativo y experimental, realizando un monitoreo continuo de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tanto en la entrada y también en la salida de cada parte del sistema, se utilizó una muestra de agua residual de un centro de investigación, trabajando con un tiempo de retención hidráulica de 3.2 días. Los resultados arrojaron altas eficiencias

en la eliminación de contaminantes, con un 91. 5% en la Demanda Química de Oxígeno, 94. 6% en sólidos suspendidos totales y una disminución de coliformes fecales. En conclusión, los investigadores concluyeron que este sistema acoplado representa una opción tecnológica, económica y practicable que satisface las regulaciones necesarias para el uso seguro del agua en el riego de jardines, mencionando que el humedal artificial actúa eficazmente como un tratamiento terciario crucial para la eliminación precisa de nutrientes y patógenos.

2.1.2. Nivel nacional

Camacllanqui Huamanlazo (2025) evaluó el uso de biomasa orgánica vegetal (BOV) en un reactor biológico secuencial de tipo aeróbico, con el propósito de tratar las aguas residuales generadas por una curtiembre en el distrito de San Jerónimo de Tunán, situado en Huancayo, Perú. El objetivo fue determinar la eficacia en la eliminación de cromo hexavalente (Cr VI) y considerar una opción sostenible en comparación con los métodos fisicoquímicos convencionales. se aplicó una metodología cuantitativa y experimental a nivel de planta piloto, que puso a prueba una mezcla de residuos lignocelulósicos triturados (como corontas de maíz, cáscaras de naranja y cascarillas de arroz) dentro de un sistema de flujo continuo. Utilizando muestras reales de efluentes industriales. Los resultados indicaron que el reactor logró una eficiencia de remoción de cromo (VI) superior al 94% bajo condiciones óptimas, consiguiendo transformar e inmovilizar el contaminante en la matriz vegetal y reduciendo significativamente la toxicidad del efluente tratado. En conclusión, el autor concluyó que la utilización de biomasa orgánica vegetal en reactores secuenciales representa una biotecnología eficaz, económica y ecológicamente sustentable.

Montes-Iturrizaga et al.(2023) estudiaron el Humedal Artificial de Chilca (HAC) (un ecosistema de 21,4 hectáreas en la costa de Lima, Perú) con el objetivo de llevar a cabo la primera caracterización de sus aves y analizar su relevancia para la diversidad biológica de la costa central

peruana, se aplicó un método basado en conteos a través de transectos, empleando instrumentos ópticos para la identificación de las especies y la captura fotográfica de sus etapas reproductivas. Utilizando una muestra obtenida de 26 evaluaciones quincenales realizadas entre diciembre de 2020 y marzo de 2022. Los resultados mostraron un total de 56 especies de aves agrupadas en 22 familias (siendo Scolopacidae la más variada), también evidenciaron el uso preferente del hábitat del humedal, el asentamiento de parihuanas (*Phoenicopterus chilensis*) y la exitosa reproducción de 4 especies. En conclusión, los autores sostuvieron que este humedal artificial representa un hábitat crucial para el descanso, refugio y reproducción de especies dentro del corredor migratorio, además de tener un significativo potencial para el ecoturismo; sin embargo, advierten que la presencia de perros salvajes, la acumulación de basura y el ingreso de vehículos son amenazas serias para su conservación.

Chavarría, Chávez, López, & Orellana (2023) realizaron la investigación sobre la existencia de coliformes fecales en el Río Opamayo y sus implicaciones respecto a la salud pública de las personas en Pampas Tayacaja, con el objetivo de examinar las repercusiones de la contaminación del agua y mejorar la calidad de los recursos acuáticos, se aplicó una metodología cuantitativa y experimental que incluyó encuestas, entrevistas y análisis laborales. Se utilizó una muestra de 30 individuos que residen en las cercanías del río, afectados por el camal municipal. Los resultados muestran que la muestra de agua fue positiva para coliformes fecales, en el cual el 66.75% de la población utiliza esta agua para actividades agrícolas o ganaderas. Además, se determinó que el 83.3% de las enfermedades reportadas son de tipo gastrointestinal y digestivo, afectando principalmente a las mujeres (56.7%), con un 60% de la población indicando que no recibe asistencia de las autoridades. Se concluyó que existe una gran inquietud entre los habitantes sobre los efectos de la contaminación del camal en su salud, por la falta de acciones rápidas por parte de las autoridades, así como la confirmación, a través de análisis de laboratorio, de la presencia de coliformes fecales en el río.

Medina-Valderrama et al. (2022) realizaron una evaluación del proceso Fenton como una técnica avanzada de oxidación para tratar las aguas residuales que son originadas en el matadero municipal de Chota, ubicado en Cajamarca, Perú. Con el objetivo de mejorar las condiciones operativas del sistema con el fin de incrementar la eliminación de materia orgánica medida en DQO. se implementó un enfoque experimental y cuantitativo fundamentado en el diseño Box-Behnken, utilizando muestras del efluente y llevadas a cabo pruebas en frascos. Los resultados indicaron que las condiciones óptimas lograron una eficiencia en la remoción de DQO cercana al 80% y aumentando el índice de biodegradabilidad del efluente hasta un valor de 0.5. Como conclusión, los autores concluyeron que el proceso Fenton representa una opción efectiva y factible como tratamiento inicial, destacando que el pH se considera el factor más crítico en este proceso y que el sistema es capaz de preparar los efluentes complejos para su tratamiento biológico convencional posterior.

2.1.3. Nivel local

Parí Sedano & Sulicaray Layme (2021) realizaron un estudio sobre un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal que utiliza berros (*Nasturtium officinale*) para eliminar materia orgánica en una instalación a escala piloto, enfocándose a las aguas residuales del distrito de Yauli en Huancavelica, con el objetivo de medir la efectividad en la eliminación de este tipo de materia, aplicando una metodología práctica y con un enfoque explicativo y experimental, las muestras se recolectaron de la población de Yauli y se llevaron al humedal artificial,. Los resultados mostraron que, para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 5 días (de caudal de 12.5 ml/min), la eficiencia mínima para la eliminación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) fue del 28.77 % y la máxima del 42.20 % en temperaturas de 11 °C a 13 °C; mientras que en un TRH de 7 días (de caudal de 8.93 ml/min), la eficiencia mínima de eliminación de DQO alcanzó el 32.44 % y la máxima fue del 78.13 % en temperaturas de 11 °C a 15 °C. En conclusión, el humedal artificial de flujo subsuperficial

horizontal que utiliza berros, a una escala piloto, es efectivo en la eliminación de la materia orgánica en las aguas residuales de Yauli Huancavelica.

Castro Olarte (2018) estudió un nuevo sistema de tratamiento primario que propone utilizar el reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para tratar las aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica, con el objetivo de medir la efectividad en la eliminación de materia orgánica. Tras bombear las aguas residuales después de un pretratamiento a un tanque de almacenamiento en un entorno de laboratorio, se utilizó una metodología explicativo y fundamentalmente experimental para observar el funcionamiento del sistema ante diversos tiempos de retención hidráulica (TRH). Los resultados indicaron que con un TRH de 14 horas se alcanzó una eficiencia mínima de eliminación de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del 33.66% y una máxima del 76.90% (dentro de un rango de temperatura entre 10 °C y 19 °C), además de conseguir una reducción máxima de sólidos suspendidos totales del 30.28%. El autor concluyó que el reactor UASB es una opción práctica y aplicable para la eliminación de materia orgánica y sólidos en áreas con condiciones climáticas y de altitud similares, pudiendo optimizarse su diseño para un TRH de 14 horas.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Teoría de la Fitorremediación

La teoría de la fitorremediación sostiene que ciertas especies vegetales tienen la habilidad de absorber, transformar, estabilizar o eliminar contaminantes en el agua, suelo y sedimentos mediante procesos fisiológicos y bioquímicos que se presentan en sus raíces, tallos y hojas. En los humedales artificiales, las plantas actúan como purificadores al favorecer la absorción de nutrientes como nitrógeno y fósforo, además de propiciar el crecimiento de los microorganismos que son los responsables de descomponer la materia orgánica. A nivel molecular, las raíces liberan oxígeno en la rizosfera, creando condiciones propicias para la oxidación y transformación de

compuestos contaminantes presentes en aguas residuales (Arias Martínez, Betancur Toro, Gomez Rojas, et al., 2010).

Humedal Artificial

Los humedales artificiales se basan en la replicación controlada de los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que suceden de forma natural en estos ecosistemas, con el fin de eliminar contaminantes en las aguas residuales. Estos sistemas aprovechan la interacción entre el agua, el sustrato, las plantas macrófitas y las comunidades microbianas para depurar el efluente a través de sedimentación, filtración, adsorción, absorción vegetal, transformación química y degradación biológica (Miranda Ríos & Luna Cabello, 2024).

Los humedales artificiales actúan como ecosistemas diseñados que utilizan la capacidad innata de las plantas y microorganismos para disminuir la carga contaminante, lo que permite la eliminación de materia orgánica, sólidos suspendidos, nutrientes, microorganismos patógenos y otros compuestos que están en las aguas residuales (Miranda Ríos & Luna Cabello, 2024).

Depuración natural

Indica que los ecosistemas acuáticos tienen la capacidad de mejorar la calidad del agua mediante los diferentes procesos físicos, químicos y biológicos que se desarrollan de forma natural. Estos procesos incluyen la sedimentación de partículas, la filtración a través del sustrato, la adsorción de contaminantes, la absorción de nutrientes por las plantas y la degradación biológica llevada a cabo por microorganismos. Los humedales artificiales imitan estos mecanismos naturales de manera controlada, lo que permite reducir progresivamente la carga contaminante en las aguas residuales y favorece la recuperación de la calidad del agua antes de su disposición final (Overton et al., 2023).

2.2.2. Teoría de la Biodegradación

Se basa en la habilidad que tiene los microorganismos para descomponer compuestos orgánicos complejos en formas más simples a través de reacciones metabólicas. Durante el proceso de tratamiento de aguas residuales, donde las bacterias aprovechan la materia orgánica como su principal fuente de carbono y energía de esa manera degradando las proteínas, grasas y carbohidratos que se encuentran en el efluente (Jarcia Becerra & Ortiz, 2018).

En los humedales artificiales, las bacterias, hongos y otros microorganismos utilizan la materia orgánica que está presente en aguas residuales como un recurso de energía y nutrientes, lo que genera procesos de oxidación, reducción y mineralización, esto resulta en una disminución de la concentración de contaminantes que provocan la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), mejorando notablemente la calidad del efluente (Jarcia Becerra & Ortiz, 2018).

2.2.3. Filtración

Indica que cuando el agua residual pasa por medio de un medio poroso, como la grava o el sustrato en un humedal artificial, ocurren procesos físicos y fisicoquímicos que permiten la retención de contaminantes. A nivel molecular, las partículas en suspensión, los coloides y los compuestos orgánicos presentes en el agua interactúan con la superficie del medio filtrante a través de fuerzas de atracción electrostática, adsorción y retención mecánica. Estas interacciones facilitan la inmovilización de contaminantes y aumentan el tiempo que el agua residual está en contacto con los microorganismos que se adhieren al sustrato (Estrada Pérez & López Ocaña, 2025).

En los humedales artificiales con flujo subsuperficial horizontal, la filtración es uno de los métodos principales para eliminar sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos, ya que las partículas más

grandes quedan atrapadas en los espacios del medio granular, mientras que los compuestos disueltos pueden ser adsorbidos o degradados biológicamente (Estrada Pérez & López Ocaña, 2025).

2.2.4. Sedimentación

La sedimentación postula que las partículas sólidas que están suspendidas en un líquido tienden a depositarse debido a la gravedad cuando la velocidad del flujo se reduce y las condiciones hidráulicas son favorables para su asentamiento. En los humedales artificiales, este mecanismo se configura como uno de los métodos físicos más importantes para la depuración, ya que permite la eliminación de sólidos en suspensión y parte de la materia orgánica vinculada a estos (Gonzáles Diaz et al., 2022).

La presencia de vegetación acuática y el medio filtrante disminuyen la velocidad del agua residual, lo que favorece la deposición gradual de las partículas en suspensión. Además, la sedimentación promueve procesos de degradación biológica posteriores a cargo de microorganismos que están adheridos al sustrato y a las raíces de las plantas. De este modo contribuye de manera significativa a la disminución de la carga contaminante y a la mejora de la calidad del agua (Gonzáles Diaz et al., 2022).

2.2.5. Transferencia de oxígeno

Se basa en el traslado del oxígeno desde un estado gaseoso a uno líquido, impulsado por las diferencias en su concentración. Este fenómeno se produce de forma natural a través de la difusión, donde el oxígeno se mueve de áreas con alta concentración a aquellas con baja concentración hasta que se logra un equilibrio. En los sistemas de tratamiento de aguas residuales, este proceso es crucial ya que proporciona el oxígeno necesario para el crecimiento de microorganismos aerobios que descomponen la materia orgánica, oxidan contaminantes (Marinez & Rodríguez, 2005).

La rapidez de la transferencia está influenciada por factores como la cantidad de oxígeno disuelto, la temperatura y el área de contacto entre el

aire y el líquido. En los humedales artificiales la transferencia de oxígeno ocurre gracias a la difusión ambiental y en gran medida gracias a la intervención de las plantas microfilas (Marinez & Rodriguez, 2005).

Adsorción

Se puntualiza en la habilidad de ciertos materiales sólidos para captar moléculas, iones o sustancias disueltas que se encuentran en un líquido sobre su superficie a través de interacciones físicas o químicas. Este fenómeno tiene lugar cuando los contaminantes son atraídos y se adhieren a la superficie del material adsorbente, formando una capa que ayuda a reducir la concentración de contaminantes en el líquido (Sakadevan & Bavor, 1998).

La adsorción se combina con procesos de sedimentación, filtración y degradación biológica, y además representa uno de los mecanismos más importantes para eliminar contaminantes, principalmente fósforo, amonio, metales pesados y compuestos orgánicos disueltos. Este proceso se lleva a cabo fundamentalmente en el sustrato del humedal, que está compuesto de grava, arena, tierra o materiales porosos, que tienen superficies capaces de captar sustancias contaminantes a través de enlaces físicos y químicos (Sakadevan & Bavor, 1998).

2.2.6. Biodegradación de grasas

Es el comportamiento de aceites y grasas en aguas residuales se apoya en el principio de flotación de Arquímedes y en la Ley de Stokes, que explican que las sustancias que tienen una densidad inferior a la del agua tienden a elevarse hacia la superficie gracias al empuje generado por el fluido. Los aceites y grasas, al ser compuestos hidrofóbicos y menos densos que el agua, crean películas en la superficie o gotas que pueden fusionarse a través de un proceso conocido como coalescencia, formando partículas más grandes que facilitan su separación (Orozco Jaramillo, 2005a).

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales, como los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, estos contaminantes son eliminados mediante mecanismos combinados de flotación, retención física, adsorción en el sustrato y biodegradación por microorganismos (Orozco Jaramillo, 2005).

2.2.7. Bases Conceptuales

A) Aguas Residuales

Para OEFA las aguas residuales son aquellas que presentan alteraciones o modificaciones en relación a sus características iniciales, que estos fueron causados por diversas actividades del hombre; por ende, la adecuada disposición antes de volver a usar, es decir antes de ser vertida al cuerpo receptor en los sistemas de alcantarillado, es necesario un previo tratamiento (Ccente Rojas & Huayllani Condor, 2021).

Desde la década de los 60, aparecieron vocablo de contaminación del aire y del agua, también de la protección del medio ambiente, ecología, etc; lo cual al ser palabras comunes pasaron desapercibidos como si fueran ideas confusas. Desde esa década la humanidad ha sido bombardeada continuamente por los medios de comunicación con el pensamiento de que el hombre estaba trabajando para su autodestrucción (Ramalho, 2003).

Fuentes de contaminación de Aguas Residuales:

Se han agrupado respecto a su procedencia y pueden ser clasificadas en 4 grandes grupos:

- **Urbanas o Sociales:** Son descargas de origen doméstico y público en el que pertenecen las aguas residuales municipales como lavado de ropa, baño y desperdicios de cocina. Constituyen una mayor fuente de contaminación por los grandes volúmenes de aguas residuales producidos que son colectados por sistemas de alcantarillado. Debido a crecimiento demográfico, en el cual la mayoría de áreas suburbanas

no cuentan con la conexión del sistema de alcantarillado y disponen estas directamente a los cuerpos de agua (Ramos et al., 2002).

- **Industriales:** Son originados por el desarrollo de las actividades que son de extracción y transformación de los recursos naturales para bienes de consumo y satisfacción para la sociedad. En el cual está integrada por muchos procesos como la industria química, petroquímica, de los plásticos, textil, etc. Por ende, cada una de ellos descargan considerables números de agua residual a los cuerpos receptores (Ramos et al., 2002).
- **Agropecuarias:** Es la consecuencia del uso del agua en las actividades agrícolas como de las herbicidas, las plaguicidas y los fertilizantes; para el control de las plagas y su incremento en cuanto a su productividad, lo cual estas aguas arrastran restos de estos compuestos hacia los cuerpos receptores, como también los arrastres de las excretas de los animales que alteran los ecosistemas acuáticos (Ramos et al., 2002).
- **Naturales:** Son por causas naturales como los arrastres de la materia orgánica muerta por los escurrimientos de agua pluvial, como también los productos inorgánicos que son ocasionados por la erosión del suelo (Ramos et al., 2002).

Características de Aguas Residuales

La composición de las aguas residuales suele tener similares características entre sí, lo que se desemboca en una cierta homogeneidad para su debido tratamiento de las mismas, que tienen ciertas diferencias basadas en las actividades económicas realizadas en las aglomeraciones, también factores de densidad de población, presencia de red de saneamiento unitaria, etc.; además pueden contener contaminantes fuertes de origen industrial y esto requieran de tratamiento específico (Ramis Cirujeda; Juan, 2019).

Su composición es:

- **Materia Orgánica:** Compuestos basados por carbono, aportados por los residuos biológicos humanos desechados.
- **Sólidos en Suspensión:** Son las partículas no que no aparecen disueltas en las aguas residuales, lo cual son removidas por procesos físicos de filtración o decantación.
- **Color y Olor:** Causados por sólidos en suspensión y emisiones de gases disueltos como H₂S.
- **Aceites y Grasas:** Compuestos con densidad menor que el agua y se acumulan en la superficie.
- **Temperatura:** Valores por debajo de los 10 °C y valores encima de los 40 °C interfieren en la remoción de contaminantes.
- **Tóxicos:** Se originan en actividades industriales y comerciales.
- **pH:** Es una cualidad del agua y depende de las condiciones naturales de los materiales disueltos.

Tipos De Tratamiento

Para el grado de tratamiento sobre las aguas residuales depende principalmente de los límites de vertido para el afluente o punto de descarga. Seda una clasificación convencional de los procesos de tratamiento; tenemos al tratamiento primario que es para la remoción de los sólidos en suspensión y los sólidos flotantes, que tiene limpites para la descarga al medio receptor y también para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario; lo cual esta comprende de tratamiento biológicos convencionales; respecto a los tratamientos terciarios eliminan los contaminantes que no fueron eliminados en el segundo tratamiento (Ramalho, 2003).

Tabla 1

Tipos de tratamiento de aguas residuales

TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tratamiento Primario

Cribado o desbrozo Sedimentación

Flotación

Separación de Aceites

Homogeneización

Neutralización

Tratamiento Secundario

Lodos Activados

Aireación prolongada

Estabilización por contacto

Otras modificaciones del sistema convencional de lodos activados.

Lenguaje con aireación

Estabilización por lenguaje

Filtros biológicos

Discos biológicos (Percoladores)

Tratamientos anaerobios

Tratamiento Terciario O Avanzado

Microtamizado

Filtración

Precipitación y coagulación

Adsorción

Intercambio Iónico

Osmosis Inversa

Electrodiálisis

Cloración y ozonización

Procesos de reducción de nutrientes

Otros

Nota. Adoptado del autor Ramalho (2003).

B) Humedales Artificiales

Los humedales artificiales creados por el ser humano y son sistemas no convencionales que se basan en procesos microbiológicos, biológicos, físicos y químicos para la depuración de aguas residuales que requieren inversiones económicas reducidas (Barreto Acha, 2014).

Con un diseño adecuado y exacto, además de una operación y mantenimiento adecuados, se puede transformar el tratamiento de efluentes en un proceso de bajo consumo energético. Se realiza especialmente en comunidades pequeñas, áreas rurales; donde hay amplios espacios disponibles para la construcción de humedales (Barreto Acha, 2014).

Características de los Humedales Artificiales

Los humedales son zonas que contienen con un terreno empapado de agua y una comunidad en vida (plantas y animales) que se han adaptado a la existencia en ambientes acuáticos (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Tienen 3 componentes típicos:

- **Presencia de agua:** Se encuentra inundada permanentemente que tiene una profundidad no menos a un metro.
- **Suelos característicos:** Clasificados como hídricos.
- **Vegetación:** Están las plantas macrofitas que se adaptan a las condiciones hidrológicas y del suelo.

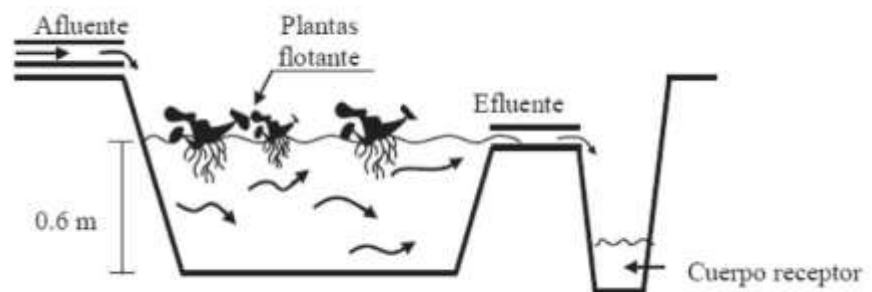
Tipos de Humedales Artificiales

- ❖ **Humedal Artificial Flujo Superficial:** Son canales con la superficie del agua al descubierto con la atmósfera y el suelo formado por tierra relativamente impenetrable, con una vegetación emergente y los niveles de agua que están entre 0.1- 0.6 metros. El tratamiento se realiza en la circulación lenta del agua por medio de tallos y raíces de la vegetación (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Sistemas con macrofitas flotantes: Constituidos por lagunas con niveles bajos de agua y con plantas macrofitas que en la superficie están flotando(Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Figura 1

Sistemas macrofitas flotantes

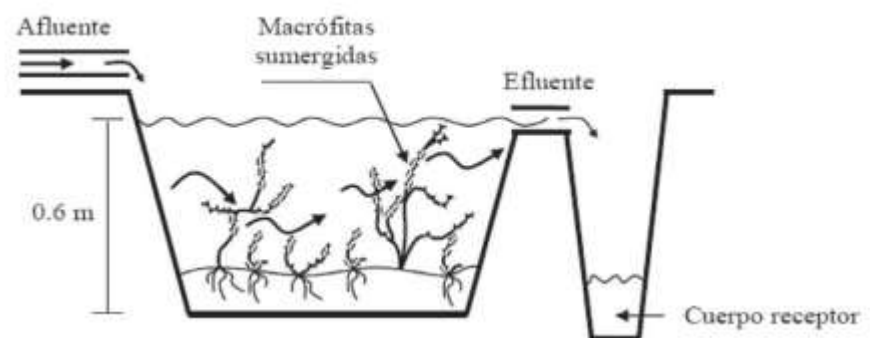


Nota. Tomado de los autores Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al. (2010).

Sistemas con Macrofitas Sumergidas: Constituidos por lagunas de un bajo nivel de agua que tienen plantas plantadas macrofitas, que crecen si el agua tiene oxígeno disuelto con alto contenido de materia orgánica biodegradable (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Figura 2

Sistemas con macrofitas sumergidas



Nota. Tomado de los autores Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al. (2010).

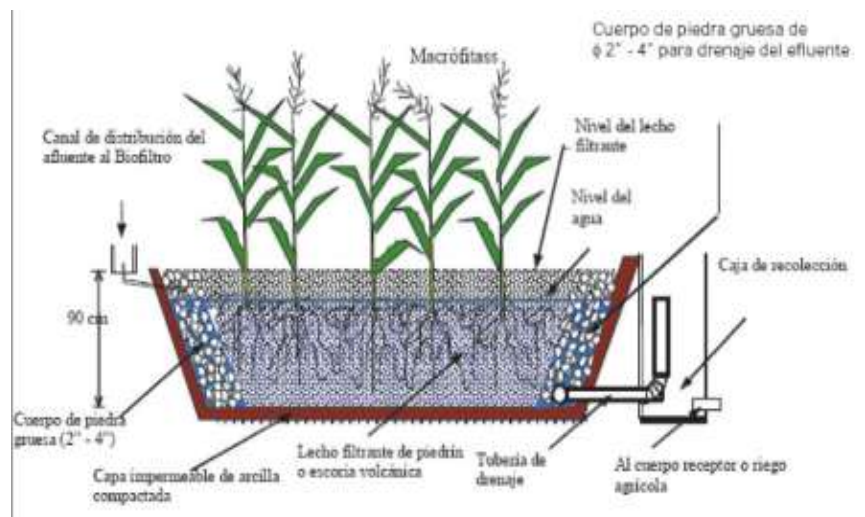
❖ **Humedal Artificial de flujo Subsuperficial**

Se trata de un filtro biológico que este relleno de un medio poroso como la grava, piedra volcánica; en el cual, las plantas macrofitas se siembran en la superficie del lecho filtrante. Lo cual las aguas residuales se infiltran, donde el nivel de agua se encuentra por debajo de la superficie del medio poroso (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Humedales de flujo Horizontal: Las aguas residuales fluyen de manera lenta desde el área de distribución en el ingreso del humedal, en una dirección horizontal por medio del lecho filtrante, hacia la superficie en la recolección del efluente (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Figura 3

Humedales de flujo horizontal

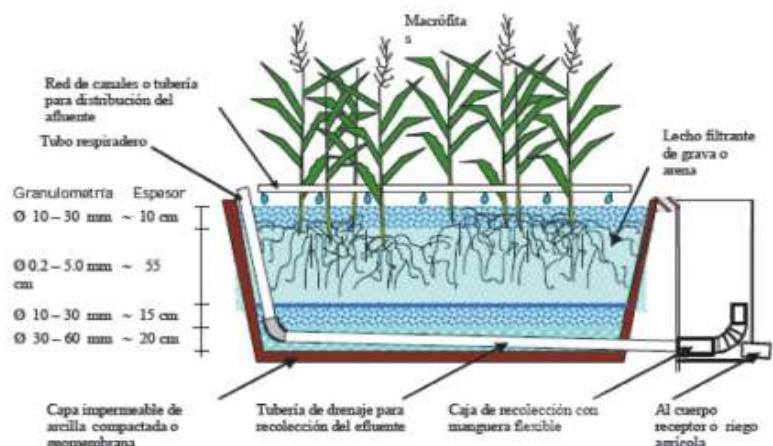


Nota. Tomado de los autores Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al. (2010).

Humedales de Flujo Vertical: Las aguas residuales fluyen de manera uniforme sobre l superficie del lecho filtrante y después desembocan en la zona de recolección (Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al., 2010).

Figura 4

Humedal de flujo vertical



Nota. Adoptado de los autores Arias Martínez, Betancur Toro, Gómez Rojas, et al. (2010).

Ventajas y Desventajas de los Humedales Artificiales

La comparación es necesaria para saber las ventajas y desventajas de la aplicación de los humedales artificiales ya sea superficial o subsuperficial (Delgadillo et al., 2010).

Tabla 2

Comparación de los tipos de humedal artificial

Humedal	Artificial	Humedal	Artificial
Superficial		Subsuperficial	

Tratamiento	Son tratamientos de flujos secundarios (que son aguas ya tratadas por otros medios). Lagunas, biodiscos, fangos activados, etc.	Tratan flujos primarios (Aguas pre tratadas) Tanque de Imhoff, pozos sépticos.
Operación	Opera con baja carga orgánica	Opera con alto nivel de carga orgánica
Olor	Puede ser controlado.	No existe.
Insectos	El control es caro.	No existe
Protección Térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción.	Buena, se debe por la acumulación de restos vegetales y flujo subterráneo donde el agua conserva una temperatura casi constante.
Área	Usan superficies de mayor tamaño.	Usan superficies de menor tamaño.
Costo	Son de menor costo	Son de mayor Costo
Valor Ecosistema	Mayor valor para la vida salvaje.	Menor Valor para la vida.
Usos Generales	Son de restauración y creación de nuevos ecosistemas.	Tratamiento para casas aisladas y núcleos menores de 200 hab.
Operación	Tratamientos adicionales a los sistemas convencionales.	Puede usarse como tratamiento secundario.

Nota. Adoptado del autor Delgadillo et al. (2010).

Comparación entre Humedales de flujo Subsuperficial Horizontal y Vertical

Tabla 3

Comparación de HA de flujo vertical y horizontal

	HORIZONTAL	VERTICAL
Funcionamiento	Continuo	Discontinuo
Estado Oxidación	Mas reducido	Mas oxidado
Eficiencia	Mas superficie	Menos superficie
Carga Superficial	4-6 g DBO5/m2. d	20.40 g DBO5/m2. d
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Mas compleja

Nota. Tomado del autor Delgadillo et al. (2010).

Construcción De Los Humedales Artificiales

Es una tecnología de depuración de las aguas residuales, que es una mejor opción para ser usada en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de pequeños núcleos urbanos (Delgadillo et al., 2010).

Para su implementación se sugieren los pasos:

- El reconocimiento del Terreno.
- Los estudios Geotécnicos.
- Actividades de desmonte.
- Levantamiento topográfico.
- El uso de energía eléctrica.
- Construcción del dique de construcción.
- La construcción de cámaras de Registro.
- Impermeabilización del dique (fosa o embalse).
- Ensamblado del sistema de drenaje o colección.
- Llenado de gravas y las arenas.

- Ensamblado del sistema de aplicación.

C) Planta Junco Totora

La planta Totorá (*Scirpus californicus*) es una planta Fito depuradora es una de las macrofitas más conocidas y difundidas. Forma parte de la amplia gama de plantas fitodepuradoras empleadas en los sistemas no convencionales de depuración (Delgadillo et al., 2010).

Figura 5

Planta junco totora



Nota. Adoptado del autor Delgadillo et al. (2010).

Características Generales

“Es una hierba perenne, acuática, arraigada al sustrato emergente, rizoma horizontal robusto, con raíces que llegan a medir entre 30 y 45 cm. Tallo de 60 a 120 cm de alto, triangular, liso, que sobresale de la superficie del agua. Hojas reducidas a vainas. pseudolateral, Inflorescencia mutante, compuesta multivariada; involucre de 2 a 3 brácteas más cortas que la inflorescencia; espiguillas aisladas, de 8 a 12 mm, lanceolado-oblongas; glumas de ápice emarginado con un mucrón subapical encorvado hacia afuera. El

fruto es una nuez obovoide, plano-convexa, de color castaño”(M. Torres Falcon, 2025).

La Totorá son ancestros directos de los “vegetales vasculares”. Poseen epidermis muy delgadas con el fin de menorar el paso de los gases, agua, nutrientes y tejidos; que posee grandes espacios intercelulares que forman una red de vías con hueco en donde se almacena y se circule el aire con oxígeno (Delgadillo et al., 2010).

- Reino: *Plantae*.
- División: *Magnoliophyta*.
- Clase: *Liliopsida*
- Orden: *Cyperaceae*
- Familia: *Cyperales*
- Género: *Scirpus*
- Especie: *Scirpus californicus tator*

Hábitat y distribución

La planta Totorá se encuentra distribuido en los terrenos inundados, orillas de lagos, canales y arroyos. Se les puede ubicar hasta los 4000 m s. n. m., en suelos de inundación permanente y en aguas de profundidad. Además, tolera pH de 4 a 9 y temperaturas de 16 a 27 °C (M. Torres Falcon, 2025).

Eficiencia de remoción

Según Torres Falcon (2025) y demás mencionan en el “Catálogo de especies de plantas eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas y/o municipales” elaborado por el MVCS que, en los humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal, a escala piloto, que tiene un caudal de 4 m³/día, respecto al tiempo de retención hidráulica es de 6 días, se logró obtener una remoción del 98.58 % para DBO₅, 92.96 % para DQO y 99.59 % para coliformes termo tolerantes.

D) Materia Orgánica

Están constituidos por carbono que son causados mayormente por los residuos biológicos que son desechados por las personas por medio de un sistema de alcantarillado. También descargan ciertas industrias como los mataderos, alcoholera, etc.; además las lluvias arrastran hidrocarburos vertidos en calzada, etc. (Ramis Cirujeda; Juan, 2019).

Tabla 4

Compuestos de la Materia orgánica

❖ **Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que se necesita para que pueda desintegrar a la materia orgánica y la inorgánica. Se aplica para estimar la cantidad total o global de contaminantes orgánicos que presenta en las aguas residuales

COMPUESTO	% APORTACION A MATERIA ORGANICA	(Romero Caballero & Albornoz Rupire,
Proteínas	40-60%	
Hidratos de Carbono	25-50%	
Grasas	< 10%	

Nota. Adoptado del autor Torres Falcon (2025).

2023).

Para poder interpretar los resultados del DBO5 se hace uso de la tabla:

Tabla 5*Criterios de DBO*

DBO	CRITERIO	DESCRIPCION
$\leq a\ 10\ mg/L$	Excelente	Sin contaminación
$> a\ 10\ mg/L\ y$ $\leq a\ 20\ mg/L$	Buena Calidad	Mínimo contenido de materia orgánica biodegradable.
$> de\ 20\ mg/L\ y$ $\leq a\ 40\ mg/L$	Aceptable	Propenso a contaminación con capacidad de autodepuración.
$> de\ 40\ mg/L\ y$ $\leq a\ 200\ mg/L$	Contaminado	Aguas con efluentes de aguas residuales crudas, primordialmente de origen municipal.
$> de\ 200\ mg/L$	Muy contaminado	Aguas con un elevado impacto de efluentes residuales crudas las municipales y no municipales.

Nota. Elaboración propia.

Los 5 días de incubación es para lograr que sea un plazo ágil, fiable; donde se logra obtener la oxidación de un porcentaje elevado de materia orgánica biodegradable, y finalmente porque en este periodo no se ha terminado por completo el oxígeno en la oxidación de nitrógeno amoniacal (Ramis Cirujeda; Juan, 2019).

❖ **Demanda Química De Oxígeno (DQO)**

Es un parámetro de manera global que es usado como indicador de contenido orgánico que están en las aguas residuales, que

es usado mayormente sin monitoreo de estaciones de tratamiento de efluentes líquidos (Romero Caballero & Albornoz Rupire, 2023).

Se puede determinar por los métodos de titulométrico y colorimétrico; donde el primer método tiene ventaja, ya que se puede demostrar la presencia de turbidez elevada y residuos de digestión con dicromato (Romero Caballero & Albornoz Rupire, 2023).

Es el volumen del oxígeno que se necesita para realizar la oxidación de la fracción orgánica de una muestra sujeto a una oxidación al dicromato o permanganato (Ramalho, 2003).

Relación de DBO Y DQO

A mayores niveles de estos parámetros de DBO Y DQO existe mayor contaminación del agua. La relación entre el contenido de DQO Y DBO es importante para poder determinar el tipo de tratamiento que se va aplicar si es biológico o no (Ramis Cirujeda; Juan, 2019).

Para aplicar los tratamientos Biológicos se requiere que mayoritariamente el agua residual contenga material orgánico biodegradable. El método más fácil para poder determinar si la relación es la adecuada o no es el coeficiente entre la DBO5/DQO (Ramis Cirujeda Juan, 2019).

Tabla 6

Relación de Biodegradabilidad

RELACION DBO5/DQO	BIODEGRADABILIDAD
< 0.4	Alta
0.2-0.4	Media
< 0.2	Baja

Nota. Tomado del autor Ramis Cirujeda Juan (2019).

E) Potencial De Hidrogeno (pH)

El pH presenta índices de acidez o alcalinidad presente en una solución, en el cual se refleja el equilibrio entre los iones tanto de hidrogeno como de hidroxilo en el agua. El pH tiene valores de una escala de 0 a 14, donde 7 es neutro. También indican que el pH que tiene un rango de 6.0 a 9.0 se considera protector en la vida acuática. El impacto al ambiente respecto a los factores sinérgicos, que es resultado de la combinación de dos o más sustancias generando efectos masivos. En el agua el pH tiene un rol importante para la determinación de posibles efectos tóxicos de estas sustancias (Romero Caballero & Albornoz Rupire, 2023).

Respecto a una solución el pH es el logaritmo negativo de la acción del ion hidrógeno y también es una medida de equilibrio que tiene por diferentes compuestos disueltos. Para medir el pH de una solución acuosa se mide electrométicamente con un electrodo de vidrio, este instrumento se llama potenciómetro. En la mayoría de fuentes de agua natural el pH oscila entre 6,5 y 8,5. Los valores del pH van de 0 a 14 en disolución acuosa, cuando son inferiores a pH 7, ácidas y las que tiene pH mayores a 7, son alcalinas o básicas; y cuando el pH es 7 indica que la disolución es neutra (Molinares, 2006).

F) Color

Constituye la luz no absorbida. Para el agua hay variedad de colores que son del azul hasta el rojo, y estos van a depender de las diferentes sustancias químicas que están disueltas en el agua, también del plancton. Están las proteínas, las grasas, los carbohidratos, etc. Así también las algas verdeazules que hacen un color verdoso en el agua y las diatomeas que hacen un color amarillento al agua, esto es por la presencia del azufre (Roldán, 2003).

El color aparente del agua es debido a la acción de la luz sobre los materiales suspendidos, junto con el tipo de fondo o reflexión del cielo; por ello para conocer el color real del agua se debe

centrifugarse para liberarla de las fuentes que le brindan ese color que aparenta ser (Roldán, 2003).

Estos causan el cambio de color:

- ❖ Efluentes de aguas industriales.
- ❖ Efluentes de aguas Domesticas.
- ❖ Efluentes de actividades agrícolas
- ❖ Efluentes de la ganadería.

G) Temperatura

En las etapas de tratamiento de las aguas residuales es un importante parámetro físico, ya que interviene en la composición del agua, donde altera la vida acuática, cambia los niveles de concentración del oxígeno disuelto (OD) como también las velocidades de las reacciones químicas y actividad bacterial. La temperatura optima esta entre 20 °C a 35°C para actividades biológicas y el desarrollo de la actividad bacterial; por encima de estas temperaturas los valores de digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden y cuando está muy abajo del rango es lenta la reacción metanogenica y dejan de operar las bacterias nitrificantes (Ramírez Jiménez, 2021).

H) Solidos Suspendidos Totales (SST)

Se encuentran el plancton, los minerales de las arcillas, la arena, el limo, coloides, agregados, materia orgánica e inorgánica que están divididos finitamente y otros organismos en el agua. Proviene de diferentes fuentes y se dividen respecto a su composición orgánica o inorgánica, que pueden ser de fuentes alóctonas o autóctona, etc. (Beltrán-Vargas & Rangel-Ch., 2012).

Características de los SST

- Son retenidas mediante un filtro de fibra de vidrio que tiene un tamaño de 0.45 mm; se queda luego de que se evapore el agua entre 103 °C-105 °C. El material que se sedimenta en 45 minutos en un cono de Imhoff se llama solidos sedimentables. En el agua

superficial contiene variables de material en suspensión, donde es probable que llegue a niveles altos (Jiménez Cisneros, 2001).

- Los SST en el agua incrementan la turbiedad, aunque no haya relación depende del tamaño y la distribución de estas partículas; para que sean desestabilizados en el agua debe haber la presencia de Fe (III) y Al (III), que van a formar flóculos y se va precipitar (Jiménez Cisneros, 2001).

I) Aceites Y Grasas

Son sustancias de menor densidad que el agua, es por ello que el agua hace que flote las gotas de aceite (Orozco Jaramillo, 2005b).

Proceso de Separación

Para realizar la separación de aceites y grasas que mayormente contienen en las aguas residuales industriales, se hace uso de las trampas de grasa, que se consiguen comercialmente, con su específico flujo; como también es necesario diseñar separadores de aceites para las instalaciones industriales que se realizan con la guía de American Petroleum Institute, que es llamado separadores API (Orozco Jaramillo, 2005b).

J) Coliformes Totales

Grupo coliformes

Estos están en el tracto intestinal del hombre y en los animales y son las enterobacterias, así también en especies propias del suelo y el agua; todos pertenecen a los bacilos Gram (-) no esporulados y estos originan la producción de la lactosa a 35 °C con acidez y gas, lo cual implica su aislamiento e identificación en muestras ambientales y alimentos; que se llaman en conjunto los coliformes totales (Lazcano Carreño, 2016).

Coliformes Termotolerantes

Pertenecen al propio tracto intestinal de los animales que poseen sangre caliente, y estos producen lactosa a 44-45 °C con gas y

acidez, lo cual son indicadores de contaminación fecal de muestras ambientales y alimentos. El tipo que mayormente predomina es *Echerichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*; sin embargo, la *Escherichia Coli* se diferencia a los demás, ya que tiene en la enzima la presencia de B-gluconidasa y es aplicado como indicio de contaminación fecal en todo tipo de agua (Lazcano Carreño, 2016).

2.3. Definición De Términos:

- a) **Agua Residual:** Es el líquido que ha sido empleado en actividades del hogar, industriales o comerciales y que incluye los elementos contaminantes físicos, químicos y biológicos que modifican su calidad natural (Metcalf & Eddy, 2014).
- b) **Aguas residuales de camal:** Son los desechos generados durante el sacrificio y limpieza de animales en un camal, que contienen sustancias como sangre, grasas, aceites, materia orgánica y organismos microscópicos (Chávez Ortiz et al., 2016).
- c) **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅):** Este es un parámetro biológico que evalúa la cantidad de oxígeno disuelto que utilizan los microorganismos para oxidar y estabilizar materia orgánica biodegradable en una muestra de agua, en condiciones aeróbicas controladas a 20 °C durante cinco días de incubación estándar (Incacutipa Mamani, 2025).
- d) **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Este parámetro mide la cantidad de oxígeno equivalente necesario para oxidar químicamente toda la materia orgánica y las sustancias inorgánicas que pueden ser oxidadas en el agua (Janeiro, 2012).
- e) **Humedal Artificial:** Es un sistema creado artificialmente para procesar aguas residuales a través de métodos naturales realizados por plantas, microorganismos y medios como grava y arena que actúan como filtros (Vymazal, 2010).

- f) **Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal:** Este tipo de humedal artificial permite que el agua residual fluya horizontalmente por debajo de la superficie del lecho filtrante, impidiendo el contacto directo con el entorno y promoviendo la eliminación de contaminantes (Papaevangelou et al., 2016).
- g) **Junco Totora:** Es una planta acuática emergente, que resiste altos niveles de contaminación. Su función principal en sistemas de tratamiento es transferir oxígeno al sustrato a través de sus raíces, fomentando la degradación por bacterias y absorbiendo nutrientes del efluente al mismo tiempo (Alarcón Maquera, 2024).
- h) **Materia orgánica:** La materia orgánica en los efluentes líquidos está compuesta de compuestos de carbono que provienen de plantas, animales y actividades humanas, como proteínas, carbohidratos y grasas. Su presencia consume el oxígeno disuelto en el cuerpo receptor durante su proceso de descomposición bacteriana, siendo cuantificada mediante DBO y DQO (Trinidad-Santos & Velasco-Velasco, 2016).
- i) **Planta piloto:** Es una instalación de pruebas en pequeña escala que funciona en condiciones reales, con el propósito de analizar, mejorar y confirmar la eficiencia de un proceso tecnológico antes de su implementación a gran escala (León Torres et al., 2019).
- j) **Schoenoplectus californicus:** Es una planta perenne con raíces profundas que soporta efluentes con alta carga de materia orgánica. Su principal utilidad radica en su capacidad para introducir oxígeno del aire en la rizosfera, creando microzonas aeróbicas en el sustrato, lo que acelera la degradación de los contaminantes por microorganismos (Hidalgo-Cordero & García-Navarro, 2018).
- k) **Tratamiento de aguas residuales:** Se trata de un conjunto de etapas físicas, químicos y biológicos que cambian las características del agua contaminada. Su objetivo principal es eliminar sólidos, materia orgánica y sustancias tóxicas, disminuyendo la carga contaminante a

niveles seguros antes de devolver el agua a los cuerpos hídricos (Ramalho, 2021).

2.4. Hipótesis:

2.4.1. Hipótesis General:

- La evolución del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con junco Totorá (*Schoenoplectus californicus*) muestra una capacidad de remoción mayor a 60% de los parámetros físico-químicos y microbiológicos de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, reduciendo notablemente sus niveles de concentración y mejorar la calidad del efluente tratado.

2.4.2. Hipótesis Específicas:

- Los parámetros físico-químicos (pH, Temperatura, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, sólidos suspendidos totales) son removidos exitosamente en el humedal artificial con flujo subsuperficial horizontal con junco totora (*Schoenoplectus californicus*) de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica.
- Los parámetros microbiológicos (coliformes termotolerantes) son removidos exitosamente en el humedal artificial con flujo subsuperficial horizontal con junco totora (*Schoenoplectus californicus*) de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica.
- Los parámetros físico-químicos y microbiológicos del efluente que fueron tratados mediante el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con la planta Junco Totorá (*Schoenoplectus californicus*) cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales establecidos por la norma vigente.

2.5. Variables De Investigación:

2.5.1. Variable Dependiente

- ❖ Calidad del Agua Tratada del camal municipal de Huancavelica.

Dimensiones:

- Parámetros físico-químicos
- Parámetros microbiológicos

Indicadores:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Potencial de Hidrogeno (pH)
- Temperatura
- Coliforme Termotolerantes
- Solidos suspendidos totales

2.5.2. Variable Independiente

- ❖ Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal

Dimensiones:

- Parámetros hidráulicos.

Indicadores:

- Área del Humedal Artificial.
- Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).
- Caudal
- Medio de soporte

2.5.3. Variable Interviniente

- ❖ Temperatura del agua residual del camal municipal.
- ❖ Edad y estado de crecimiento de la planta junco Totorá.
- ❖ Tamaño del medio de soporte

2.6. Operacionalización De Variables:

Tabla 7

Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador	Unidad De Medida	Escala De Medición	Instrumento
Variable Independiente Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal	Los sistemas de humedales artificiales con flujo subsuperficial horizontal están creados para procesar aguas residuales, empleando un material filtrante permeable y plantas macrófitas, permitiendo que el agua fluya de manera horizontal por debajo de la superficie del sustrato. En estos sistemas se llevan a cabo interacciones físicas, químicas y biológicas (Arias Martínez, Betancur Toro, Gomez Rojas, et al., 2010).	Para el proyecto de investigación el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal para tratar aguas residuales. Se diseñará un humedal artificial que tiene un tiempo de retención hidráulica de 5-7 días. Donde se evaluará la calidad de la planta junco Totorá y la remoción de contaminantes en el agua residual.	➤ Parámetros hidráulicos.	➤ Área del humedal. ➤ Tiempo de Retención Hidráulica (TRH). ➤ Caudal ➤ Medio de soporte	➤ m ² ➤ Días. ➤ L/s ➤ Tipo	➤ Razón ➤ Razón ➤ Razón ➤ Nominal	➤ Ficha de registro. ➤ Calendario y/o ficha de registro ➤ Cronometro y probeta ➤ Ficha de observación

Variable Dependiente	La calidad del agua se constituye una condición determinada por la interacción de sus propiedades físico-químicas, que son evaluadas mediante parámetros y criterios técnico-científicos estandarizados. Lo cual, permiten establecer el nivel de aptitud del recurso hídrico para diversos usos, como el riego, la recreación y demás actividades que requieren condiciones óptimas para la protección de la salud y el medio ambiente(Castillo & Rangel P., 2012).	La evaluación de la calidad del agua tratada se dará en el afluente y efluente del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, el cual las muestras se enviarán a un laboratorio para su análisis correspondiente sobre los parámetros físico-químicos y microbiológicos; además se evaluará los parámetros insitu, la temperatura del agua y el pH.	➤ Parámetros físico-químicos	➤ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	➤ mg/L	➤ Razón	➤ Incubadora de DBO
Calidad del agua tratada del camal municipal de Huancavelica				➤ Demanda Química de Oxígeno (DQO)	➤ mg/L	➤ Razón	➤ Digestor y espectrofotómetro
				➤ pH	➤ Unidad de pH	➤ Intervalo	➤ pH-metro
				➤ Temperatura	➤ °C	➤ Intervalo	➤ Multiparámetro
			➤ parámetros Microbiológicos	➤ Sólidos suspendidos totales	➤ mg/L	➤ Razón	➤ gravimétrico
				➤ Coliformes Termotolerantes	➤ NMP /100 ml	➤ Razón	➤ Material de laboratorio para método NMP e incubadora bacteriológica.

Variable Interviniente Condiciones operativas y ambientales del humedal artificial	Las condiciones de operación y del ambiente del humedal artificial incluyen factores hidráulicos, físicos, químicos y climáticos. Estos influyen en cómo funciona el sistema de tratamiento su efectividad (Miranda Ríos & Luna-Pabello, 2024).	Se supervisarán y documentarán las circunstancias operativas y ambientales del humedal artificial a lo largo del tiempo de evaluación, ya que estas pueden afectar la eficacia en la eliminación de contaminantes se medirán de forma regular para reducir su impacto en los resultados obtenidos y asegurar que las variaciones observadas en la calidad del agua residual sean precisas.	➤ Ambiental	➤ Temperatura del agua	➤ °C	➤ Intervalo	➤ Multiparámetro portátil
				➤ Edad y crecimiento de la planta Junco Totorá	➤ Días y m	➤ Razón	➤ Ficha de campo
			➤ Físico	➤ Tamaño del medio de soporte (grava)	➤ cm	➤ Razón	➤ Calibrador Vernier

Nota. Elaboración Propia.

CAPITULO III

METODOLOGIA

3.1. Ámbito espacial y temporal

3.1.1. Ámbito Espacial

La investigación se llevará a cabo en el Perú, en el departamento de Huancavelica, en la provincia de Huancavelica y el distrito de Huancavelica. El estudio de campo se desarrollará en el camal municipal de Huancavelica ubicado en el Jr. Jorge Chávez S/N en el barrio de Yananaco- Callqui Chico.

A) Ubicación Geopolítica:

Departamento: Huancavelica

Provincia: Huancavelica

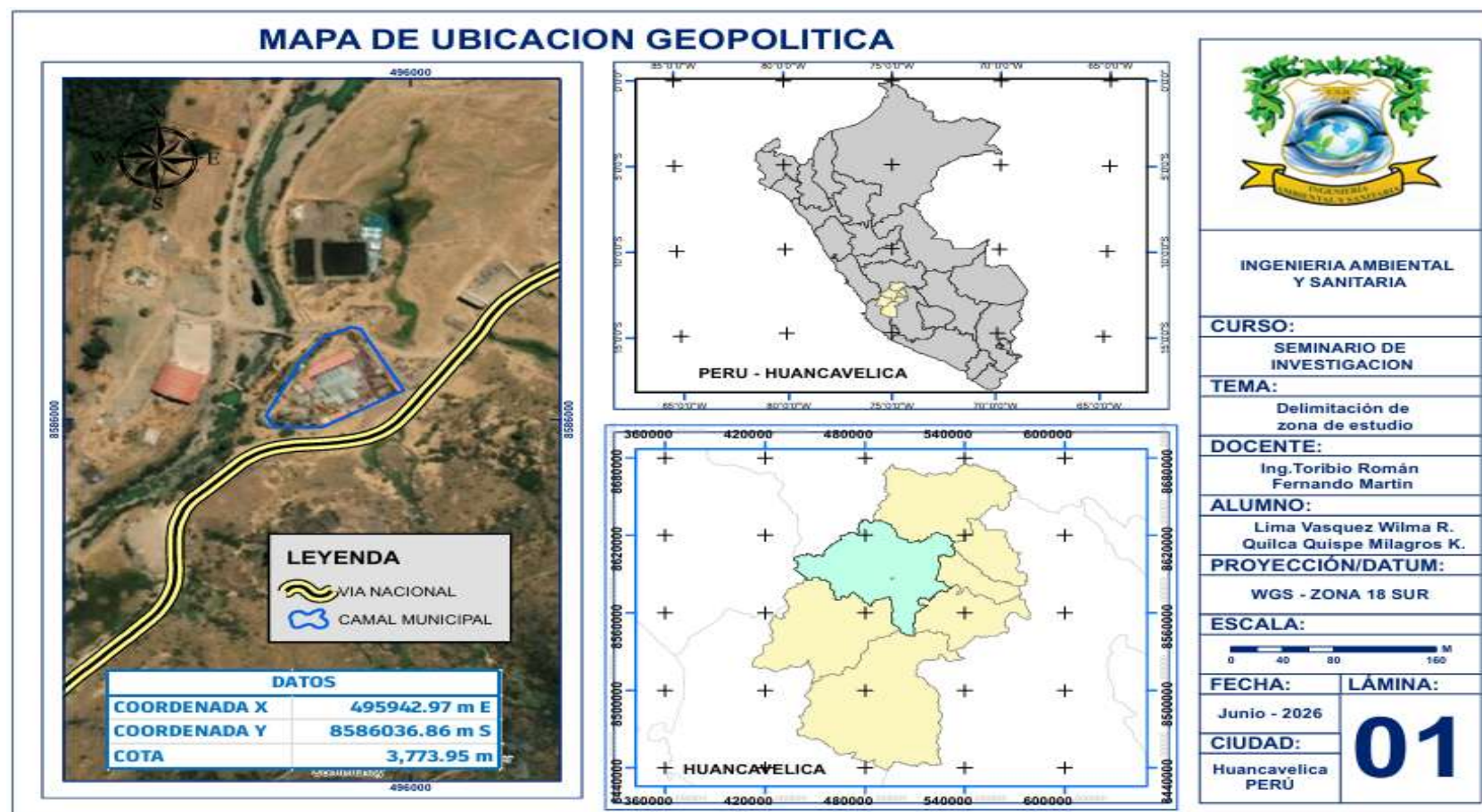
Distrito: Huancavelica

Lugar de Estudio: Camal Municipal de Huancavelica

Altitud: 3776 m.s.n.m.

Figura 6

Mapa de ubicación geopolítica



Nota. Elaboración propia elaborado en ArcMap 10.8.2.

B) Ubicación Geográfica:

El camal Municipal de Huancavelica se encuentra a 1.5 km de la ciudad de Huancavelica, ubicado en el Jr. Jorge Chávez S/N en el barrio de Yananaco- Callqui Chico.

Coordenadas UTM: 495942.97 E, 858636.86 N

Latitud: 2° 47' 26" S

Longitud: 75° 2' 15" W

Altitud: 3,773 m.s.n.m.

Figura 7

Ubicación geográfica



Nota. Elaboración propia elaborado en Google Earth Pro.

C) Clima en Huancavelica

El clima de Huancavelica combina climas fríos, en las zonas más altas tiene un clima templado en los valles y quebradas que no supera los 21° C. En las zonas altas, están las cumbres que tienen nieve, donde el clima es seco (Eguren, 2013).

Tiene un clima diverso que son conocidos primordialmente por tener baja temperaturas, que pueden llegar hasta los -8°C en algunas noches y madrugadas en los meses de junio a agosto (Ccanto et al., 2018).

3.1.2. Ámbito Temporal

El proyecto de investigación se realizará desde el mes de abril del 2026 hasta el mes de junio del 2027, donde se realizará las evaluaciones pertinentes de cada una de las variables para verificar la eficiencia en la remoción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos, como también se evaluará si cumple o no con los Estándares de calidad Ambiental de Agua en la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), así también si cumplen con los límites máximos permisibles (LMP).

3.2. Métodos de Investigación

A) Método general:

Métodos Científico

Se hará uso del método científico consiste en una serie de procedimientos sistemáticos, empíricos y críticos que se aplican al estudio de un fenómeno con el propósito de generar conocimiento válido y confiable. Este enfoque incluye la observación de los fenómenos, el planteamiento del problema de investigación, la formulación de objetivos e hipótesis, la estructura de la investigación, la recopilación y análisis de datos, así como la interpretación de los resultados y la elaboración de conclusiones, esto siguiendo un procedimiento ordenado y fundamentado en la evidencia científica para así garantizar la validez y la confiabilidad de la investigación (Hernández Sampieri et al., 2014).

Se hará uso del método científico, ya que facilitará la realización del análisis de manera estructurada, objetiva y comprobable, a través de la observación del problema, la creación de hipótesis, la realización de experimentos y el análisis de los resultados. Este enfoque nos permitirá verificar la efectividad del humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial con la totora en el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, logrando resultados confiables mediante la valoración de los parámetros de calidad del agua (Bunge, 2000).

B) Métodos Específicos:

➤ **Método hipotético-deductivo**

De acuerdo con Hernández Sampieri; Roberto et al. (2014) este método de investigación comienza con la formulación de una hipótesis que busca explicar un fenómeno específico. A partir de esta hipótesis, se hacen deducciones que luego se validan a través de la observación, experimentación y análisis de los resultados, lo que permite aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

➤ **Método analítico**

Según Bernal; Cesar (2010) este método se centra en el análisis de un fenómeno a través de la descomposición de sus elementos o componentes fundamentales, con el objetivo de estudiar cada parte de forma aislada y entender sus propiedades, conexiones y comportamiento en el fenómeno analizado.

➤ **Método cuantitativo**

Para Hernández Sampieri; Roberto et al.(2014) este método representa un enfoque de investigación que implica la recolección y el análisis de datos numéricos para evaluar variables, verificar hipótesis e identificar patrones de conducta usando procedimientos objetivos. Se distingue por emplear mediciones, herramientas de evaluación y análisis estadístico para lograr resultados que puedan ser confirmados.

3.3. Tipo de investigación

A) Investigación aplicada:

Se hará uso la investigación aplicada ya que es esencial para tomar decisiones y disponer políticas y estrategias. Se caracteriza principalmente es en el énfasis de solucionar problemas o situaciones (Namakforoosh Naghi, 2000).

Es un eslabón que se encuentra en el centro tanto del sistema de conocimientos científicos y la aplicación práctica, es decir uso de teorías y leyes científicas ya comprobadas para solucionar situaciones de la sociedad (Díaz, 2009).

Son necesarios en la práctica y en la científica, donde los resultados son sometidos a afirmaciones empíricas respecto a las investigaciones teóricas. Además, esta investigación motiva el desarrollo de investigaciones fundamentales al tener una relación directa con la ciencia con novedosos problemas prácticos que necesitan una solución, es decir nuevas explicaciones teóricas (Díaz, 2009).

3.4. Nivel de investigación

A) Explicativo o experimental:

La investigación se aplicará el nivel de investigación de tipo explicativo, el cual está dirigido a comprobar hipótesis, en el cual se verifica y se realiza el análisis de las causas (variables independientes) y sus resultados que son hechos variables (variables dependientes); debido a ello es necesario disponer de variables donde se presente un grado de complejidad por el cual los resultados impliquen explicaciones que aporten al conocimiento científico. Esto conlleva esfuerzo en el investigador, mayor capacidad de análisis, síntesis y también interpretación (Mendez Alvarez, 2020).

Según Hernández Sampieri et al. (2014) la investigación de alcance explicativo se centra en descubrir las razones detrás de un fenómeno y

explicar la relación existente entre las variables involucradas. Su objetivo es determinar cómo y por qué ocurre un determinado hecho, estudiando y analizando la influencia de una variable sobre otra. Además, este tipo de investigación permite comprobar o verificar la hipótesis y obtener resultados que contribuyen a una mejor comprensión del problema de estudio.

Se basa en la prueba de la hipótesis e indaga que los veredictos lleven a la formulación o la contra respecto a las leyes o principios científicos. Por ello, el investigador propone metas u objetivos de como estudiar el porqué de las cosas, de las situaciones o fenómenos; se analizan las causas y los efectos respecto a la relación de las variables (Bernal Torres et al., 2006).

3.5. Diseño de investigación

A) Diseño experimental

Es el método para diseñar experimentos y analizar los resultados obtenidos, lo que busca es la relación entre la causa-efecto, en el cual explican un fenómeno natural; se basa en la asunción de dos hipótesis; el error sigue una distribución normal y hay igual variabilidad entre errores (Yuin Wu & Alan Wu, 1996)

De acuerdo con Hernández Sampieri et al. (2014) el diseño de investigación se clasifica como experimental, cuasi experimental y no experimental. En este caso para este proyecto el diseño más adecuado y que mejor se ajusta es el preexperimental, que es considerado como parte de los diseños experimentales y se caracteriza por aplicar un tratamiento a un solo grupo y evaluar sus efectos mediante una medición antes y después de la intervención.

El presente estudio corresponde a un diseño preexperimental con preprueba y posprueba en un solo grupo

Esquema de diseño

G 01 X 02

Donde:

G: Grupo de muestra

O1: Medición inicial de la calidad del agua residual.

X: Implementación de la planta piloto de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con junco totora.

O2: Medición final de la calidad del agua residual tratada.

3.6. Población, muestra y muestreo

3.6.1. Población

La población viene a ser el grupo o conjunto de elementales, objetos o seres que tienen características comunes, ya sean en número limitado o ilimitado. Esto puede incluir familias, objetos, empresas, individuos, y otros componentes. También se refiere a todas las unidades que fueron objeto de análisis en una investigación durante un período específico (Valderrama, 2013).

La población de estudio se compone del efluente producido en el Camal Municipal de Huancavelica, resultado de las actividades relacionados con el procesamiento de animales y la limpieza del lugar. El camal genera un flujo promedio de (75479 L/día) de aguas residuales, el cual forma la población de estudio y servirán de base para diseñar el humedal artificial de flujo horizontal y evaluar los parámetros de calidad del agua.

3.6.2. Muestra

Es la agrupación individuos que, si se van a estudiar, es decir en un subconjunto de la población, para así obtener resultados. Es la representación de la población, lo cual se definen muy bien los criterios de inclusión y exclusión; haciendo uso de técnicas de muestreo adecuadas (Icart Isern et al., 2006).

La muestra que se empleara en la investigación es de tipo no probabilístico.

La muestra en nuestro proyecto de investigación una parte representativa del caudal promedio de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, que es conveniente y adecuado para la planta piloto del humedal subsuperficial de flujo horizontal, ya que el tiempo de retención hidráulica es de 7 días, por ello será un caudal de: 0. 27 m³/día.

3.6.3. Muestreo

Los muestreos no probabilísticos se distinguen porque los componentes de la población no tienen una probabilidad claramente definida para ser seleccionados. La falta de conocimiento sobre la probabilidad de selección impide el uso de herramientas diseñadas para hacer inferencias de la muestra a la población. Por lo tanto, en este tipo de muestreo no se puede determinar el tamaño del error relacionado con la estimación del parámetro poblacional (Vivanco, 2005).

Se implementará un muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que las muestras se obtendrán en lugares específicos que han sido definidos dentro del sistema de tratamiento (entrada y salida del humedal artificial), considerando que dichos puntos reflejan las condiciones reales del agua residual antes y después del tratamiento. La recolección de muestras se llevará a cabo durante el periodo experimental, siguiendo un cronograma planificado y cumpliendo con los procedimientos técnicos establecidos para el muestreo de aguas residuales.

Se realizarán muestreos dos veces a la semana de los parámetros: temperatura, pH y sólidos suspendidos totales; en cuanto a la demanda bioquímica de oxígeno, a la demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termo tolerantes y sólidos suspendidos totales se

harán muestreo una vez a la semana, se enviarán a analizar a un laboratorio acreditado por INACAL para tener la garantía de que los resultados obtenidos sean confiables y verídicos.

3.7. Técnicas, instrumentos y procedimientos para recolección de datos

3.7.1. Técnicas de investigación

A) Técnica de campo

La técnica de la observación

La técnica de la observación sugiere y motiva las situaciones y dirige para que se sistematicen los datos, hace referencia a la visualización y está inmerso para mencionar de diferentes maneras la percepción que son registradas tal y como lo observamos (Ernesto A. & Rodríguez Moguel, 2005).

Por ello se utilizará la técnica de la observación donde se realizará el análisis físico-químico y microbiológico del agua residual del camal municipal de Huancavelica de acuerdo a los protocolos para su respectivo análisis en el laboratorio acreditado por INACAL.

En la etapa experimental las aguas residuales serán tratadas en la planta piloto del humedal artificial del flujo subsuperficial de flujo horizontal con Junco Totorá, el cual permitirá demostrar las hipótesis planteadas.

B) Técnica de investigación documental

Ficha de trabajo

Se recopila información verídica de fuentes, en el cual esta reflexiones, comentarios, análisis, resúmenes y conclusiones. Son necesarias en la investigación la consulta de bibliografías amplias y así optar por un mayor dominio respecto al tema de investigación (Barbosa Moreno, 2020)

- Identificación de fuentes
- Relación con la información
- Organizar notas

3.7.2. Instrumentos y procedimientos para recolección de datos

Las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica tendrán un pretratamiento (cámara de rejas gruesas y desengrasador), se llena el tanque de almacenamiento de 1.89 m³ para un periodo de 7 días, lo cual tendrán las siguientes dimensiones:

- ✓ Largo: 1.30 m
- ✓ Ancho: 1.30 m
- ✓ Altura: 1.20m

Lo cual será impulsado con una bomba sumergible de 0.5 HP, 220V con paso de solidos de al menos de 35 mm.

Posterior a ello se instalará unas válvulas de regulador de caudal para mantener una circulación de agua residual constante al humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

El sistema de alimentación del humedal será por una tubería de PVC de ½ pulgada (20 mm) de PVC, lo cual estás se conectarán a una manguera de ½ pulgada (20mm) hacia el tanque de almacenamiento.

➤ Cálculo de diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto

A) Caudal de diseño:

$$Q = 0.27 \text{ m}^3/\text{día}$$

B) Tiempo de retención Hidráulico

Para la investigación se realizará un tiempo de retención de 7 días de un periodo de tres meses.

C) Dimensiones del humedal

El diseño hidráulico del humedal subsuperficial de flujo horizontal se aplicará el algoritmo NSGA-II, que es una

técnica de optimización multiobjetivo, donde maximiza la eficiencia de remoción de contaminante, materia orgánica (DBO) (Mario A. Hernández Hernández et al., 2014).

- ❖ Numero de sistemas: 1
- ❖ Pendiente del humedal (s): 1%
- ❖ Profundidad del agua (h1): 0.60 m
- ❖ Profundidad del medio (h2): 0.80 m
- ❖ Volumen del humedal (Vt): 0.37 m³
- ❖ Ancho del humedal (W): 0.46 m
- ❖ Longitud del humedal (L): 1.34 m
- ❖ Área Superficial (As): 0.61 m²
- ❖ Área transversal (Ac): 0.274 m²

Carga superficial (CH):

La carga superficial del humedal será de: 0.442 m/d

D) Material de soporte

Grava gruesa es adecuado ya que permite una alta superficie de contacto para las bacterias depuradoras, permite la correcta circulación del agua y da soporte de físico adecuado para que las raíces de las plantas crezcan.

- ❖ Porosidad del medio (n): 0.45
- ❖ Conductividad hidráulica (ks): 100 m/d
- ❖ Volumen de grava gruesa requerido (Vgrava): 0.49 m³

➤ **Determinación de los puntos de monitoreo**

Se establecerán dos puntos para recolectar las muestras, que serán el afluente y el efluente de las aguas residuales del camal municipal de Huancavelica, el cual serán georreferenciados adecuadamente con GPS.

Punto 01: Afluente (punto de ingreso al humedal)

Punto 02: Efluente (punto de salida del humedal)

Se realizará de acuerdo al protocolo del monitoreo de calidad de agua-ANA, con las siguientes consideraciones:

- ❖ Se hará la esterilización de los frascos de vidrio, que se realizará en la autoclave; mediante el método húmedo.
- ❖ Se rotulará los frascos, se colocará el código de la estación, fecha y la hora exacta.
- ❖ Se hará uso del guante látex y mascarilla.
- ❖ Se utilizará el multiparámetro debidamente calibrado para tomar la muestra insitu; en el cual se medirá el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica.
- ❖ Entre otras consideraciones.

Las muestras que son obtenidas serán conservadas en coolers, respecto a una determinada temperatura, también se adecuara correctamente para evitar posibles rupturas y derrames. Serán enviadas a un laboratorio acreditado por INACAL en el menos tiempo posible, cumpliendo con las exigencias de preservación y el tiempo de almacenamiento de las muestras.

➤ **Uso del laboratorio**

Se harán uso de los siguientes equipos:

❖ **pH y temperatura:**

Se medirá con el pH-digital

Proceso:

- Se va calibrar primero el pH metro con 3 soluciones acida, neutra y alcalina.
- Luego se pondrá en la muestra que se va analizar.
- Después se lava el instrumento con agua destilada para otra medición.

❖ **Demanda Bioquímica de Oxígeno:**

Se medirá la concentración de DBO mediante diferentes instrumentos que están en el laboratorio, como:

- La Incubadora de DB a temperatura de 20° C mayormente.
- Botellas de DBO de aproximadamente 300mL con tapa hermética.
- Agua de dilución previamente preparada.
- Pipeta y materiales volumétrico.

Como la muestra es agua residual de camal municipal de Huancavelica se diluirá primero para que el consumo de oxígeno sea medible. Luego se llenará en una botella de DBO con la muestra diluida, evitando burbujas de aire. Después se mide el Oxígeno disuelto.

Se llevará a una incubadora de una temperatura aproximadamente de 20° C, por 5 días en la oscuridad así evitando la fotosíntesis. Finalmente, se medirá el oxígeno disuelto final.

❖ **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

Para determinar la concentración de DQO se utilizará los equipos y materiales del laboratorio:

Propipeta, punta de pipetas, viales para DQO de alto rango, digestor Hach DBR200 y un colorímetro portátil.

Primero se encenderá el equipo digestor para que así se vaya calentando y logre llegar a una temperatura de 150° C.

Marcar en la tapa del vial la muestra que se va a pipetear.

Se quitará la tapa y se inclinará en 45° y con el apoyo de los puntos de pipeta se agregará 2mL de muestra. Después taparla con la tapa y mezclarlo. Se colocará los viales al digestor a una temperatura de 150° C por 2 horas y cuando culmine apagar el equipo.

Finalmente usar el colorímetro portátil para hacer su medición respectiva.

❖ Sólidos suspendidos totales:

Se utilizará un equipo especializado la estufa u horno de secado para medir la concentración de sólidos suspendidos totales, generalmente a una temperatura de 103° C a 105° C.

❖ Coliformes termo tolerantes:

Se medirá la concentración de los coliformes termo tolerantes con el equipo de laboratorio de la incubadora bacteriológica.

➤ Distribución de la planta junco totora en el humedal

La plantación de la planta totora se realiza de manera uniforme en el humedal artificial que tiene como dimensiones de 1.34 m de longitud y 0.46 m de ancho por que se sembraran 8 plantas que serán distribuidas en columnas de 4 y filas de 2, con un espaciamiento de 0.35 m entre cada planta considerando márgenes laterales de 0.24 m y márgenes inferior y superior de 0.275 m esto con el fin de favorecer el desarrollo del sistema radicular optimizando el contacto entre las raíces y el agua residual.

Figura 8

Plano de distribución de la planta junco totora



Nota. Elaboración propia.

➤ **Ficha de registro**

Se hará uso de la cadena de custodia, en el cual se va registrar todos los datos de campo y también de laboratorio. Esta información obtenida nos permitirá procesar y analizar los resultados que nos arrojan en el campo y en el laboratorio.

➤ **Cronograma de medición y control**

Los parámetros de control se medirán cada 7 días, las cuales son: temperatura, pH, a demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, solidos suspendidos totales y coliformes termo tolerantes una vez que termine la puesta en marcha el humedal; donde serán enviados a un laboratorio acreditado por INACAL

Tabla 8

Cronograma de monitoreo de parámetros

Monitoreo de los parámetros del afluente y efluente										
Mes	Noviembre			Diciembre			Enero			
Nº	de	1	2	3	4	5	6	7	8	9
semanas										
pH		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Temperatura		x	x	x	x	x	x	x	x	x
Demanda		x	x	x	x	x	x	x	x	x
bioquímica de										
oxigeno										
Demanda		x	x	x	x	x	x	x	x	x
química de										
oxigeno										
Solidos		x	x	x	x	x	x	x	x	x
suspendidos										
totales										
Coliformes		x	x	x	x	x	x	x	x	x

termo

tolerantes

Nota. Elaboración propia.

➤ **Periodo del proyecto de investigación**

La investigación empezara con el arranque del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, el 2 de noviembre del 2026, se empieza a monitorear la temperatura, el pH y los demás parámetros en estudio con un tiempo de retención hidráulica de 7 días, durante un periodo de 3 meses. En total la investigación durara 90 días.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos obtenidos de los análisis de laboratorio realizado a las aguas residuales del camal serán registrados y organizados en una base de datos utilizando Microsoft Excel 2021 donde se llevará a cabo la depuración de la información, la elaboración de tablas, gráficos, así como el cálculo del porcentaje de remoción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos analizados.

Se calculará la eficiencia de remoción de cada parámetro mediante la siguiente expresión:

$$\textit{Eficiencia de remocion}(\%) = \frac{Ci - Cf}{Ci} \times 100$$

Donde:

Ci: Concentración inicial del parámetro

Cf: Concentración final del parámetro

Luego, se aplicará la estadística inferencial para comparar los resultados obtenidos antes y después del tratamiento para determinar si existen

diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de remoción de los contaminantes mediante el software IBM SPSS Statistics versión 31.0.

La distribución de los datos se verificará mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. De acuerdo con los resultados obtenidos, si los datos se distribuyen de manera normal, se aplicará la prueba T-Student para muestras relacionadas; de no ser así, se empleará la prueba no paramétrica de Wilcoxon para muestras relacionadas.

Finalmente, los resultados obtenidos serán interpretados con un nivel de confianza del 95 % y un nivel de significancia de 0.05, lo que permitirá aceptar o rechazar la hipótesis de investigación.

CAPITULO IV

ASPECTO ADMINISTRATIVO

4.1. Recurso Humano

El desarrollo de la presente investigación se necesitará la participación de los estudiantes (tesistas), asesor de tesis y personal de apoyo para las actividades de construcción, instalación y los monitoreos del humedal artificial como también se contará con el apoyo de un laboratorio acreditado por INACAL para los respectivos análisis de muestras del agua residual.

Tabla 9

Recurso humano

Recurso humano		Función
Tesista		Diseño, construcción, operación del humedal artificial, monitoreo, análisis de resultados y elaboración del informe final.
Asesor de tesis		Supervisión y orientación metodológica y técnica durante la investigación.
Ayudante de instalación	de	Apoyo en la construcción e implementación de la planta piloto.

Recurso humano	Función
Personal del laboratorio acreditado	Análisis de las muestras de DBO, DQOY SST del agua residual

Nota. Elaboración propia.

4.2. Materiales y equipo

Para la implementación de la planta piloto humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal se utilizarán los siguientes materiales de construcción, equipos hidráulicos, equipos de muestreo y materiales para el muestreo.

Tabla 10

Materiales y equipos

Materiales	Equipos
➤ Malla metálica (cámara de rejas)	➤ Bomba sumergible de 0.5 Hp
➤ Desengrasador (tina plástica)	➤ GPS
➤ Tanque Rotoplas	➤ Multiparámetro
➤ Regulador de caudal	➤ Coolers
➤ Humedal artificial (estructura de vidrio)	➤ Equipo de protección personal (guantes y mascarillas)
➤ Arena gruesa	
➤ Arena fina	
➤ Grava gruesa	
➤ Planta junto totora	
➤ Tuberías y accesorios PVC	
➤ Pegamento para PVC y silicona	
➤ Frascos estériles	

Nota. Elaboración propia

4.3. Cronograma de actividades

Tabla 11

Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	AÑO 2026										AÑO 2027				
	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO
Generación de la idea del proyecto	X														
Elaboración del proyecto	X	X	X												
Designación del asesor				X											
Revisión y visto bueno del asesor				X											
Subsanación de errores				X											
Presentación del proyecto				X											
Revisión del proyecto por autoridades competente					X										

[illegible]

Nota. Elaboración propia.

4.4. Presupuesto

Tabla 12

Presupuesto

Especifica de Gasto	Rubros	U n i d. M e d.	Ca nt.	% de dis tr.	Mo nt o S/.	Cos to U nit .	Cos to tot al	MESES												SUB TOTAL S/.
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I. Equipos															sin % máximo					
GPS	Georrefer enciación	día	9			50	450						X	X	X	X				
Multiparám etro	Análisis in situ	día	9			50	450								X	X	X			
Bomba Sumergible De 0.5 Hp, 220v	Captar el agua residual	und	1			600	600						X	X	X	X	X			
II. Materiales e insumos.															sin % máximo					
Tubería PVC De	Instalació n en el	m	15			17	51						X	X	X	X	X			
															1500					

[illegible]

	aguas residuale s											
Tina De Plástico	Cámara de rejás y desengras ador	und	2		20	40		X	X	X	X	X
Adaptadore s De 1/2"	En las conexion es de tuberías PVC	und	4		2.5	10		X	X	X	X	X
Abrazadera s de 1/2"	Para las tuberías	und	10		0.5	5		X	X	X	X	X
Manguera De 1/2"	Conexión con el Rotoplas	m	1		50	50		X	X	X	X	X
Cable Eléctrico	Conexión para la bomba sumergib le de 0.5 HP	m	10		22	22		X	X	X	X	X
Vidrio	Material de construcc ión del humedal artificial	m2	3		130	390		X	X	X	X	X
Uniones De PVC	Conexión de	und	2		2.5	5		X	X	X	X	X

Silicona Selladora	tuberías PVC Conexión de tuberías PVC	und	5		9	45		X	X	X	X	X
Algodón	En el desengrasador	Kg	3		7	21		X	X	X	X	X
Arena Gruesa	Material de soporte del humedal	m3	1		120	120		X	X	X	X	X
Grava gruesa	Material de soporte del humedal	m3	1					X	X	X	X	X
Arena Fina	Material de soporte del humedal	m3	1		170	170		X	X	X	X	X
Plataforma Metálico	Soporte del Rotoplas	m	36		20	720		X	X	X	X	X
Malla	En cámara de rejillas	m2	1		8	8		X	X	X	X	X

Llave De Paso	En conexión de tuberías PVC	und	3	6.5	19.5	X	X	X	X	X		
Coolers	Material de muestreo de agua	und	2			X	X	X	X	X		
Frascos De Vidrio	Material para el análisis del muestreo de agua	und	7	15	105	X	X	X	X	X		
Agua Destilada	Limpiar el multiparámetro	und	9	8	72	X	X	X	X	X		
												4434.9
III. Servicios especializados												hasta 25% 2500
Servicio De Análisis De Muestras De Agua En Un Laboratorio	Para obtener los resultados	global	7	275.43	1928			X	X	X		
Construcción Del	Proceso de	global	1	100	100		X					

[illegible]**hasta 15% 1500**

[illegible]

Nota. Elaboración propia.

4.5. Financiamiento

El proyecto de investigación será autofinanciado por lo tesistas en ejecución.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. R., Cruz, A. C., Salina, E. S., & Hernandez, L. O. (2009). Tratamiento de Aguas residuales por un sistema de piloto de Humedales Artificiales: Evaluacion de la remocion de la Carga Organica [Revista,Centro de Investigacion en Biotecnología, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Química]. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 156-157. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v25n3/v25n3a4.pdf>
- Chowdhury, M. W., Nabi, M. N., Arefin, A., & Rashid, F. (2022). Reciclaje de residuos de mataderos para convertirlos en fuentes potenciales de energía e hidrógeno: Un enfoque para la energía sostenible del futuro. *ScienceDirect*, 19. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101133>
- Engin, K., & Richard, C. (2023). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: alianzas y cooperación por el agua ; datos, cifras y ejemplos de acción. Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. Obtenido de <https://honduras.un.org/sites/default/files/2023-04/WWDR%202023%20Executive%20Summary%20SP.pdf>
- Huaman, W. S. (2023). Efecto de las Aguas Residuales del Camal Municipal en la calidad del rio Ichu, Huancavelica [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. Huancavelica: Repositorio UNH. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/items/09d91443-5cdf-4565-84c7-c76d4603abe5>
- Malaver Moreno, A. (2013). Evaluación de un Humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (Lemna minor) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres. Bogota.
- Marquez, E. Y., Torre, M. Y., Yupanqui, G. M., Reyes, D. E., & Hajar, J. B. (2023). Contaminación del Río Opamayo por el camal municipal en la población de Pampas-Tayacaja, 2023 [Revista científica, Universidad Autonoma de

- Tayacaja Daniel Hernandez Morillo]. Revista de Investigacion Cientifica Tayacaja, 6(1), 33-43. doi:10.46908/tayacaja.v6i1.206
- Medina-Valderrama, C., Uriarte-Tirado, W., Cardenas-Vásquez, E., & Orrego-Zapo, S. (2020). Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton. *Revista INGENIERÍA UC*, 27(2), 166-174. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230005/html/>
- Orley, C. L., & César, A. H. (2020). Reduccion de color y turbidez en aguas residuales del camal Municipal de Manta mediante biofiltracion con cascara de coco (cocos nucifera) y cascarilla de arroz (Oriza Sativa), enero 2020 . Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura “YAKU”.
- Paima Chuquipiondo, D., & Grately Pinedo, W. (2021). Eficiencia de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal en el tratamiento de aguas residuales domesticas en una vivienda del A,H 9 de octubre, Pucallpa. Pucallpa.
- Pari Sedano , L., & Sullcaray Laime , R. (2021). Evaluacion del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con Berros (Nasturtium Officinale) en la remoción de materia organica a escala piloto de las aguas residuales del distrito de yauli . Huancavelica .
- Soria Flores, S. (2025). Tratamiento de aguas residuales del camal municipal de la ciudad Yurimaguas mediante humedal artificial con Heliconia psittacorum, 2022. Moyobamba, Perú.
- Alarcón Maquera, G. E. (2024). Eficiencia de la totora (schoenoplectus californicus) y el junco (juncus effusus) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en Moquegua. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4487>
- Camacllanqui Huamanlazo, A. O. (2025). Remoción de cromo (VI) de agua residual de curtiembre empleando biomasa orgánica vegetal en un reactor biológico secuencial aerobio. *Revista de Ciencias Ambientales*, 59(1), 1–21. <https://doi.org/10.15359/RCA.59-1.7>

- Castro Olarte, J. (2018). Evaluación de la remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica [Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/4fb0ebeb-db9c-4786-8515-3cbcfa79a077/download>
- Chávez Ortiz, J., Leiva Tafur, D., & Corroto, F. (2016). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales en la ciudad de Chachapoyas, Región Amazonas. *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 6(1), 16. <https://doi.org/10.22386/CA.V6I1.104>
- Chavarría, E., Chávez, M., López, G., & Orellana, D. (2023). Contaminacion del Rio Opamayo por el camal Municipal en la poblacion Pampas-Tayacaja, 2023. *Revista de investigacion cientifica Tayacaja*, 6(1). doi: doi:10.46908/tayacaja.v6i1.206
- Encarnación, S. A., Torres, M. G. F., Guerrero, M. J. F., del Rosario Malpica Sánchez, A., & Vázquez, J. R. Á. (2023). Microalgas asociadas a un vertedero de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Cerro de la Estrella, en un canal de Xochimilco, Ciudad de México[Microalgas asociadas a un vertedero de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estr.... *Hidrobiología*, 33(1), 73–86. <https://doi.org/10.24275/UAM/IZT/DCBS/HIDRO/2023V33N1/FIGUEROA>
- Herrera-López, D., Mejía-González, G., Cuevas-González, R., Arévalo-Velázquez, M. A., & Guillén-Navarro, G. K. (2021). Sistema de humedales acoplado construido por la UASB para la reutilización de aguas residuales para riego de jardinería [Sistema acoplado reactor anaerobio con deflectores-humedal artificial como alternativa para retorno de agua residual en riego de áreas.... *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37, 249–257. <https://doi.org/10.20937/RICA.53643>
- Hidalgo-Cordero, J. F., & García-Navarro, J. (2018). Totora (*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják) and its potential as a construction material.

Industrial Crops and Products, 112, 467–480.
<https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.12.029>

Incacutipa Mamani, C. (2025). Demanda bioquímica y química de oxígeno en las aguas residuales del camal municipal de Ilave, 2025. Universidad Privada San Carlos. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/20.500.14891/1893>

Janeiro, M. (2012). Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Mente & Materia. <https://rida2.utp.ac.pa/handle/123456789/12812>

León Torres, C. A., Nomberto Rodríguez, C., Mendoza Avalos, G. A., Bardales Vásquez, C. B., Cabos Sánchez, J., & Barrena Gurbillón, M. A. (2019). Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol. Arnaldoa, 26(3), 1017. <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.263.26311>

Metcalf, W., & Eddy, C. (2014). Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, Fifth Edition, 1–2018.
<https://repositori.mypolycc.edu.my/jspui/handle/123456789/4586>

Medina-Valderrama, C., Uriarte-Tirado, W., Cardenas-Vásquez, E., & Orrego-Zapo, S. (2022). Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton. Revista INGENIERÍA UC, 27(2), 165–174. <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230005/html/>

Montes-Iturrizaga, D., Aponte, H., & Valle-Rubio, S. (2023). Un nuevo humedal artificial en la costa central de Perú: Primera caracterización de su avifauna[Un nuevo humedal artificial en la costa central de Perú: primera caracterización de su avifauna]. Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 47(183), 352–370. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1883>

Papaevangelou, V., Gikas, G. D., & Tsihrintzis, V. A. (2016). Effect of operational and design parameters on performance of pilot-scale horizontal subsurface flow constructed wetlands treating university campus wastewater. Environmental Science and Pollution Research 2016 23:19, 23(19), 19504–19519. <https://doi.org/10.1007/S11356-016-7162-7>

- Parí Sedano, L. F., & Sullcaray Layme, R. O. (2021). Evaluación del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con berros (*nasturtium officinale*) en la remoción de materia orgánica a escala piloto de las aguas residuales del distrito de yauli-huancavelica. Universidad Nacional de Huancavelica.
- Ramírez, A. T. O., & Rodríguez, N. S. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121–134. <https://doi.org/10.18359/rcin.5343>
- Romero Aguilar, M., Colín Cruz, A., Sánchez Salinas, E., & Ortiz-Hernández, L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), 157–167. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37012012004>
- Ramalho, R. S. (2021). Tratamiento de aguas residuales / R.S. Ramalho ; versión española por: Domingo Jiménez Beltrán, Federico de Lora, Rubens Sette Ramalho. *Tratamiento de Aguas Residuales.*, Traducción, 716. https://books.google.com/books/about/Tratamiento_de_aguas_residuales.html?hl=es&id=T9MfEAAAQBAJ
- Trinidad-Santos, A., & Velasco-Velasco, J. (2016). Importancia de la materia orgánica en el suelo. *Agro Productividad*, 9(8), 52–58. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.352507>
- Vymazal, J. (2010). Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Five Decades of Experience†. *Environmental Science and Technology*, 45(1), 61–69. <https://doi.org/10.1021/ES101403Q>
- Zairi, S., Meddah, B., Slimani, M., & Rahmani, A. (2025). Evaluación del impacto ambiental de las aguas residuales urbanas y de la capacidad de tratamiento de la planta de lodos activados de Saida (noroeste de Argelia) con motivo del Eid Al-Adha[Evaluación del impacto ambiental de las aguas residuales urbanas y.... *Correo Técnico Militar/Vojnotehnicki Glasnik*, 73(2), 575–604. <https://doi.org/10.5937/vojtehg73-55420>

- Arias Martínez, S. A., Betancur Toro, F. M., Gomez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernández Ángel, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas | Informador Técnico. 74. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5
- Estrada Perez, N., & Lopez Ocaña, G. (2025). *Sagittaria lancifolia* en la remoción de DQO y nutrientes de efluentes agrícolas con humedales artificiales de flujo subsuperficial. 12. <https://revistajobs.ujat.mx/jobs/es/article/view/6679/4819>
- Garcia Becerra, F. Y., & Ortiz, I. (2018). Biodegradation of Emerging Organic Micropollutants in Nonconventional Biological Wastewater Treatment: A Critical Review. *Environmental Engineering Science*, 1012–1036. <https://doi.org/10.1089/EES.2017.0287;CTYPE:STRING:JOURNAL>
- Gonzáles Diaz, A., Rodríguez Valencia, N., García Núñez, J. A., Ruiz Álvarez Elizabeth, Acero Hernández, J. H., & Reyes Ávila, W. A. (2022). Humedales artificiales como alternativa para el tratamiento terciario de efluentes de planta de beneficio de palma de aceite. <https://repositorio.fedepalma.org/server/api/core/bitstreams/7b9260e2-b6cc-4b5d-9721-4786dc0e7ee2/content>
- Marinez, S., & Rodriguez, M. (2005). Aireación en sistemas de tratamiento de aguas residuales . In *Tratamiento de aguas residuales con Matlab* (6). Reverté. <https://books.google.com/books?id=-1NxMzYv9-UC&pgis=1>
- Miranda Ríos, M., & Luna-Pabello, V. M. . (2024). *Estado Del Arte y Perspectivas de Aplicación de Los Humedales Artificiales de Flujo Horizontal en México*. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educacion.
- Orozco Jaramillo, A. (2005). *Bioingeniería de Aguas Residuales* . Acodal . https://books.google.com/books/about/Bioingenieria_de_Aguas_Residuales.htm?hl=es&id=t5w5EZf1VhMC

- Overton, O. C., Olson, L. H., Majumder, S. Das, Shwiyyat, H., Foltz, M. E., & Nairn, R. W. (2023). Mecanismos de eliminación emergentes en humedales artificiales. 12(2), 472. <https://doi.org/10.3390/LAND12020472>
- Sakadevan, K., & Bavor, H. J. (1998). Características de adsorción de fosfato de suelos, escorias y zeolitas que se utilizarán como sustratos en sistemas de humedales artificiales. 32(2), 393–399. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00271-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00271-6)
- Arias Martínez, S. A., Betancur Toro, F. M., Gomez Rojas, G., Salazar Giraldo, J. P., & Hernández Ángel, M. L. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas | Informador Técnico. 74. https://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5
- Miranda Ríos, M., & Luna-Pabello, V. M. . (2024). Estado Del Arte y Perspectivas de Aplicación de Los Humedales Artificiales de Flujo Horizontal en México. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Instituto de Investigaciones sobre la Universidad y la Educacion.
- Bernal; Cesar. (2010). Metodología de la investigación (tercera). https://www.ispsn.org/sites/default/files/documentos-virtuais/pdf/metodologia_de_la_investigacion_tercera-_bernal.pdf
- Bunge, M. (2000). La investigación científica. Su estrategia y su filosofía. <https://ia800601.us.archive.org/9/items/BungeMarioLaInvestigacionCientificaSuEstrategiaYSuFilosofia/Bunge%20Mario%20-%20La%20Investigacion%20Cientifica%20-%20Su%20Estrategia%20Y%20Su%20Filosofia%20.pdf>
- Hernández Sampieri; Roberto, Hernández Callado; Carlos, & Baptista Lucio; Pilar. (2014). Metodología de la investigación (Sexta). <https://biblioteca.isaeuniversidad.ac.pa/cgi-bin/koha/opac-retrieve-file.pl?id=3cd92035f3219d91f16877820e84d7ec>
- Tamayo, M., & Tamayo. (2000). El proceso de la investigación científica (cuarta edición).

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso__de_la_investigacion_cientifica_Mario_Tamayo.pdf

Valderrama, Santiago. (2013). Pasos para Elaborar Proyectos de Investigación Científica Cuantitativa, Cualitativa y Mixta. 2da edición. Editorial San Marcos, 1–495.

http://www.editorialsanmarcos.com/index.php?id_product=211&controller=product

Vivanco, Manuel. (2005). Muestreo estadístico: diseño y análisis. Muestreo Estadístico: Diseño y Análisis, 209.
https://books.google.com/books/about/Muestreo_Estadistico_Dise%C3%B1o_Y_Aplicacio.html?id=-_gr5l3LbpIC