



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL
MEDIO RURAL PUNO - EVALUACIÓN
DEL IMPACTO AMBIENTAL**

TESIS PRESENTADA POR:
FAUSTO PONCIANO MAMANI MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTOR EN INGENIERÍA AMBIENTAL

JULIACA - PERÚ

2024



NESTOR CÁCERES VELASQUEZ

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN INGENIERIA AMBIENTAL

USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO - EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

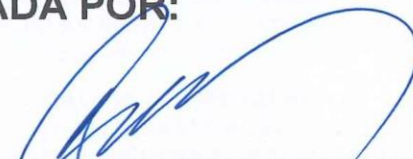
TESIS PRESENTADA POR

FAUSTO PONCIANO MAMANI MAMANI

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTOR EN INGENIERÍA AMBIENTAL

APROBADA POR:

PRESIDENTE


:
Dr. MILTHON QUISPE HUANCA

MIEMBRO DE JURADO


:
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

MIEMBRO DE JURADO


:
Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI

ASESOR DE TESIS


:
Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

LINEA DE INVESTIGACIÓN: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P68



RESOLUCIÓN DIRECTORAL N° 604-2024-D-EPG-UANCV/J

Martes, 24 de diciembre del 2024

VISTOS:

El expediente N° 2024-014621 presentado por el (a) Mgtr. MAMANI MAMANI FAUSTO PONCIANO, con número de DNI. 01205345 y con número de matrícula 1420100736, del DOCTORADO en INGENIERIA AMBIENTAL, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" de la Sede Central Juliaca.

CONSIDERANDO:

Que, el (a) Mgtr. MAMANI MAMANI FAUSTO PONCIANO, con número de DNI. 01205345, asignado (a) con número de matrícula 1420100736, del DOCTORADO EN INGENIERIA AMBIENTAL de la Escuela de Posgrado, ha solicitado fecha, hora y modalidad de sustentación, de la Tesis titulada: USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO - EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL La misma que pertenece a la Línea de Investigación: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL - P68 y;

Que, el (a) referido (a) Dictamen de Tesis aprobado por los jurados el 27 de junio del 2023. Establece la fecha de sustentación; habiendo para el efecto cumplido los requisitos establecidos en el reglamento para la Obtención del Grado Académico de Magíster/Maestro y Doctor de la Escuela de Posgrado de la UANCV;

Que, en el Artículo 66 del Reglamento General de la Escuela de Posgrado de la UANCV, establece que la sustentación de Tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico, de actualidad y de alto valor científico;

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "J" del artículo 17° del Reglamento General de la Escuela de Posgrado, y el Art. 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - DECLARAR EXPEDITO para la Sustentación de la Tesis titulado: USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO - EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL Elaborado por el (la) Mgtr. MAMANI MAMANI FAUSTO PONCIANO. Integrado por los siguientes docentes:

- Presidente del Jurado : Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
Miembro del Jurado : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Miembro del Jurado : Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI
Asesor de Tesis : Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

ARTÍCULO SEGUNDO. - El proceso de la Sustentación de la Tesis en mención, se llevará a cabo:

- Fecha : Lunes 30 de diciembre del 2024
Hora : 08:00 a.m.
Lugar : Aula N° 310 EPG - UANCV - JULIACA

A cuya finalización el Jurado registrará los resultados en el Libro de Actas de Sustentación de Tesis de Doctorado con el grado de DOCTOR aprobado en la ley Universitaria N° 30220.

ARTÍCULO TERCERO. - Elévese la presente Resolución al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo y Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento.

Regístrese, comuníquese y Archívese.



Handwritten signature and official stamp of the Director, Dr. Leopoldo Wenceslao Condori Cari

Co./Arch: EPG (01)
Interesado (01)
Cargo (01)
Jurados (03)
Asesor (01)
Expediente (01)
LWCC:InsV

RESOLUCION DIRECTORAL N°0867-2024- USA-EPG/UANCV

Juliaca, 11 de Julio del 2024.

VISTOS:

El expediente N° 07753, de fecha 28 de junio del 2024, presentado por el (la) Mgtr. **FAUSTO PONCIANO MAMANI MAMANI** con DNI N° **01205345**, código de matrícula **1420100736**, quien solicita resolución de aprobación de proyecto de tesis titulado: **USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO – EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL** Línea de investigación **CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL – P68** para optar el grado de **DOCTOR** en: **INGENIERIA AMBIENTAL**, de la Escuela de Postgrado de la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez **Sede Juliaca**.

CONSIDERANDO:

Que, en el Reglamento General de la Escuela de Postgrado de la UANCV, establece que la sustentación de tesis de Postgrado es un trabajo de investigación original y crítico de actualidad de alto valor científico.

Que, según Resolución N° 0555-2019-UANCV-CU-R, de fecha 08 de noviembre del 2019, se aprueba el Reglamento para la obtención del grado académico de Magister, Maestro, Doctor y Titulación de los Programas de Segunda Especialidad Profesional de la Escuela de Postgrado.

Que, el **Art. 17**, establece que la aprobación del proyecto de investigación de tesis para la obtención de grados académicos de Magister, Maestro, Doctor se inicia con la presentación del proyecto de investigación de tesis según corresponda, en forma individual y conforme a las recomendaciones de la Escuela de Postgrado y estándares de la investigación científica, tecnológica y humanística.

Que, en el **Art. 60**, señala que la fecha límite para la presentación del borrador de tesis es de 02 años contados desde la emisión de la resolución de aprobación del proyecto de tesis, vencido el plazo máximo el candidato a Magister, Maestro o Doctor deberá presentar un nuevo proyecto de investigación de tesis.

Que, el **Art. 21**, establece que el Director de la Escuela de Postgrado y el Director de la Unidad de Investigación de la Escuela de Postgrado, nominarán por sorteo a 03 docentes miembros del comité de investigación.

Que, mediante oficio circular N° 0446-2023-USA-EPG/UANCV-J, de fecha 22 de abril del 2024, se nombra al Comité de Investigación del proyecto de tesis conformado por los siguientes docentes:

Presidente	: Dr. MILTHON QUISPE HUANCA
Primer Miembro	: Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
Segundo Miembro	: Dr. RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI
Asesor	: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

Que, con registro N° 004500, de fecha 20 de abril del 2024, el Comité de Investigación del proyecto de tesis titulado: **USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO – EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL** cumple con los lineamientos y contenidos establecidos en reglamento de grado de investigación conducentes al grado académico de Magister/Maestro y Doctor de la Escuela de Postgrado de la UANCV.

En uso de las atribuciones conferidas a la Dirección en el inciso "j" del artículo 17 del Reglamento General de la Escuela de Postgrado y en el artículo 76 del Estatuto Universitario;

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR, el Proyecto de investigación de Tesis de Doctorado y **AUTORIZAR** el desarrollo de la Tesis, titulado: **USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO – EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL** para obtener el grado académico de **DOCTOR** en: **INGENIERIA AMBIENTAL**, de la UANCV.

SEGUNDO: ELEVAR al Rectorado, Vicerrectorado Académico, Vicerrectorado Administrativo, Vicerrectorado de Investigación, Oficina del Órgano de Inspección y Control para conocimiento y cumplimiento de la presente resolución.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.


UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
ESCUELA DE POSGRADO
Dr. Leopoldo Wenceslao Corzo Cari
DIRECTOR (e)

e: c/CARGO (01)
ARCHIVO EPG-2024 (01)
INTERESADO (01)
LWCC/vrch



USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO - EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

9%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	5%
2	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	1%
3	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	revistas.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1%



Metadatos complementarios - UANCV

TITULO	
USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO - EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	
Datos de autor	
Nombres y Apellidos	FAUSTO PONCIANO MAMANI MAMANI
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01205345
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5176-7709
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	EFRAIN PARILLO SOSA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02416058
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7567-039X
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres Y Apellidos	MILTHON QUISPE HUANCA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02424528
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-4219-1007
Miembro del jurado 1	
Nombres Y Apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-6657-665X



Miembro del jurado 2

Nombres Y Apellidos	RICARDO ANIBAL MALDONADO MAMANI
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02429806
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-1482-3669
Datos de investigación	
Línea de investigación	CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL - P68
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	<p>Dirección: PUNO País: PERÚ Departamento: PUNO Provincia: PUNO Distrito: PUNO -15.48795, -70.15602 https://maps.app.goo.gl/5XJYJDC6rVdmLLtK6</p> 
Año o rango de años en que se realizó la investigación	JULIO 2024 - DICIEMBRE 2024
URL de disciplinas OCDE - Librería	Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08 Oceanografía, Hidrología, Recursos hídricos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.11



UNIVERSIDAD ANDINA NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
ESCUELA DE POSTGRADO
[Signature]
Dr. Ramiro Amílcar Bolaños Caléron
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN - EPG



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo FAUSTO PONCIANO MAMANI MAMANI, identificado con DNI Nro. 01205345 en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

DOCTOR EN INGENIERÍA AMBIENTAL

informo que he elaborado el/la **Tesis** o **Trabajo de Investigación**, **Trabajo Académico** denominada:

"USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO - EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL"

Asesorado por: Dr. EFRAIN PARILLO SOSA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

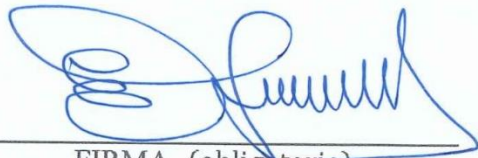
Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 24 de Marzo del 2025



FIRMA (ASESOR)



FIRMA (obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Extiendo mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido la piedra angular de mi vida, brindándome un amor inquebrantable, haciendo innumerables sacrificios e impartíendome la sabiduría que ha dado forma a mi viaje.

A mi esposa, compañera fiel, por su apoyo constante, comprensión y paciencia, siendo mi fuente de fortaleza en los momentos más difíciles.

A mis hijos, que son mi mayor inspiración y motivo para seguir adelante, con la esperanza de ser siempre un ejemplo a seguir para ellos.



AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la salud, sabiduría y fortaleza necesarias para superar cada reto en este proceso académico. Sin su guía, nada de esto hubiera sido posible.

A la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, por brindarme la oportunidad de crecer profesional y académicamente, y a la Escuela de Posgrado, por su constante apoyo en este camino formativo.

A mi asesor, el Dr. Efraín Parrillo Sosa, por su valiosa orientación, paciencia y dedicación durante el desarrollo de este trabajo. Su experiencia y conocimiento han sido fundamentales para lograr este objetivo.



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ABREVIATURAS	vii
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	ix

CAPÍTULO I

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	11
1.2. FORMULACIÓN DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2.1. Pregunta general	13
1.2.2. Preguntas específicas	13
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.3.1. Justificación teórica	13
1.3.2. Justificación práctica	14
1.3.3. Justificación social.....	14
1.3.4. Justificación ambiental	15
1.3.5. Justificación metodológica.....	15
1.4. OBJETIVOS	16
1.4.1. Objetivo general.....	16
1.4.2. Objetivos específicos.....	16
1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	16



1.6. LIMITACIONES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN..... 17

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO 19

2.1.1. A nivel internacional 19

2.1.2. A nivel nacional..... 21

2.1.3. A nivel local..... 22

2.2. BASES TEÓRICAS 24

2.2.1. Aguas residuales 24

2.2.2. Volumen..... 27

2.2.3. Origen de las aguas negras y los desechos 28

2.2.4. Fuentes de aguas residuales 37

2.2.5. Los sólidos de las aguas negras 50

2.2.6. Gases disueltos 56

2.2.7. Contaminación..... 62

2.2.8. Características de las aguas residuales..... 66

2.2.9. Principales compuestos de la materia orgánica..... 72

2.2.10. Bofedales construidos 77

2.2.11. Humedales de flujo subsuperficial..... 78

2.2.12. Humedales de flujo horizontal 80

2.2.13. Impermeabilización..... 81

2.2.14. Vegetación..... 82

2.2.15. Mecanismos de eliminación de los contaminantes 83

2.2.16. Materia en suspensión 84

2.2.17. Materia orgánica..... 85

2.2.18. Nitrógeno 87



2.2.19. Fósforo.....	88
2.2.20. Patógenos.....	88
2.2.21. Otros contaminantes	89
2.2.22. Especificaciones técnicas para el diseño de tanques sépticos	89
2.2.23. Evaluación de impactos ambientales.....	94

CAPÍTULO III

METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación.....	110
3.2. Métodos aplicados a la investigación.....	110
3.3. Tipo de investigación.....	111
3.4. Nivel de investigación.....	111
3.5 Diseño de investigación.....	111
3.6. Población	112
3.7. Muestra	112
3.8. Validación de Instrumentos:	113
3.9. Validación de Datos:.....	113

CAPÍTULO IV

RESUSTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Presentación de resultados, según etapas	115
4.1.1. ETAPA 1: Identificación y clasificación ambiental.....	115
4.1.2. ETAPA 2: Preparación y análisis	116
4.1.3. ETAPA 3: Calificación y decisión	119
4.2. TIPOLOGÍA DE LAS EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL.....	120
4.3. IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.....	122
4.4. LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL	125
4.5. TEMAS CLAVES DE UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	126
4.5.1. Descripción del ambiente y de la acción	126



4.5.2. Pronóstico y análisis de impactos ambientales	126
4.5.3. Mitigación, compensación y seguimiento de impactos negativos significativos	128
4.6. CONTENIDOS DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.....	130
4.7. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES	131
4.8. METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE LA VALORACIÓN DE IMPACTOS	131
4.9. MARCO DE APLICACIÓN	132
4.9.1 La Matriz de Importancia de Impactos Ambientales (MIIA)	132
4.9.2 Elemento tipo de la matriz de importancia	133
4.10. VALORACIÓN CUALITATIVA.....	134
4.11. ANÁLISIS, SEGÚN LOS OBJETIVOS PROPUESTOS.....	135
4.12. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	141
4.13. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y ANTECEDENTES	142
CONCLUSIONES	
RECOMENDACIONES	
REFERENCIAS	
ANEXOS	



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Contaminantes clave y sus posibles impactos	66
TABLA 2 Componentes comunes de las aguas residuales domésticas.....	69
TABLA 3 Componentes orgánicos presentes en las aguas residuales.	70
TABLA 4 Clasificación por tamaño de las partículas presentes en el agua	72
TABLA 5 Categorización basada en las dimensiones de las partículas que se encuentran en el agua.	77
TABLA 6 Factores ecológicos	121
TABLA 7 Clasificación de las Evaluaciones de Impacto Ambiental.....	122



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Los tipos de humedales artificiales incluyen el A, caracterizado por un flujo superficial, y el B, que presenta un flujo subterráneo horizontal. 78

FIGURA 2 Un diagrama que ilustra la estructura de la caña (*Phragmites australis*).
..... 83

FIGURA 3 Un resumen abreviado de los procesos relacionados con la descomposición de material orgánico en ambientes de humedales. 87

FIGURA 4 Estructura conceptual del Proceso de EIA 104

FIGURA 5 Marco de los Procedimientos de EIA 108



ABREVIATURAS

ARD: Aguas Residuales Domésticas

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

BFD: Bofedales

HAP: Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales

MA: Medio Ambiente

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

DO: Demanda de Oxígeno

DQO: Demanda Química de Oxígeno

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

SSA: Sistemas de Saneamiento Ambiental

PEA: Poblaciones del Entorno Andino

CNA: Comunidades Nativas Andinas

TSS: Total de Sólidos Suspendidos

PH: Potencial de Hidrógeno



RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales en áreas rurales continúa siendo un reto global, particularmente en zonas donde los sistemas convencionales no son viables. En Perú, la región de Puno enfrenta graves problemas de contaminación debido a la falta de sistemas de saneamiento en comunidades rurales. Este estudio evaluó el uso de bofedales como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales domésticas, destacando su impacto ambiental y viabilidad en estas áreas. El objetivo principal fue analizar la implementación de bofedales y su capacidad para mejorar la calidad del agua y proteger los ecosistemas locales. La investigación se desarrolló con un enfoque cualitativo, empleando métodos interpretativos y un diseño no experimental. Los resultados revelaron que los bofedales son efectivos para eliminar nutrientes contaminantes como nitrógeno y fósforo, contribuyendo al saneamiento ecológico y reduciendo costos en comparación con tecnologías convencionales. Sin embargo, se identificaron limitaciones, como su capacidad en contextos de mayor densidad poblacional. Para abordar estos desafíos, se propusieron sistemas híbridos que integren humedales artificiales y tanques sépticos, así como filtros verdes con vegetación autóctona. Además, se diseñaron esquemas adaptados a las necesidades de comunidades pequeñas, medianas y grandes. En conclusión, los bofedales representan una solución viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en Puno, promoviendo beneficios ambientales y sociales. No obstante, su éxito requiere complementarse con tecnologías innovadoras y capacitación comunitaria para garantizar su sostenibilidad y adaptabilidad a largo plazo. Estos resultados sugieren su potencial aplicación en otras regiones rurales con características similares.

Palabras Clave: Bofedales, tratamiento de aguas residuales, zonas rurales, sostenibilidad, impacto ambiental



ABSTRACT

Wastewater treatment in rural areas remains a global challenge, particularly in regions where conventional systems are not feasible. In Peru, the Puno region faces severe contamination issues due to the lack of sanitation systems in rural communities. This study evaluated the use of wetlands as a sustainable alternative for domestic wastewater treatment, highlighting their environmental impact and feasibility in these areas. The main objective was to analyze the implementation of wetlands and their capacity to improve water quality and protect local ecosystems. The research adopted a qualitative approach, using interpretative methods and a non-experimental design. The results revealed that wetlands effectively remove contaminating nutrients such as nitrogen and phosphorus, contributing to ecological sanitation while reducing costs compared to conventional technologies. However, limitations were identified, such as their capacity in high-density population contexts. To address these challenges, hybrid systems integrating artificial wetlands and septic tanks, as well as green filters using native vegetation, were proposed. Additionally, tailored schemes were designed to meet the needs of small, medium, and large communities. In conclusion, wetlands represent a viable and sustainable solution for wastewater treatment in Puno, promoting environmental and social benefits. However, their success requires complementary innovative technologies and community training to ensure long-term sustainability and adaptability. These findings suggest their potential applicability in other rural regions with similar characteristics.

Keywords: Wetlands, wastewater treatment, rural areas, sustainability, environmental impact.



INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, el tratamiento de aguas residuales ha sido un tema crucial para la preservación de los recursos hídricos y la salud ambiental, especialmente en zonas rurales y aisladas. Los métodos convencionales, como las plantas de tratamiento mecánico-químico, no siempre son viables en áreas remotas debido a su alto costo y complejidad tecnológica. En respuesta, se han investigado alternativas naturales y sostenibles, como los sistemas basados en humedales, conocidos por su capacidad de purificar el agua utilizando procesos biológicos, físicos y químicos. Este enfoque ha sido implementado en diversas regiones del mundo, incluyendo países como Canadá, Nueva Zelanda y Suecia, donde los humedales artificiales han demostrado ser eficaces en la reducción de contaminantes. (Romero, 2009).

En el contexto nacional, el Perú enfrenta grandes desafíos en la gestión de aguas residuales, particularmente en las zonas rurales donde el acceso a infraestructuras de tratamiento es limitado. El uso de sistemas naturales, como los humedales, se ha considerado una solución prometedora en comunidades rurales debido a su bajo costo, su capacidad de adaptarse a las condiciones locales y su impacto positivo en la biodiversidad. El Ministerio del Ambiente ha promovido el uso de estos sistemas en diversas regiones del país, reconociendo su importancia en la lucha contra la contaminación hídrica y el fortalecimiento de la resiliencia ambiental. (Fernández, 2017)

A nivel local, en Puno, los bofedales, que son ecosistemas de humedales altoandinos, representan una opción relevante para el tratamiento de aguas residuales domésticas en las comunidades rurales. Estos humedales, ubicados a



gran altitud, juegan un rol clave en la regulación hídrica y en la captura de contaminantes a través de procesos naturales de filtración. Sin embargo, su uso como solución ecológica y sostenible para el tratamiento de aguas residuales aún no ha sido ampliamente estudiado. En este sentido, el presente estudio se centrará en evaluar el impacto ambiental del uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales en poblaciones rurales del departamento de Puno, buscando contribuir a la preservación de estos ecosistemas y a la mejora de la calidad de vida de las comunidades locales. (Carrion, 2019)

Por último, la tesis tiene la siguiente estructura en tres capítulos bien definidos:

Capítulo I: contiene la explicación del proceso metodológico aplicada a la tesis.

Capítulo II: en este capítulo se expone todo el marco teórico y referencial de la tesis.

Capítulo III: contiene los resultados y la discusión.

La tesis se culmina con las conclusiones y las sugerencias.



CAPÍTULO I

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. EXPOSICIÓN DE LA SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

A nivel internacional, la gestión de aguas residuales en áreas rurales sigue siendo un desafío significativo, especialmente en regiones donde los sistemas convencionales de tratamiento no son viables por razones económicas o técnicas. Según la ONU, más de dos mil millones de personas en todo el mundo no cuentan con instalaciones sanitarias adecuadas, lo que contribuye a la contaminación de fuentes de agua y afecta negativamente la salud pública y los ecosistemas. Los humedales artificiales y naturales han surgido como una solución prometedora, ya que utilizan procesos biológicos para la depuración del agua, pero aún enfrentan barreras en su implementación a gran escala, como la falta de financiamiento, conocimiento técnico y políticas adecuadas. En este contexto, la búsqueda de soluciones sostenibles y accesibles para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales es una necesidad global, tanto desde una perspectiva ambiental como de desarrollo humano. (Hrudey, 2019)

En el contexto nacional, Perú enfrenta graves problemas relacionados con la contaminación del agua, especialmente en zonas rurales donde el acceso a



sistemas de saneamiento es limitado. El INEI, indica que un importante porcentaje de la población rural no cuenta con sistemas adecuados para el tratamiento de aguas residuales, lo que afecta la calidad de las fuentes hídricas y pone en riesgo la biodiversidad y la salud de las comunidades. Si bien existen esfuerzos por parte del gobierno y organizaciones no gubernamentales para promover soluciones sostenibles, como los humedales construidos y el uso de ecosistemas naturales, la implementación de estos sistemas ha sido limitada por factores como la falta de recursos y la necesidad de adaptarlos a las condiciones geográficas y sociales locales. El aprovechamiento de ecosistemas naturales como los bofedales puede representar una alternativa innovadora y ecológica para el tratamiento de aguas residuales en las zonas rurales del país. (Water, 2004)

A nivel local, en Puno, los bofedales son ecosistemas vitales para la regulación hídrica y el mantenimiento de la biodiversidad, especialmente en comunidades rurales que dependen de los recursos naturales para su subsistencia. Sin embargo, el manejo inadecuado de las aguas residuales domésticas en estas áreas ha generado preocupaciones sobre la contaminación de estos humedales y su capacidad para seguir desempeñando su función ecológica. La falta de sistemas eficientes de tratamiento de aguas residuales en el ámbito rural de Puno ha resultado en la descarga de contaminantes directamente en ríos, lagos y humedales, lo que no solo degrada el ambiente, sino también pone en riesgo la salud de las poblaciones locales. El presente estudio busca evaluar el impacto ambiental del uso de los bofedales como una alternativa sostenible para el tratamiento de aguas residuales en las zonas rurales de Puno, con el fin de promover soluciones que equilibren las necesidades de saneamiento con la protección de estos valiosos ecosistemas.



1.2. FORMULACIÓN DEL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. *Pregunta general*

¿Cómo implementar el uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales domesticas en poblaciones rurales de Puno y evaluar su impacto ambiental?

1.2.2. *Preguntas específicas*

¿Cuáles son las ventajas de los bofedales como método de tratamiento de aguas residuales domésticas?

¿Qué métodos nuevos se puede plantear para el tratamiento de aguas residuales?

¿Cómo generar planos esquemáticos de los tanques sépticos, humedales y pozos de absorción para los distintos tipos de poblaciones?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. *Justificación teórica*

La aplicación de los humedales para el procesamiento de aguas residuales domésticas en regiones rurales se basa en los principios ecológicos y biológicos que pertenecen a los humedales y su capacidad inherente para purificar el agua. Numerosos resultados de investigaciones indican que tanto los humedales naturales como los artificiales eliminan eficazmente los contaminantes del agua mediante una combinación de mecanismos físicos, químicos y biológicos. Estos procesos incluyen la absorción de nutrientes por la vegetación, la sedimentación de partículas y la filtración biológica. Esta investigación se fundamenta en estos conceptos teóricos, buscando mejorar nuestra comprensión de los humedales



altoandinos, especialmente en lo que respecta a su capacidad para manejar eficientemente las aguas residuales en las zonas rurales.

1.3.2. Justificación práctica

Desde un punto de vista práctico, este estudio pretende aportar una solución viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en las poblaciones rurales de Puno, donde los sistemas convencionales de saneamiento suelen ser inalcanzables. La implementación de bofedales como un sistema de tratamiento ofrece una opción de bajo costo y adaptada a las condiciones ambientales locales. Los resultados de esta investigación podrán ser utilizados para desarrollar proyectos de infraestructura ecológica que mejoren la calidad de vida de las comunidades rurales, al mismo tiempo que protegen y potencian el uso de los recursos naturales disponibles. Además, la investigación proporcionará datos útiles para la implementación de políticas públicas enfocadas en el manejo de aguas residuales en zonas rurales.

1.3.3. Justificación social

El estudio actual tiene un impacto social notable, ya que la gestión eficaz de las aguas residuales es crucial para mejorar la salud y los niveles de vida de las comunidades rurales. En varias regiones de Puno, las comunidades carecen de suficientes instalaciones sanitarias, lo que eleva el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua. Este estudio aboga por la utilización de los humedales como un enfoque práctico y sostenible, con el objetivo de salvaguardar el medio ambiente y al mismo tiempo mejorar el bienestar social y fomentar la justicia ambiental, particularmente para las comunidades vulnerables que dependen de los

recursos naturales. La incorporación de tecnologías ecológicas como los humedales en la gestión del agua mejorará las capacidades locales y elevará la calidad de vida de los residentes.

1.3.4. Justificación ambiental

Desde una perspectiva ambiental, la investigación es de vital importancia, ya que los bofedales son ecosistemas frágiles y cruciales para la conservación de la biodiversidad en las zonas altoandinas. La contaminación de estos ecosistemas por aguas residuales no tratadas representa una grave amenaza para su integridad ecológica. Este estudio tiene como objetivo no solo evaluar el uso de los bofedales como herramienta para el saneamiento, sino también medir su impacto en el medio ambiente y proponer estrategias de manejo sostenible que permitan proteger estos valiosos ecosistemas. La implementación de este tipo de tratamiento puede contribuir a la reducción de la contaminación hídrica, la mejora de la calidad del agua y la protección de la biodiversidad local.

1.3.5. Justificación metodológica

El estudio empleará un enfoque metodológico mixto, combinando análisis cualitativos y cuantitativos para evaluar el impacto de los bofedales en el tratamiento de aguas residuales. Se recopilarán datos de campo para analizar las características físico-químicas del agua antes y después de su paso por los bofedales, permitiendo evaluar su eficacia en la reducción de contaminantes. Este enfoque metodológico es relevante porque proporcionará datos empíricos basados en la realidad local de Puno, lo que permitirá obtener resultados precisos que pueden ser replicados en otros contextos similares. Además, la combinación de



métodos permitirá una comprensión más integral del funcionamiento de los bofedales y su impacto en el ecosistema y la sociedad.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Implementar el uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas y evaluar su impacto ambiental en las poblaciones rurales de Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

Identificar las ventajas de los bofedales como método de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Proponer métodos nuevos se puede plantear para el tratamiento de aguas residuales.

Diseñar planos esquemáticos de los tanques sépticos, humedales y pozos de absorción para los distintos tipos de poblaciones.

1.5. IMPORTANCIA Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es muy importante desde la perspectiva ambiental y social, ya que aborda el desafío de la gestión de aguas residuales en regiones rurales mediante la utilización de soluciones basadas en la naturaleza como los humedales. La investigación tiene un impacto directo en la preservación de los ecosistemas altoandinos y en la mejora de la calidad de vida de las poblaciones rurales del departamento de Puno (Melissa Moreano s.f.). Al demostrar la viabilidad de los bofedales como alternativa para el saneamiento, este trabajo puede



contribuir a una gestión más eficiente y sostenible de los recursos hídricos en zonas donde los sistemas tradicionales de tratamiento son ineficaces o inalcanzables. Los resultados de esta investigación podrían sentar las bases para el desarrollo de políticas públicas y proyectos de infraestructura ecológica a nivel regional y nacional.

La investigación tiene como objetivo evaluar los procesos naturales en humedales que contribuyen al tratamiento de aguas residuales domésticas, enfatizando sus ventajas ambientales, sociales y económicas. Se busca generar un marco de referencia que permita replicar este modelo en otras zonas rurales del Perú y, potencialmente, en áreas con condiciones geográficas similares a nivel internacional. Además, la investigación proporcionará herramientas y conocimientos que pueden ser utilizados por organizaciones gubernamentales y no gubernamentales para fomentar prácticas de tratamiento de aguas sostenibles en zonas rurales.

1.6. LIMITACIONES Y DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Limitaciones de la Investigación. Una de las principales limitaciones del estudio es la variabilidad en las condiciones climáticas y ambientales de los bofedales, lo que podría afectar la consistencia de los resultados en distintos momentos del año. Las fluctuaciones estacionales pueden influir en la capacidad de los bofedales para tratar las aguas residuales, lo que requerirá un monitoreo a largo plazo para obtener resultados concluyentes. Además, la falta de infraestructura y recursos en las áreas rurales de Puno puede dificultar la implementación y el mantenimiento adecuado de las instalaciones experimentales, lo que podría limitar la capacidad de replicar los hallazgos en otros contextos



rurales.

Otra limitación es la posible falta de datos previos sobre el estado de los bofedales en las zonas seleccionadas, lo que dificultará la comparación entre las condiciones iniciales y los efectos del tratamiento de aguas residuales. Asimismo, las variaciones en las características del agua residual entre las diferentes comunidades estudiadas podrían generar resultados heterogéneos.

Delimitaciones de la Investigación. La investigación se delimitará a las comunidades rurales del departamento de Puno, específicamente en aquellas áreas donde los bofedales altoandinos son accesibles y tienen un rol ecológico relevante. El estudio se centrará en el análisis de aguas residuales domésticas, excluyendo otros tipos de aguas contaminadas, como las industriales o agrícolas. Asimismo, el enfoque estará dirigido exclusivamente a la evaluación del impacto ambiental de los bofedales en el tratamiento de estas aguas, sin abordar otras funciones ecológicas que desempeñan los bofedales.

En términos temporales, la investigación abarcará un período de un año, lo que permitirá observar los efectos del tratamiento a lo largo de las estaciones y bajo diferentes condiciones climáticas. No obstante, los resultados obtenidos en este plazo podrían no representar completamente los efectos a largo plazo, por lo que se recomienda continuar el monitoreo después de la finalización del estudio.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. A nivel internacional

La aplicación de humedales y sistemas de humedales para el tratamiento de aguas residuales ha sido ampliamente estudiada e implementada en todo el mundo. Estos sistemas naturales ofrecen una solución viable y sostenible para la gestión de aguas residuales, particularmente en regiones y comunidades rurales con recursos limitados (Kadlec & Wallace, 2009).

Estudios en Estados Unidos: En los Estados Unidos, los humedales construidos y los bofedales han sido utilizados en diversas aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales. Por ejemplo, el sistema de humedales de flujo horizontal y vertical ha demostrado ser efectivo en la eliminación de sólidos suspendidos, nutrientes y patógenos en áreas residenciales y rurales. Estos estudios han mostrado que los humedales construidos pueden tratar eficientemente las aguas residuales a un costo relativamente bajo, contribuyendo a la protección del medio ambiente y la salud pública (Vymazal, 2011).

Experiencias en Europa: En países europeos como Alemania, Francia y el



Reino Unido, se han implementado sistemas de humedales naturales y artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Los enfoques europeos incluyen el uso de humedales de flujo subsuperficial y sistemas de humedales integrados con otros procesos de tratamiento. Los resultados han indicado que estos sistemas pueden reducir eficazmente la carga de contaminantes en las aguas residuales, mejorar la calidad del agua y restaurar hábitats acuáticos locales (Dotro, 2017).

Proyectos en Asia y América Latina: En Asia y América Latina, el uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales ha ganado atención debido a su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas y socioeconómicas. Proyectos en países como India, China y Brasil han demostrado que los humedales pueden ser una solución efectiva para el tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales y periurbanas, proporcionando beneficios tanto ambientales como económicos (Kivaisi, 2001).

varios estudios han destacado la eficacia de los humedales construidos como sistemas de tratamiento de aguas residuales, especialmente en países como China, India y Brasil. Por ejemplo, en China, debido a la necesidad de soluciones para la gran población y la creciente preocupación por la sostenibilidad, los humedales construidos han mostrado ser una alternativa eficiente y económica en el tratamiento de aguas residuales (Kivaisi, 2001). Estos sistemas no solo abordan problemas ambientales, sino que también ofrecen beneficios en términos de salud pública y la reducción de la carga sobre las infraestructuras tradicionales de tratamiento de aguas.



2.1.2. A nivel nacional

En el contexto nacional, Perú ha empezado a explorar el uso de sistemas naturales como los bofedales para el tratamiento de aguas residuales, especialmente en regiones con recursos hídricos limitados. (Arce & Sánchez, 2018).

Investigaciones en Perú: Se han realizado estudios en varias regiones de Perú que evalúan la eficacia de los humedales construidos y los bofedales en el tratamiento de aguas residuales. Estos estudios han mostrado que los sistemas naturales pueden ser efectivos en la reducción de contaminantes y la mejora de la calidad del agua, lo que es especialmente relevante en áreas con alta contaminación y escasos recursos tecnológicos. En particular, se han llevado a cabo proyectos piloto en regiones como Cusco y Arequipa, que han proporcionado datos valiosos sobre el rendimiento y la sostenibilidad de estos sistemas (MINAM, 2020).

Políticas y Normativas: La legislación ambiental en Perú ha comenzado a incorporar enfoques sostenibles para el tratamiento de aguas residuales, incluyendo el uso de sistemas de humedales. La normativa actual promueve la adopción de tecnologías de tratamiento de bajo costo y alto rendimiento, lo que ha fomentado la investigación y la implementación de soluciones basadas en ecosistemas como los bofedales (Ley General de Aguas, 2021).

En Perú, existen proyectos destacados que utilizan humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales. Un ejemplo es el sistema implementado en el distrito de Lurín, específicamente en el asentamiento humano Julio C. Tello. En este



caso, se desarrolló un sistema piloto de humedales subsuperficiales con el objetivo de tratar aguas residuales provenientes de una acequia que contaminaba el río Lurín. Este proyecto demostró una notable mejora en la calidad del agua, reduciendo la turbidez y la demanda bioquímica de oxígeno (Chang Kee, 2023). La implementación de vegetación como *Cyperus papyrus* y *Chrysopogon zizanioides* contribuyó a la eliminación eficiente de contaminantes, destacando la viabilidad de los humedales en áreas rurales y periurbanas para mejorar tanto el ambiente como la salud pública.

Otro antecedente relevante se encuentra en Trujillo, donde se implementó un humedal artificial subsuperficial en una institución educativa. Este proyecto mostró cómo los humedales pueden ser efectivos para tratar aguas residuales en un entorno urbano, y los beneficios obtenidos incluyen la reutilización del agua tratada para el riego de jardines y áreas verdes, contribuyendo a la sostenibilidad de la comunidad educativa (López & Pérez, 2019).

2.1.3. A nivel local

En el departamento de Puno, la investigación y aplicación de sistemas naturales para el tratamiento de aguas residuales es particularmente relevante debido a las características geográficas y socioeconómicas de la región.

Proyectos en Puno: En Puno, se han realizado estudios y proyectos piloto que exploran el uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. La región, caracterizada por su altitud y clima, presenta desafíos únicos para la gestión de aguas residuales. Los proyectos han demostrado que los bofedales pueden ser una solución efectiva para tratar las aguas residuales en



estas condiciones, ofreciendo una alternativa sostenible y compatible con el entorno natural. (Paredes, 2019).

Iniciativas Regionales: Las autoridades locales y organizaciones no gubernamentales en Puno han comenzado a promover la utilización de bofedales como una solución para mejorar la calidad del agua y reducir la contaminación en áreas rurales. Estas iniciativas buscan integrar el conocimiento local y las prácticas tradicionales con tecnologías modernas para optimizar la gestión de aguas residuales.

Retos y Oportunidades: La implementación de bofedales en Puno enfrenta desafíos relacionados con la disponibilidad de recursos, la capacitación técnica y la adaptación a las condiciones locales. Sin embargo, también ofrece oportunidades para mejorar la salud ambiental, fortalecer la infraestructura sanitaria y promover la sostenibilidad en la región (Gamarra, 2021).

En resumen, tanto a nivel internacional, nacional y local, el uso de bofedales y sistemas de humedales para el tratamiento de aguas residuales ha mostrado ser una opción viable y efectiva, adaptada a diferentes contextos y necesidades. La evidencia acumulada respalda su potencial para mejorar la gestión de aguas residuales y proteger el medio ambiente en diversas regiones.

En Puno, los humedales construidos se están evaluando como una solución eficiente para el tratamiento de aguas residuales, especialmente en zonas rurales y periurbanas. Un proyecto reciente en la región ha demostrado que, al ser implementados en comunidades locales, los humedales artificiales pueden reducir significativamente la contaminación del agua, eliminando sólidos suspendidos y nutrientes. No obstante, el éxito de estos sistemas depende en gran medida de la



capacitación técnica de los operadores y la correcta selección de las plantas fitodepuradoras, como la totora, que se ha utilizado en algunos de estos proyectos (Salazar Torreblanca, 2023)

Además, en Puno, se ha observado que los sistemas de humedales construidos pueden integrar soluciones naturales para el tratamiento de aguas, aunque aún enfrentan desafíos como la falta de normativas locales claras para su implementación masiva. Los proyectos piloto a nivel nacional, como los que se han llevado a cabo en otras partes del país, también apuntan hacia la mejora de la calidad del agua y la reutilización para riego, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental (Delgadillo et al., 2014)

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Aguas residuales

Las aguas residuales son una consecuencia ineludible de las actividades humanas y consisten en gran medida en una mezcla de desechos orgánicos e inorgánicos, productos químicos, nutrientes y microorganismos. El agua generada en procesos residenciales, industriales y agrícolas debe someterse a un tratamiento adecuado antes de ser vertida al medio ambiente, ya que contiene contaminantes que representan riesgos para la salud humana, la vida silvestre, la vida vegetal y los ecosistemas acuáticos. En el ámbito doméstico, las aguas residuales están compuestas mayormente por aguas grises (provenientes de lavabos, duchas y lavadoras) y aguas negras (procedentes de inodoros) (García & Soto, 2019).

A nivel mundial, el tratamiento inadecuado de las aguas residuales plantea un desafío ambiental importante, especialmente en las zonas rurales y de bajos



ingresos donde con frecuencia faltan sistemas de saneamiento convencionales. La descarga incontrolada de estas fuentes de agua en ríos, lagos y océanos intensifica la contaminación del agua, lo que resulta en eutrofización, disminución de la biodiversidad y disminución de la calidad del agua. Además, el contacto con aguas residuales no tratadas está relacionado con la proliferación de enfermedades transmitidas por el agua, lo que representa un riesgo importante para la salud pública (United Nations [UN], 2021).

En áreas rurales, como las del departamento de Puno, la situación es aún más crítica, debido a la falta de acceso a sistemas de tratamiento convencionales. Las aguas residuales domésticas suelen ser vertidas sin ningún tipo de procesamiento, afectando no solo la calidad del agua, sino también los ecosistemas locales, como los bofedales, que son vulnerables a los efectos de la contaminación. Ante este panorama, surge la necesidad de explorar alternativas de bajo costo y alto impacto ecológico para el tratamiento de aguas residuales en estas áreas, con el fin de mitigar el impacto ambiental y proteger los recursos naturales esenciales para las comunidades locales (Gómez & Vargas, 2021).

Definición de las aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que resultan de la actividad humana y contienen una mezcla de residuos sólidos y líquidos, provenientes de diferentes fuentes, como hogares, industrias, comercios y actividades agrícolas. Estas aguas están compuestas principalmente por materia orgánica, nutrientes, productos químicos, metales pesados, microorganismos patógenos y otras sustancias contaminantes. Las aguas residuales se pueden clasificar según su fuente en varios tipos: domésticas, industriales, agrícolas y pluviales. La gestión y el tratamiento



eficaces son cruciales para prevenir la contaminación de las fuentes de agua y salvaguardar el bienestar tanto de los ecosistemas como de las poblaciones humanas (Navarro & Rodríguez, 2018).

Contextualización de las Aguas Residuales

En el contexto global, la creciente urbanización y el desarrollo industrial han incrementado significativamente la generación de aguas residuales. Según datos de la OMS y la ONU, más de 80% de las aguas residuales generadas a nivel mundial se descargan sin tratamiento alguno, lo que representa un grave problema de contaminación para los cuerpos de agua y los suelos, especialmente en países en desarrollo. Este problema se agrava en las regiones rurales, donde las instalaciones insuficientes de saneamiento y tratamiento de aguas residuales plantean amenazas importantes tanto para el medio ambiente como para la salud pública. (García, 2019).

En Perú, las aguas residuales no tratadas contribuyen significativamente a la contaminación del agua, particularmente en las regiones rurales donde las instalaciones de tratamiento son escasas. Muchas comunidades rurales, como las del departamento de Puno, no cuentan con sistemas de saneamiento formalizados, lo que resulta en el vertido directo de las aguas residuales a ríos, lagos y bofedales, comprometiendo la calidad del agua y afectando la biodiversidad. Los bofedales, en particular, son ecosistemas sensibles que juegan un rol clave en la regulación hídrica y en la purificación natural del agua. Sin embargo, la creciente presión sobre estos ecosistemas debido a la contaminación de aguas residuales ha generado una preocupación ambiental, lo que subraya la necesidad de implementar alternativas sostenibles de tratamiento en zonas rurales (Ramírez & Rodríguez, 2022).



En este contexto, la utilización de tecnologías inspiradas en la naturaleza, como el empleo de humedales para el tratamiento de aguas residuales, surge como una solución novedosa y alcanzable para las zonas rurales. Estas medidas pueden aliviar los impactos adversos de la contaminación, mejorar los niveles de vida de las comunidades cercanas y salvaguardar los ecosistemas naturales (Gómez, 2021).

2.2.1.1. Aguas negras

Las aguas negras son aquellas aguas residuales que provienen principalmente de los inodoros y contienen excrementos humanos, orina, papel higiénico y otros desechos orgánicos. Estos cuerpos de agua se destacan por sus elevados niveles de materia orgánica y microorganismos dañinos, incluidas bacterias, virus y parásitos, que representan una amenaza considerable para la salud humana si no se tratan adecuadamente. Las aguas negras también pueden contener productos químicos y otros contaminantes que contribuyen a la contaminación ambiental. Debido a su potencial peligro, requieren un tratamiento especializado para evitar la contaminación de cuerpos de agua y la propagación de enfermedades (Vargas & Pérez, 2019).

2.2.2. Volumen

La cantidad de aguas residuales producidas está influenciada por varios factores, incluido el tamaño de la población, la disponibilidad de infraestructura de saneamiento y los patrones de consumo de agua en las actividades domésticas. En promedio, se estima que las aguas negras representan aproximadamente el 20% a 30% del total de las aguas residuales domésticas. En zonas urbanas, el

volumen de aguas negras puede variar entre 50 y 70 litros por persona al día, mientras que, en áreas rurales, donde el uso de agua suele ser más limitado, esta cifra puede ser menor (Mendoza, 2019).

El cálculo del volumen de las aguas negras es crucial para el diseño de sistemas de tratamiento y saneamiento, ya que permite dimensionar adecuadamente las instalaciones para asegurar un tratamiento efectivo y evitar la sobrecarga de las plantas de tratamiento. En áreas rurales, donde los sistemas convencionales de alcantarillado son poco comunes, es importante evaluar el volumen de estas aguas para proponer soluciones descentralizadas, como el uso de sistemas naturales de tratamiento, incluyendo los bofedales, que pueden gestionar de manera sostenible el volumen generado (Mendoza, 2019).

2.2.3. Origen de las aguas negras y los desechos

Las aguas negras tienen su origen principalmente en las actividades domésticas que implican el uso de inodoros y sistemas de saneamiento en viviendas, establecimientos comerciales e instituciones públicas. Proviene de la descarga de los desechos humanos, como excrementos y orina, junto con otros residuos sólidos, como papel higiénico y productos utilizados para la limpieza personal. Estos desechos son transportados por los sistemas de alcantarillado o directamente hacia cuerpos de agua en ausencia de infraestructura de saneamiento, lo que puede generar problemas de salud y contaminación ambiental.

Además del origen doméstico, las aguas negras también pueden generarse en establecimientos públicos y comerciales, como restaurantes, hospitales, oficinas y escuelas, donde los sistemas de saneamiento manejan grandes volúmenes de

desechos orgánicos. A menudo, las aguas negras contienen una alta carga de materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos (bacterias, virus y parásitos) y contaminantes químicos, lo que las convierte en una fuente significativa de contaminación si no reciben un tratamiento adecuado antes de ser vertidas al medio ambiente (Gómez, 2018).

En las regiones rurales, donde las instalaciones de tratamiento son escasas o no están disponibles, las aguas residuales con frecuencia se vierten directamente al suelo o a los cuerpos de agua locales. Esta práctica aumenta el riesgo de contaminar las fuentes de agua potable y afecta negativamente a las comunidades locales. los ecosistemas vecinos (Vargas, 2022).

2.2.3.1. Desechos humanos y animales.

Los desechos humanos, compuestos principalmente por excrementos y orina, son el resultado natural de los procesos metabólicos del cuerpo. Estos desechos contienen materia orgánica, nutrientes como el nitrógeno y fósforo, y microorganismos, incluidos patógenos que pueden causar enfermedades. De igual forma, los desechos animales provienen de la crianza de ganado, aves de corral, cerdos y otros animales de granja, y contienen una mezcla de heces, orina y restos de alimentos. Al igual que los desechos humanos, estos desechos animales contienen nutrientes y microorganismos que pueden afectar la salud pública y la calidad ambiental si no son gestionados adecuadamente (Torres, 2020).

En ambos casos, el manejo inadecuado de los desechos puede generar la contaminación del suelo, cuerpos de agua y la atmósfera, contribuyendo a problemas ambientales como la eutrofización, la contaminación del agua potable y



la emisión de gases de efecto invernadero.

El manejo adecuado de los desechos humanos y animales es esencial en el tratamiento de aguas residuales, especialmente en áreas rurales donde las infraestructuras de saneamiento son limitadas. Los desechos humanos, cuando no son gestionados adecuadamente, se mezclan con las aguas residuales domésticas, produciendo aguas negras altamente contaminadas que requieren procesos de tratamiento específicos para eliminar patógenos y nutrientes (Jiménez, 2017).

En el tratamiento de aguas residuales, uno de los enfoques más eficaces es la separación y tratamiento descentralizado de los desechos humanos mediante tecnologías de bajo costo y sostenibles, como sistemas de tratamiento natural. En este contexto, los bofedales, que son ecosistemas naturales de humedales, pueden desempeñar un papel clave al actuar como filtros biológicos que eliminan contaminantes de las aguas residuales, aprovechando la capacidad de las plantas y el suelo para absorber y degradar nutrientes y patógenos (López & Mendoza, 2021).

Por otro lado, los desechos animales, que también generan un impacto significativo en la calidad del agua, pueden ser tratados mediante tecnologías de manejo de residuos sólidos o en combinación con el tratamiento de aguas residuales. Implementar estrategias para gestionar adecuadamente estos desechos en el contexto rural no solo mejora la calidad del agua, sino que también contribuye a la protección de los recursos hídricos y a la salud de las comunidades locales, evitando la propagación de enfermedades relacionadas con la contaminación (Fernández, 2022).



2.2.3.2. Desperdicios caseros

Los desperdicios caseros son aquellos residuos generados en el hogar que incluyen una variedad de materiales provenientes de actividades diarias, como la cocina, la limpieza y el cuidado personal. Estos desperdicios comprenden restos de alimentos, envases y empaques, papel, cartón, textiles, productos de limpieza y productos de higiene personal. Los restos de alimentos pueden contener materia orgánica que se descompone y puede generar malos olores y atraer plagas si no se gestionan adecuadamente. Además, algunos envases y empaques pueden contener productos químicos o metales pesados que representan riesgos para la salud y el medio ambiente (Ramírez, 2020).

El manejo de desperdicios caseros está estrechamente vinculado al tratamiento de aguas residuales, ya que algunos de estos desperdicios pueden terminar en el sistema de drenaje y, por ende, en las aguas residuales. Por ejemplo, restos de alimentos y productos de limpieza arrojados por los desagües pueden contribuir a la carga de materia orgánica y contaminantes en las aguas residuales. Esto aumenta la demanda de tratamiento y puede complicar el proceso de depuración, ya que los sistemas de tratamiento deben lidiar con una mayor concentración de sólidos y contaminantes (Sánchez & Pérez, 2021).

En áreas rurales, donde los sistemas de saneamiento son limitados, los desperdicios caseros a menudo se gestionan de manera inadecuada, lo que puede llevar a la acumulación de desechos en el entorno y a la contaminación de fuentes de agua cercanas. Esto subraya la necesidad de integrar prácticas de manejo de residuos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales (Méndez, 2018).



Una estrategia eficaz podría ser la implementación de sistemas de tratamiento que incluyan procesos de separación y gestión de desechos sólidos y líquidos. En el contexto del uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales, es fundamental considerar cómo los desperdicios caseros impactan la carga contaminante de las aguas que llegan a estos ecosistemas. Los bofedales pueden ayudar a tratar parte de estos contaminantes, pero una gestión adecuada de los desperdicios caseros puede mejorar significativamente la eficacia del tratamiento natural. Además, prácticas como la separación de residuos, la reducción de desperdicios y el reciclaje pueden contribuir a disminuir la carga de contaminantes en las aguas residuales y a mejorar la sostenibilidad del sistema de tratamiento (Rojas, 2022).

2.2.3.3. Corrientes pluviales

Las corrientes pluviales, también conocidas como aguas pluviales o de escorrentía, son las aguas resultantes de las precipitaciones que caen sobre el suelo durante la lluvia. Estos flujos consisten en agua de lluvia que atraviesa la superficie del suelo y ingresa a cuerpos de agua superficial, incluidos ríos, arroyos y lagos. La composición de las aguas pluviales puede diferir significativamente según si el área es urbana o rural. En áreas rurales, las aguas pluviales pueden arrastrar sedimentos, nutrientes provenientes de fertilizantes y desechos orgánicos de la agricultura (Jiménez, 2019).

La gestión eficiente de las aguas pluviales desempeña un papel crucial en el tratamiento de aguas residuales, ya que puede influir en gran medida en la calidad del agua y el rendimiento de los sistemas de saneamiento. En las áreas urbanas, la escorrentía de aguas pluviales puede aumentar los niveles de contaminantes en



las aguas residuales, especialmente dentro de los sistemas de alcantarillado combinados donde las aguas pluviales y las aguas residuales domésticas se combinan antes del tratamiento. Esto puede provocar que las instalaciones de tratamiento se vean abrumadas, lo que provocaría la descarga de aguas residuales sin tratar en cuerpos de agua durante fuertes lluvias. (García, 2021).

En áreas rurales, donde los sistemas de tratamiento de aguas residuales son a menudo menos desarrollados, las corrientes pluviales pueden influir en la carga de contaminantes que llega a los cuerpos de agua y a los sistemas de tratamiento naturales como los bofedales. Las corrientes pluviales pueden arrastrar nutrientes y contaminantes provenientes de actividades agrícolas y de manejo de desechos, lo que puede afectar la capacidad de los bofedales para depurar las aguas residuales. Por tanto, es importante considerar cómo las corrientes pluviales interactúan con los sistemas de tratamiento de aguas residuales y cómo estas interacciones pueden ser gestionadas para mantener la eficacia de los tratamientos y proteger la calidad del agua (Martínez, 2022).

En la implementación de sistemas de tratamiento basados en el uso de bofedales, la planificación adecuada debe incluir estrategias para manejar y dirigir la escorrentía pluvial de manera que minimice la entrada de contaminantes y sedimentos en los bofedales. Esto puede implicar el uso de barreras de sedimentación, sistemas de retención y técnicas de gestión sostenible de las aguas pluviales. De esta manera, se puede asegurar que los bofedales mantengan su capacidad para tratar efectivamente las aguas residuales y se protejan contra la sobrecarga de contaminantes. (Rodríguez, 2021).



2.2.3.4. Infiltraciones de aguas subterráneas

Las infiltraciones de aguas subterráneas se refieren al proceso mediante el cual el agua de la superficie del suelo se filtra hacia el subsuelo y se convierte en parte del reservorio de aguas subterráneas. Este proceso ocurre cuando el agua de lluvia o la escorrentía pluvial penetra en el suelo a través de poros y grietas, atravesando diferentes capas de material geológico, como arenas, gravas y arcillas, hasta alcanzar el nivel freático o acuífero subterráneo. Las aguas subterráneas juegan un papel crucial en la regulación del ciclo hídrico, alimentando fuentes naturales como manantiales y manteniendo el flujo en ríos y arroyos durante periodos secos (Smith & Brown, 2019).

Las infiltraciones pueden ser influenciadas por la permeabilidad del suelo, la cobertura vegetal y las condiciones climáticas. En suelos con alta permeabilidad, como arenas y gravas, el agua infiltra más rápidamente, mientras que, en suelos con baja permeabilidad, como arcillas, la infiltración es más lenta. La presencia de vegetación también puede mejorar la infiltración al reducir la escorrentía y permitir una mejor absorción del agua (Jones, 2020).

La infiltración de aguas subterráneas es un aspecto crítico a considerar en el tratamiento de aguas residuales, ya que puede afectar tanto la calidad del agua subterránea como la eficacia de los sistemas de tratamiento. En zonas rurales, donde las técnicas de tratamiento de aguas residuales pueden incluir soluciones naturales como los bofedales, es fundamental entender cómo las aguas residuales tratadas pueden influir en el acuífero subterráneo (Hernández & Martínez, 2021).

En los sistemas de tratamiento basados en bofedales, las aguas residuales



pasan a través de la vegetación y el sustrato, donde se lleva a cabo la depuración natural. Sin embargo, si estas aguas no son tratadas adecuadamente antes de infiltrarse en el suelo, pueden contaminar las aguas subterráneas, afectando la calidad del agua potable que proviene de acuíferos subterráneos. La presencia de contaminantes, como nutrientes y patógenos, puede tener consecuencias negativas para la salud humana y para el equilibrio ecológico de los acuíferos (González, 2022).

Por otro lado, una correcta gestión de las infiltraciones puede aprovechar este proceso para la recarga de acuíferos, utilizando técnicas que aseguren que las aguas residuales tratadas, o las aguas pluviales gestionadas adecuadamente, no contengan contaminantes peligrosos. En el contexto de los bofedales, es crucial garantizar que el tratamiento de las aguas residuales sea efectivo para minimizar el riesgo de contaminación de las aguas subterráneas y preservar la calidad del recurso hídrico subterráneo (Pérez & López, 2020).

En conclusión, las prácticas eficaces de gestión y tratamiento de aguas residuales deben tener en cuenta el impacto de la infiltración de aguas subterráneas, garantizando la protección tanto de los ecosistemas de tratamiento natural como de los suministros de aguas subterráneas (Hernández, 2019).

2.2.3.5. Desechos industriales.

Los desechos industriales son los residuos generados a partir de procesos de manufactura y actividades industriales. Estos desechos pueden incluir una amplia variedad de materiales, como subproductos de procesos químicos, metales pesados, residuos sólidos, líquidos y gases. Dependiendo del tipo de industria, los



desechos industriales pueden contener compuestos tóxicos, productos químicos peligrosos, aceites, solventes, y materiales contaminados (Ríos, 2018).

La gestión eficaz de los residuos industriales es esencial para salvaguardar tanto la salud pública como el medio ambiente. Una gestión inadecuada de los residuos industriales puede conllevar graves peligros, ya que tienen el potencial de contaminar el aire, el agua y el suelo. Los desechos líquidos tienen el potencial de infiltrarse en aguas subterráneas o descargarse en aguas superficiales, mientras que los desechos sólidos pueden ocupar un espacio significativo en los vertederos y liberar contaminantes a medida que se descomponen (Gómez & Soto, 2017).

En el tratamiento de aguas residuales, los desechos industriales representan un desafío adicional debido a su composición a menudo compleja y potencialmente peligrosa. La presencia de sustancias tóxicas y compuestos químicos en las aguas residuales industriales requiere tratamientos especializados para eliminar estos contaminantes de manera efectiva antes de la liberación al medio ambiente (López, 2019).

En áreas rurales o en sistemas de tratamiento basados en tecnologías naturales como los bofedales, la presencia de desechos industriales puede ser especialmente problemática. Los bofedales y otros sistemas de tratamiento natural están diseñados para manejar aguas residuales con una carga de contaminantes menos severa, como nutrientes y materia orgánica. La inclusión de desechos industriales en estos sistemas puede sobrecargar su capacidad de tratamiento y llevar a la contaminación del suelo y las aguas subterráneas (Gómez & Rivera, 2020).

Para mitigar estos riesgos, es fundamental que las industrias implementen prácticas de gestión de desechos efectivas, que incluyan la minimización de residuos, el reciclaje y el tratamiento previo de desechos industriales antes de su descarga en los sistemas de saneamiento. Además, las regulaciones y políticas ambientales deben garantizar que los desechos industriales sean manejados adecuadamente para proteger la eficacia de los sistemas de tratamiento y evitar la contaminación de recursos hídricos y ecosistemas (López, 2018).

En conclusión, el manejo de desechos industriales en el contexto del tratamiento de aguas residuales requiere un enfoque integral que contemple tanto la prevención como el tratamiento especializado de contaminantes, para asegurar que el impacto ambiental se mantenga al mínimo y la calidad del agua se preserve (Martínez, 2019).

2.2.4. Fuentes de aguas residuales

Las fuentes de aguas residuales son diversos puntos de origen a partir de los cuales se generan y liberan aguas residuales al medio ambiente. Estas fuentes pueden clasificarse en tres categorías principales: residenciales, comerciales e industriales, cada una contribuyendo de manera diferente a la composición y carga de las aguas residuales (Rojas, 2022).

Residenciales: Los sistemas de tratamiento para aguas residuales residenciales suelen incluir plantas de tratamiento municipal o sistemas individuales como las fosas sépticas. En áreas rurales, se pueden utilizar métodos naturales como los bofedales, que ofrecen un tratamiento eficaz mediante procesos biológicos y físicos.



Comerciales: Los establecimientos comerciales pueden ser conectados a sistemas de alcantarillado municipal que cuentan con tratamientos especializados para manejar la carga contaminante. También pueden utilizar sistemas de pretratamiento para reducir la carga de contaminantes antes de la descarga en el sistema de alcantarillado.

Industriales: Las industrias deben implementar sistemas de tratamiento avanzado, como la filtración, la neutralización química y la separación de sólidos, para manejar los contaminantes específicos de sus procesos. Los desechos industriales a menudo requieren un tratamiento separado antes de ser mezclados con otras aguas residuales para evitar la sobrecarga de los sistemas de tratamiento convencionales.

En el contexto de áreas rurales y el uso de tecnologías naturales como los bofedales, es esencial gestionar adecuadamente las aguas residuales provenientes de todas estas fuentes para asegurar que el sistema de tratamiento natural pueda manejar la carga contaminante sin comprometer su eficacia. El desarrollo y diseño de sistemas de tratamiento deben considerar las características específicas de las aguas residuales, adaptando los procesos de tratamiento según sea necesario para mantener la calidad del agua y priorizar la protección ambiental (Rojas, 2022).

2.2.4.1. Aguas Residuales Domésticas (ARD)

Las aguas residuales domésticas son aquellas generadas a partir de las actividades diarias realizadas en hogares y residencias. Estas aguas provienen de diversas fuentes dentro de la vivienda, incluyendo:

Cocina: Donde se generan residuos de alimentos, grasas y aceites que quedan en

el agua después de lavar los platos, utensilios y superficies.

Baño: Incluyendo aguas provenientes de inodoros, duchas y lavabos, que contienen materia orgánica, productos de higiene personal y detergentes.

Lavandería: Donde se utilizan detergentes, blanqueadores y otros productos químicos que se mezclan con el agua de lavado.

Las aguas residuales domésticas suelen contener materia orgánica biodegradable, nutrientes como nitrógeno y fósforo, y una variedad de contaminantes químicos y microbiológicos. Si no se tratan adecuadamente, pueden causar problemas de salud pública y contaminación ambiental, como la proliferación de patógenos y la eutrofización de cuerpos de agua.

Contextualización con el uso de bofedales

El uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas proporciona un enfoque ecológico y sostenible para la gestión de residuos en entornos rurales. Los humedales, como ecosistemas montañosos húmedos que albergan flora adaptada a la alta humedad, desempeñan un papel importante en el tratamiento de aguas residuales mediante la utilización de procesos tanto biológicos como físicos (González, 2022).

Tratamiento natural en bofedales:

- **Filtración:** Los bofedales actúan como filtros naturales que capturan y retienen partículas sólidas y contaminantes presentes en las aguas residuales. Las plantas acuáticas y el sustrato del suelo en los bofedales ayudan a remover estos contaminantes, mejorando la calidad del agua.



- **Degradación Biológica:** Los microorganismos, incluidas las bacterias que se encuentran en los suelos de los humedales, descomponen los materiales orgánicos y los nutrientes, mitigando así la concentración de contaminantes en las aguas residuales. Este procedimiento ayuda a reducir los niveles de patógenos y nutrientes que pueden provocar la eutrofización en los cuerpos de agua adyacentes.
- **Remoción de Nutrientes:** Las plantas en los bofedales absorben nutrientes como nitrógeno y fósforo, que de otro modo podrían contribuir a la contaminación de cuerpos de agua. Al utilizar estos nutrientes para su crecimiento, las plantas ayudan a reducir el riesgo de proliferación de algas y otros problemas asociados con el exceso de nutrientes.
- **Regulación del Flujo de Agua:** Los bofedales pueden regular el flujo de aguas residuales al permitir que el agua se distribuya lentamente a través del sistema, lo que facilita una mayor interacción entre el agua y los procesos de tratamiento biológico.

Beneficios y Desafíos:

El uso de bofedales para tratar aguas residuales domésticas presenta varios beneficios, incluyendo la reducción de costos en comparación con los sistemas de tratamiento convencionales y la mejora de la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, también hay desafíos que deben considerarse, como la necesidad de mantener la capacidad de tratamiento del ecosistema y la gestión adecuada de la carga contaminante para evitar la sobrecarga del sistema (Ramírez, 2020).

En conclusión, los humedales sirven como un método eficaz y respetuoso

con el medio ambiente para tratar las aguas residuales domésticas en regiones rurales, proporcionando una solución que armoniza la gestión de residuos con la preservación de los ecosistemas naturales. La ejecución exitosa y el mantenimiento continuo de estos sistemas son vitales para optimizar sus ventajas y garantizar un efecto beneficioso sobre la calidad del agua y el medio ambiente circundante.

2.2.4.2. Aguas Residuales Municipales

Las aguas residuales municipales son aquellas generadas a partir de actividades domésticas y comerciales dentro de una municipalidad o área urbana. Estas aguas provienen de una variedad de fuentes, que incluyen:

Residencias: Donde se generan aguas residuales de cocinas, baños y lavanderías.

Comercios: Como restaurantes, tiendas y oficinas, que contribuyen con aguas residuales que pueden contener restos de alimentos, productos de limpieza y otros contaminantes.

Servicios Públicos: Tales como lavanderías públicas, escuelas y hospitales, que pueden agregar una carga adicional de contaminantes, incluyendo productos químicos y materia orgánica.

Estas aguas suelen contener una mezcla de materia orgánica biodegradable, nutrientes (nitrógeno y fósforo), productos químicos y patógenos. La gestión eficaz de las aguas residuales municipales es esencial para salvaguardar la salud pública contra las enfermedades transmitidas por el agua y proteger el medio ambiente de la contaminación (Ramírez, 2020).

Contextualización con el uso de bofedales

En las regiones rurales y suburbanas, la utilización de humedales para el tratamiento de aguas residuales municipales proporciona una alternativa sostenible y respetuosa con el medio ambiente a los métodos de tratamiento tradicionales. Los humedales son ambientes húmedos que emplean mecanismos naturales para filtrar el agua, lo que los hace ventajosos para el tratamiento de aguas residuales municipales (González, 2022).

Tratamiento natural en bofedales:

- **Filtración de Contaminantes:** Los humedales sirven como sistemas de filtración natural que atrapan partículas suspendidas y contaminantes que se encuentran en las aguas residuales municipales. Las plantas acuáticas y los sustratos del suelo contribuyen a la filtración de estas partículas, mejorando la calidad general del agua.
- **Descomposición biológica:** Los microorganismos presentes en el suelo y en las plantas del bofedal descomponen la materia orgánica y los nutrientes, reduciendo la carga contaminante de las aguas residuales. Este proceso ayuda a eliminar patógenos y a disminuir el contenido de nutrientes que pueden causar problemas de eutrofización en cuerpos de agua receptores.
- **Remoción de nutrientes:** Las plantas en los bofedales absorben nutrientes como nitrógeno y fósforo, que son comunes en las aguas residuales municipales. Este proceso ayuda a reducir el riesgo de proliferación de algas y a mejorar la calidad del agua tratada.
- **Regulación del flujo de agua:** Los bofedales ayudan a regular el flujo de aguas



residuales, permitiendo que el agua se distribuya de manera uniforme y dando tiempo suficiente para que los procesos de tratamiento natural tengan lugar.

Beneficios y Desafíos:

El uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales municipales ofrece varios beneficios, incluyendo la reducción de costos operativos y el aprovechamiento de procesos naturales para la depuración. Sin embargo, también presenta desafíos, como la necesidad de mantener la capacidad de tratamiento del sistema y asegurar que no se sobrecargue con contaminantes.

Como resultado, los humedales sirven como un método natural y eficiente para tratar las aguas residuales municipales en regiones rurales, armonizando la gestión de residuos con la preservación de los ecosistemas. Para implementar eficazmente sistemas de tratamiento basados en humedales, es esencial contar con una planificación exhaustiva, un seguimiento continuo y una gestión diligente para preservar la calidad del agua y salvaguardar el entorno ecológico.

2.2.4.3. Aguas Residuales Industriales

Las aguas residuales municipales son el flujo de agua usado que proviene de diversas actividades dentro de una comunidad urbana o municipal. Estas aguas, que se generan en residencias, comercios y servicios públicos, están compuestas por una mezcla de materiales orgánicos y químicos que resultan del uso diario. En las viviendas, las aguas residuales se originan de la cocina, los baños y las lavanderías, donde se mezclan restos de alimentos, productos de limpieza, y materia orgánica. Los comercios y servicios públicos, como restaurantes, oficinas, escuelas y hospitales, contribuyen a esta mezcla con sus propias cargas de



contaminantes, que pueden incluir desde restos de alimentos y productos de higiene hasta desechos más complejos (Tchobanoglous, 2003).

La gestión eficaz de las aguas residuales municipales es crucial para salvaguardar tanto la salud pública como el medio ambiente. Si no se manejan adecuadamente, estos cuerpos de agua pueden servir como canales para enfermedades transmitidas por el agua y contribuir a la contaminación ambiental. Las aguas residuales contienen materia orgánica biodegradable que, si no es tratada, puede descomponerse en el medio ambiente y provocar problemas como la proliferación de algas y la eutrofización de cuerpos de agua receptores.

Para tratar las aguas residuales municipales, se utilizan diferentes tecnologías y métodos, desde sistemas de alcantarillado conectados a plantas de tratamiento avanzadas hasta soluciones más sostenibles como los sistemas basados en procesos naturales. En zonas rurales o áreas con recursos limitados, se exploran alternativas como los bofedales para el tratamiento de estas aguas (Kadlec & Wallace, 2009).

Los bofedales, ecosistemas húmedos de montaña, pueden ofrecer una solución ecológica y eficiente para el tratamiento de aguas residuales municipales. Estos ecosistemas naturales funcionan como filtros biológicos, donde la vegetación acuática y el sustrato del suelo trabajan en conjunto para remover contaminantes. La vegetación de los humedales absorbe nutrientes como nitrógeno y fósforo, lo que contribuye a mejorar la calidad del agua tratada. Además, la actividad biológica en los humedales facilita la descomposición de materiales orgánicos y disminuye la concentración de patógenos que se encuentran en las aguas residuales (Vymazal, 2010).



Integrar el uso de bofedales en el tratamiento de aguas residuales municipales no solo proporciona un método efectivo de depuración, sino que también promueve la conservación de estos valiosos ecosistemas. Sin embargo, es crucial gestionar adecuadamente la carga de contaminantes y mantener el equilibrio del ecosistema para asegurar que el sistema de tratamiento siga funcionando eficientemente y continúe beneficiando a la comunidad. En definitiva, el uso de bofedales para tratar aguas residuales municipales representa una solución que combina tecnología y naturaleza, abordando la necesidad de manejo de desechos con un enfoque respetuoso con el medio ambiente.

2.2.4.4. Aguas Negras

Las aguas negras son un tipo específico de aguas residuales que se generan a partir de los sistemas de saneamiento, especialmente de los inodoros y urinarios. Estas aguas contienen una mezcla de materia orgánica altamente contaminada, incluyendo excrementos humanos, orina y productos de higiene personal que se eliminan a través de los sistemas de alcantarillado. A diferencia de las aguas residuales provenientes de cocinas o lavanderías, las aguas negras tienen una carga mucho más alta de patógenos y materia orgánica (Henze, 2008).

Características de las Aguas Negras:

- **Alta Carga orgánica:** Las aguas negras contienen grandes cantidades de materia orgánica en descomposición, lo que puede llevar a una elevada demanda biológica de oxígeno (DBO). Esto significa que requieren un tratamiento intensivo para reducir los niveles de contaminantes y evitar problemas de eutrofización y contaminación.



- **Presencia de patógenos:** Debido a su origen en sistemas de saneamiento, las aguas negras son un caldo de cultivo para patógenos como bacterias, virus y parásitos. Estos microorganismos pueden representar un riesgo significativo para la salud pública si no se tratan adecuadamente.
- **Composición variada:** Además de materia orgánica y patógenos, las aguas negras pueden contener productos químicos provenientes de productos de limpieza y artículos de cuidado personal. Estos compuestos pueden complicar el proceso de tratamiento.

Tratamiento de aguas negras

El tratamiento de las aguas residuales es crucial para proteger la salud pública y preservar el medio ambiente. Este proceso implica varias etapas para reducir los niveles de contaminantes y asegurar que el agua tratada sea segura para su liberación o reutilización.

Tratamiento Primario: Durante esta primera fase se eliminan sólidos considerables y material orgánico flotante mediante métodos físicos como sedimentación y filtración.

Tratamiento Secundario: Aquí, se realiza una degradación biológica de la materia orgánica restante mediante el uso de bacterias y otros microorganismos que descomponen los contaminantes en compuestos menos dañinos.

Tratamiento Terciario: En algunos casos, se aplican tratamientos adicionales para eliminar nutrientes específicos como nitrógeno y fósforo, así como para desinfectar el agua y eliminar patógenos residuales.



Aplicación en sistemas naturales como los bofedales:

En áreas rurales y regiones con recursos limitados, los bofedales pueden ser utilizados como una solución natural para el tratamiento de aguas negras. Estos ecosistemas húmedos pueden tratar aguas negras a través de procesos biológicos y físicos. Las plantas acuáticas en los bofedales absorben nutrientes y ayudan a filtrar contaminantes, mientras que el sustrato del suelo facilita la descomposición de la materia orgánica.

Sin embargo, el tratamiento de aguas negras en bofedales requiere una gestión cuidadosa para evitar la sobrecarga del sistema y asegurar que el ecosistema pueda manejar la carga contaminante sin comprometer su eficacia. Implementar un sistema de tratamiento en bofedales implica considerar el diseño del flujo de agua, la capacidad de absorción del ecosistema y el monitoreo continuo para mantener la calidad del agua tratada.

Por lo tanto, el manejo adecuado de aguas negras es esencial para la salud pública y el bienestar ambiental. Los bofedales ofrecen una solución ecológica viable para tratar estas aguas en contextos rurales, proporcionando un equilibrio entre tecnología y naturaleza para una depuración efectiva y sostenible.

2.2.4.5. Aguas Grises

Las aguas grises son un tipo de aguas residuales generadas en el hogar y otras instalaciones que provienen de actividades no relacionadas con el sistema de saneamiento principal. Estas aguas se originan de lavabos, duchas, bañeras y lavadoras, y contienen una menor carga de materia orgánica y patógenos en comparación con las aguas negras. Aunque son menos contaminadas, todavía



requieren tratamiento adecuado para evitar problemas ambientales y de salud (Henze, 2008).

Características de las Aguas Grises:

Composición Menos Contaminada: A diferencia de las aguas negras, las aguas grises no contienen excrementos ni orina, lo que reduce su carga de materia orgánica y patógenos. Sin embargo, pueden contener residuos de detergentes, jabones y productos de limpieza, así como partículas de alimentos y aceites.

Menor Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): La demanda de oxígeno para la descomposición de materia orgánica en las aguas grises es generalmente menor que en las aguas negras, lo que facilita su tratamiento.

Uso Potencial para Reutilización: Dado que las aguas grises son menos contaminadas, tienen un mayor potencial para ser reutilizadas en aplicaciones no potables, como el riego de jardines y la descarga de inodoros, si se les trata adecuadamente.

Tratamiento de Aguas Grises:

El tratamiento de aguas grises se enfoca en eliminar los contaminantes presentes y reducir el impacto ambiental. Los sistemas de tratamiento para aguas grises pueden variar desde simples filtros caseros hasta instalaciones más avanzadas.

- **Filtración y decantación:** En sistemas básicos, las aguas grises pueden ser sometidas a procesos de filtración para remover partículas sólidas y a decantación para permitir la separación de los sólidos suspendidos.



- **Tratamiento biológico:** Métodos como los biofiltros y las camas de arena utilizan microorganismos para descomponer los contaminantes orgánicos presentes en las aguas grises. Estos sistemas aprovechan la capacidad de las bacterias para descomponer el material orgánico y disminuir la carga de contaminantes.
- **Reutilización:** Las aguas grises recicladas se pueden utilizar para fines no potables, incluido el riego de jardines y la descarga de inodoros, lo que ayuda en los esfuerzos de conservación del agua y alivia la presión sobre las principales instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Aplicación en Sistemas Naturales como los Bofedales:

En áreas rurales y comunidades con acceso limitado a infraestructura avanzada, los bofedales pueden ofrecer una solución natural para el tratamiento de aguas grises. Estos ecosistemas húmedos pueden ayudar a filtrar y depurar las aguas grises a través de procesos biológicos y físicos. Las plantas acuáticas en los bofedales absorben nutrientes y contaminantes, mientras que el sustrato del suelo facilita la descomposición de materia orgánica.

El tratamiento de aguas grises en bofedales requiere una adecuada gestión para evitar la sobrecarga del sistema. Es esencial diseñar el flujo de agua para asegurar que el ecosistema pueda manejar la carga de contaminantes sin comprometer su funcionalidad. Monitorear la calidad del agua tratada y ajustar el sistema según sea necesario garantiza que el tratamiento sea efectivo y sostenible.

En resumen, las aguas grises representan un flujo de agua residual menos contaminado que las aguas negras, con un mayor potencial para reutilización si se



les trata adecuadamente. Los bofedales ofrecen una solución natural y ecológica para su tratamiento en contextos rurales, combinando el uso de procesos biológicos con la conservación de ecosistemas naturales para una gestión efectiva de recursos hídricos.

2.2.5. Los sólidos de las aguas negras

Los sólidos en las aguas residuales se refieren a las partículas y sustancias que están suspendidas o disueltas en las aguas residuales generadas por los sistemas de saneamiento. Estos sólidos pueden incluir una variedad de sustancias, cada una con características y comportamientos distintos durante el tratamiento de aguas residuales (Kadlec & Wallace, 2009).

2.2.5.1. Tipos de sólidos en las aguas negras:

Sólidos Suspendidos: Se refieren a partículas sólidas que permanecen a flote en el agua debido a su tamaño y densidad. Pueden consistir en restos de comida, papel higiénico, tierra y otros desechos sólidos. La presencia de sólidos en suspensión es un problema importante en el tratamiento de aguas residuales, ya que puede afectar la eficacia de los métodos de tratamiento y la calidad del agua tratada resultante.

Sólidos Sedimentables: Estos sólidos tienen una mayor densidad y tienden a sedimentarse en el fondo de los tanques y estanques de tratamiento. Incluyen materia orgánica en descomposición, como excrementos y residuos de alimentos. La sedimentación de estos sólidos es un paso crucial en el tratamiento primario de aguas residuales, donde se eliminan los sólidos más grandes y pesados.



Sólidos Disueltos: Aunque en menor concentración, los sólidos disueltos en las aguas negras incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos que se encuentran en forma de moléculas individuales o iones. Estos sólidos requieren procesos de tratamiento más avanzados para su eliminación, como la filtración y la digestión biológica.

Lodos: El lodo consiste en una mezcla de sólidos suspendidos y material orgánico que se acumula en el fondo de los tanques de tratamiento durante la etapa de sedimentación. El tratamiento y la gestión adecuados de los lodos son esenciales para prevenir problemas de salud y medioambientales. Puede sufrir varios procesos, incluida la digestión anaeróbica, la deshidratación y su eventual eliminación.

2.2.5.2. Tratamiento de sólidos en aguas negras:

El tratamiento de sólidos en las aguas negras es fundamental para garantizar la eficacia del proceso de depuración y la protección del medio ambiente. Los métodos comunes para manejar estos sólidos incluyen:

- **Sedimentación:** En los tanques de sedimentación, los sólidos suspendidos y sedimentables se asientan en el fondo, donde se pueden eliminar para reducir la carga de sólidos en el agua residual. Este es el primer paso en el tratamiento primario de aguas residuales.
- **Filtración:** La filtración se utiliza para remover sólidos finos que no se sedimentan fácilmente. Los filtros pueden ser mecánicos o biológicos, y ayudan a mejorar la calidad del agua al capturar partículas más pequeñas.
- **Digestión:** Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales se

someten a procesos de digestión biológica que descomponen la materia orgánica y minimizan el volumen del lodo. Este proceso puede ocurrir en presencia (aeróbica) o ausencia (anaeróbica) de oxígeno, dependiendo de las condiciones específicas del sistema.

- **Deshidratación:** Después de la digestión, los lodos se deshidratan para reducir su contenido de agua y facilitar su manejo y disposición final. Los métodos de deshidratación incluyen centrifugación, filtración y secado
- **Disposición Final:** Los lodos tratados se gestionan mediante técnicas como la aplicación en tierras agrícolas, la incineración o el vertido en vertederos controlados. La elección del método depende de las características del lodo y las regulaciones locales.

2.2.5.3. Asociación con el uso de bofedales:

En áreas rurales y comunidades con acceso limitado a infraestructura avanzada, los bofedales pueden jugar un papel en el tratamiento de los sólidos en las aguas negras. Las plantas acuáticas en los bofedales capturan y retienen partículas sólidas, mientras que el sustrato del suelo facilita la descomposición de materia orgánica.

Sin embargo, el uso de bofedales para el tratamiento de sólidos en aguas negras requiere una gestión cuidadosa para evitar la sobrecarga del sistema y asegurar que el ecosistema pueda manejar la carga de contaminantes sin comprometer su funcionalidad. Es importante diseñar el flujo de agua y el tratamiento de sólidos para mantener la eficacia del sistema y proteger el medio ambiente (Ramírez, 2020).



En conclusión, los sólidos en las aguas negras representan un componente crítico en el tratamiento de aguas residuales, con diversos tipos que requieren métodos específicos de manejo y tratamiento. Los bofedales ofrecen una solución natural y ecológica para ayudar en la depuración de estos sólidos, proporcionando un enfoque integrado para el tratamiento de aguas residuales en contextos rurales.

2.2.5.4. Definición de los sólidos de las aguas negras

En el tratamiento de aguas residuales, los sólidos que se encuentran en las aguas residuales se pueden clasificar en varios tipos según sus propiedades físicas y químicas. Cada categoría de sólidos requiere un manejo y tratamiento específico para garantizar una depuración efectiva y proteger el medio ambiente. A continuación, se describen las principales categorías de sólidos encontradas en las aguas negras:

Sólidos orgánicos. Los sólidos orgánicos en las aguas negras incluyen materia proveniente de productos biológicos y materiales orgánicos en descomposición. Esto puede incluir excrementos humanos, restos de alimentos, papel higiénico y otros productos biodegradables. Los sólidos orgánicos son una fuente importante de demanda biológica de oxígeno (DBO) en las aguas residuales, ya que requieren oxígeno para su descomposición por parte de microorganismos durante el tratamiento.

Sólidos inorgánicos. Los sólidos inorgánicos son aquellos que no están compuestos por materia biológica y no se descomponen fácilmente. En las aguas negras, estos sólidos pueden incluir arena, tierra, cenizas y fragmentos de materiales de construcción. Aunque los sólidos inorgánicos no contribuyen a la



DBO, pueden causar problemas en el tratamiento de aguas residuales al obstruir equipos y reducir la eficiencia del proceso.

Sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos se refieren a partículas sólidas que persisten en el agua sin sedimentarse, debido a su tamaño y densidad. En las aguas residuales, estos sólidos pueden comprender una combinación de sustancias tanto orgánicas como inorgánicas. La presencia de sólidos suspendidos es una preocupación en el tratamiento de aguas residuales porque pueden afectar la eficiencia del tratamiento, contribuir a la obstrucción de equipos y aumentar la necesidad de tratamiento adicional.

Sólidos sedimentables. Los sólidos sedimentables son partículas sólidas que tienen suficiente peso y densidad para asentarse en el fondo de los tanques de tratamiento durante el proceso de sedimentación. Estos sólidos incluyen restos de alimentos, excrementos y otros materiales pesados que se separan del agua residual mediante la acción gravitacional. La eliminación de estos sólidos es un paso crucial en el tratamiento primario de aguas residuales.

Sólidos coloidales suspendidos. Los sólidos coloidales suspendidos son partículas extremadamente pequeñas que permanecen en suspensión en el agua debido a su tamaño microscópico y propiedades químicas. A menudo, estas partículas son tan pequeñas que no se sedimentan fácilmente y requieren procesos de tratamiento adicionales, como filtración o coagulación, para ser eliminadas. Los sólidos coloidales pueden contribuir a la turbidez del agua y afectar su calidad.

Sólidos disueltos. Los sólidos disueltos se encuentran en forma de compuestos químicos y moléculas que están completamente disueltos en el agua. Estos sólidos



incluyen sales, minerales y compuestos orgánicos e inorgánicos que no se pueden eliminar mediante sedimentación o filtración simple. La eliminación de sólidos disueltos generalmente requiere métodos de tratamiento más avanzados, como la ósmosis inversa o la destilación.

Sólidos totales. Se refieren al agregado de todos los materiales sólidos que se encuentran en las aguas residuales, abarcando sólidos suspendidos, sedimentables, coloidales y disueltos. La evaluación de los sólidos totales es crucial para determinar la carga contaminante general en las aguas residuales e identificar la necesidad de tratamiento. Los sólidos totales en las aguas residuales se clasifican en sólidos totales suspendidos (STS) y sólidos totales disueltos (TDS) para ofrecer una comprensión integral de su composición.

Contextualización con el uso de bofedales. Los bofedales, ecosistemas húmedos de montaña, pueden desempeñar un papel importante en la gestión de sólidos en las aguas negras. Estos ecosistemas naturales actúan como filtros biológicos que ayudan a remover sólidos suspendidos y coloidales a través de sus plantas acuáticas y sustrato. Las plantas en los bofedales absorben nutrientes y contribuyen a la sedimentación de sólidos, mientras que el suelo facilita la descomposición de materia orgánica.

Sin embargo, el tratamiento de sólidos en bofedales debe ser gestionado cuidadosamente para evitar la sobrecarga del sistema y mantener la salud del ecosistema. El diseño del flujo de agua y la carga de sólidos deben ser adecuados para garantizar que el bofedal pueda manejar la carga de contaminantes sin comprometer su funcionalidad.

En resumen, los sólidos en las aguas negras se clasifican en diferentes tipos, cada uno con características y desafíos específicos en el tratamiento. Comprender y gestionar estos sólidos es esencial para el tratamiento eficaz de aguas residuales, y los bofedales ofrecen una solución ecológica para el manejo de sólidos en contextos rurales y naturales.

2.2.6. Gases disueltos

Los gases disueltos en las aguas residuales son sustancias gaseosas que existen en estado disuelto en el agua y desempeñan un papel crucial en el tratamiento del agua y su calidad general. Estos gases pueden afectar tanto los procesos biológicos y químicos involucrados en el tratamiento de aguas residuales, como también la calidad general del agua tratada. A continuación, se muestra una descripción de los principales gases disueltos presentes en las aguas residuales y su importancia en el proceso de tratamiento.

2.2.6.1. Principales gases disueltos en aguas residuales

Oxígeno (O₂):

- **Importancia:** El oxígeno disuelto desempeña un papel fundamental en los métodos biológicos de tratamiento de aguas residuales, especialmente en la digestión aeróbica. Los microorganismos que descomponen materiales orgánicos en las aguas residuales necesitan oxígeno para realizar sus actividades metabólicas. El nivel de oxígeno disuelto en el agua tiene un impacto directo en la eficacia de los procesos de tratamiento biológico.
- **Problemas:** Niveles bajos de oxígeno disuelto pueden inhibir la actividad microbiana y reducir la capacidad de tratamiento de las aguas residuales, lo



que lleva a una menor reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) y una mayor contaminación del efluente.

Dióxido de Carbono (CO₂):

- **Importancia:** El dióxido de carbono se produce como resultado de la descomposición de materia orgánica y de los procesos metabólicos de los microorganismos. En el proceso de tratamiento, el CO₂ se produce principalmente en la fase de digestión biológica. La concentración de CO₂ disuelto puede afectar el pH del agua, ya que el CO₂ puede formar ácido carbónico, que acidifica el agua.
- **Problemas:** Niveles elevados de CO₂ disuelto pueden contribuir a la acidificación del agua, lo que puede afectar la eficiencia de los procesos de tratamiento y la estabilidad del sistema biológico.

Amoníaco (NH₃):

- **Importancia:** El amoníaco es un producto de la descomposición de compuestos nitrogenados en las aguas residuales. Su presencia en forma disuelta puede afectar la calidad del agua tratada, ya que el amoníaco es tóxico para la vida acuática en concentraciones elevadas.
- **Problemas:** Altos niveles de amoníaco disuelto pueden causar problemas en la eutrofización de cuerpos de agua receptores y en la toxicidad para organismos acuáticos, así como en la formación de compuestos nitrogenados durante el tratamiento.

-

Sulfuro de Hidrógeno (H₂S):

- **Importancia:** El sulfuro de hidrógeno se forma en ambientes anaeróbicos durante la descomposición de materia orgánica rica en azufre. Es un gas con un olor característico a huevo podrido y puede ser tóxico y corrosivo en altas concentraciones.
- **Problemas:** La presencia de H₂S en las aguas residuales puede causar problemas de salud y corrosión en equipos de tratamiento, así como contribuir a la contaminación del aire.

Metano (CH₄):

- **Importancia:** El metano se genera en condiciones anaeróbicas durante la digestión de materia orgánica. Aunque no se encuentra comúnmente en forma disuelta en las aguas residuales, puede ser liberado en la fase de tratamiento y tiene implicaciones para el control de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Problemas:** El metano es un poderoso gas de efecto invernadero cuyas emisiones pueden impactar significativamente el cambio climático. En el tratamiento de aguas residuales, aprovecharlas y utilizarlas dentro de sistemas de digestión anaeróbica puede ayudar a disminuir las emisiones.

Contextualización en el tratamiento de aguas residuales

En el tratamiento de aguas residuales, la gestión eficaz de los gases disueltos es crucial para garantizar que el proceso funcione de manera eficiente y que la calidad del agua tratada cumpla con los estándares. Los sistemas de



tratamiento deben diseñarse para controlar y optimizar la concentración de estos gases. Por ejemplo:

- **Control del oxígeno disuelto:** En los sistemas de tratamiento biológico, como los reactores de aireación, es esencial mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto para asegurar la eficiencia de la digestión aeróbica.
- **Manejo del dióxido de carbono:** El control del pH y la remoción de CO_2 pueden ser necesarios para mantener condiciones óptimas para los microorganismos y prevenir la acidificación del agua.
- **Tratamiento de amoníaco y sulfuro de hidrógeno:** Se deben emplear tecnologías para eliminar o reducir la concentración de amoníaco y H_2S , tales como procesos de nitrificación/desnitrificación y sistemas de desodorización.
- **Captura de metano:** En los sistemas de digestión anaeróbica, la captura y utilización de metano para la generación de energía puede ser una estrategia efectiva para reducir las emisiones y aprovechar los recursos.

En conclusión, los gases disueltos en las aguas residuales juegan un papel crucial en el tratamiento y la calidad del agua. Una comprensión y gestión adecuada de estos gases son esenciales para optimizar los procesos de tratamiento y minimizar el impacto ambiental.

2.2.6.2. Líquidos volátiles

Los líquidos volátiles en las aguas residuales son compuestos líquidos que poseen una alta tendencia a evaporarse o pasar a la fase de vapor en condiciones normales de temperatura y presión. Estos líquidos incluyen una variedad de

sustancias químicas que se encuentran en las aguas residuales y que pueden tener implicaciones significativas tanto en el tratamiento como en el manejo ambiental de las aguas residuales (Ramírez, 2020).

Características de los líquidos volátiles

Propiedades químicas: Los líquidos volátiles están compuestos por sustancias que tienen bajos puntos de ebullición y alta presión de vapor. Estas características permiten que estos líquidos se evaporan fácilmente y puedan entrar en la atmósfera. Entre los líquidos volátiles comunes en las aguas residuales se encuentran los solventes orgánicos, los hidrocarburos y algunos compuestos químicos industriales.

Origen en aguas residuales: Los líquidos volátiles pueden provenir de diversas fuentes dentro de las aguas residuales. Estos incluyen:

- **Productos químicos domésticos:** Como limpiadores, desinfectantes y productos de cuidado personal que contienen compuestos volátiles.
- **Residuos industriales:** Como solventes, aceites y productos químicos utilizados en procesos industriales.
- **Residuos de compuestos orgánicos:** Incluyendo compuestos como etanol, acetona y otros productos orgánicos que se descomponen en líquidos volátiles.

Impacto de los líquidos volátiles en el tratamiento de aguas residuales

Desafíos en el tratamiento: La presencia de líquidos volátiles en las aguas residuales puede representar varios desafíos en el proceso de tratamiento. Estos compuestos pueden ser difíciles de remover mediante los métodos tradicionales de



tratamiento, como la sedimentación y la filtración, debido a su capacidad para evaporarse y formar vapores que pueden escapar de los sistemas de tratamiento.

Impacto en la eficiencia del tratamiento: Los líquidos fluctuantes pueden alterar la eficacia de los sistemas de tratamiento biológico. La evaporación de estas sustancias puede disminuir los niveles contaminantes en las aguas residuales; sin embargo, también puede contribuir a la contaminación del aire, planteando riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

Control de emisiones: La evaporación de líquidos volátiles puede llevar a la liberación de contaminantes en la atmósfera, contribuyendo a la contaminación del aire y a la formación de compuestos nocivos, como el ozono troposférico. Por lo tanto, es esencial implementar estrategias de captura y control para minimizar la liberación de vapores en el ambiente.

2.2.6.3. Estrategias para manejo de líquidos volátiles

- Tecnologías de captura: Los sistemas de tratamiento pueden incorporar tecnologías diseñadas para capturar y tratar los vapores de líquidos volátiles. Estas tecnologías pueden incluir sistemas de condensación, absorción en lechos de carbón activado o procesos de captura mediante sistemas de vapor.
- Tratamiento avanzado: Para tratar líquidos volátiles, pueden ser necesarios métodos de tratamiento más avanzados, como la oxidación química, la adsorción en filtros especiales o la biodegradación controlada.
- Pretratamiento y minimización: Implementar prácticas de pretratamiento y reducción en el origen de los líquidos volátiles puede ayudar a minimizar su presencia en las aguas residuales. Esto incluye la reducción del uso de

productos químicos volátiles y la implementación de sistemas de manejo de residuos adecuados.

Contextualización con el uso de bofedales

En el contexto del uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales, los líquidos volátiles pueden presentar desafíos adicionales. Los bofedales, al ser ecosistemas naturales, tienen una capacidad limitada para manejar compuestos gaseosos y volátiles. Por lo tanto, es fundamental diseñar el flujo de agua y los procesos de tratamiento de manera que minimicen la carga de líquidos volátiles que llegan a estos ecosistemas.

La combinación de técnicas de captura y tratamiento de líquidos volátiles, junto con la integración de sistemas de tratamiento natural como los bofedales, puede proporcionar una solución efectiva para manejar estos compuestos en las aguas residuales. Asegurar una correcta gestión de líquidos volátiles es esencial para proteger tanto el medio ambiente acuático como el aire, y para garantizar la eficacia del tratamiento de aguas residuales en cualquier contexto.

2.2.7. Contaminación

La contaminación es el proceso mediante el cual sustancias y agentes nocivos se introducen en el medio ambiente, alterando su equilibrio natural y afectando la salud de los ecosistemas y de los seres vivos. Este cambio puede ser el resultado de acciones humanas como operaciones industriales, prácticas agrícolas y transporte, o puede ser impulsado por eventos naturales. La contaminación se presenta en múltiples formas –como el aire, el agua, el suelo y el ruido– y afecta sustancialmente tanto el bienestar del planeta como la calidad de



vida de sus habitantes.

2.2.7.1. Contaminación del aire

La contaminación del aire ocurre cuando sustancias nocivas, como gases tóxicos, partículas y compuestos químicos, se liberan en la atmósfera. Entre los principales contaminantes del aire se encuentran el dióxido de azufre (SO_2), el monóxido de carbono (CO), el óxido de nitrógeno (NO_2) y las partículas en suspensión. Estos contaminantes pueden originarse a partir de la quema de combustibles fósiles, emisiones industriales, actividades agrícolas y el tráfico vehicular. La contaminación del aire puede provocar enfermedades respiratorias, cardiovasculares y contribuir al cambio climático mediante el aumento de gases de efecto invernadero.

2.2.7.2. Contaminación del agua

La contaminación del agua ocurre cuando se liberan agentes químicos, biológicos o físicos dañinos en cuerpos de agua como ríos, lagos, océanos y acuíferos. Los contaminantes del agua pueden comprender productos químicos industriales, escorrentías agrícolas, desechos municipales y agentes biológicos como bacterias y virus. La contaminación del agua puede provocar una disminución de la biodiversidad acuática, la degradación de los ecosistemas acuáticos y problemas de salud para los seres humanos, incluidas enfermedades transmitidas por el agua y la acumulación de toxinas dentro de la cadena alimentaria.

2.2.7.3. Contaminación del suelo

La contaminación del suelo implica la contaminación del suelo con sustancias nocivas y contaminantes, que pueden comprometer la calidad del suelo y afectar negativamente a la salud de las plantas, los animales y los seres humanos.



Esta contaminación puede ser causada por el uso excesivo de pesticidas y fertilizantes, derrames de productos químicos, desechos industriales y la disposición inadecuada de residuos. Los suelos contaminados pueden resultar en una disminución de la productividad agrícola, la acumulación de toxinas en alimentos y la degradación de hábitats naturales.

2.2.7.4. Contaminación por ruido

La contaminación acústica, o contaminación por ruido, ocurre cuando los niveles de sonido exceden los umbrales aceptables y afectan la calidad de vida de las personas y los animales. Fuentes comunes de contaminación acústica incluyen el tráfico vehicular, la actividad industrial, la construcción y los eventos públicos. La exposición prolongada al ruido puede provocar diversos problemas de salud, como estrés, discapacidad auditiva, alteraciones del sueño y complicaciones cardiovasculares.

2.2.7.5. Impacto de la contaminación en el medio ambiente y la salud

La contaminación tiene un impacto profundo y multifacético en el medio ambiente y en la salud humana. Los ecosistemas afectados por la contaminación pueden experimentar pérdida de biodiversidad, cambios en la estructura y función de los hábitats naturales y la alteración de los ciclos biogeoquímicos. La salud humana se ve afectada a través de enfermedades respiratorias, cardiovasculares, gastrointestinales y neurológicas, así como por el riesgo de cáncer y problemas reproductivos.

2.2.7.6. Medidas de mitigación y prevención

Para abordar la contaminación y sus efectos, es crucial implementar medidas de



mitigación y prevención. Estas medidas pueden incluir:

- **Regulación y legislación:** Establecer y hacer cumplir normas y regulaciones ambientales para controlar las emisiones de contaminantes y gestionar los residuos de manera adecuada.
- **Tecnología e innovación:** Adoptar tecnologías limpias y sostenibles en la industria, el transporte y la agricultura para reducir la generación de contaminantes.
- **Educación y conciencia:** Abogar por la alfabetización ambiental y aumentar la comprensión pública de las prácticas sostenibles y los efectos de las acciones humanas en el medio ambiente.
- **Conservación y restauración:** Implementar proyectos de conservación y restauración de ecosistemas para recuperar áreas afectadas y proteger los recursos naturales.

Por lo tanto, la contaminación representa un desafío significativo para la salud del planeta y de sus habitantes. Abordar este problema requiere un enfoque integral que combine regulaciones efectivas, innovación tecnológica, educación y acciones comunitarias para proteger y preservar el medio ambiente para las generaciones futuras.

TABLA 1

Contaminantes clave y sus posibles impactos

CONTAMINANTES DEL AGUA Y LOS ALIMENTOS	POSIBLES EFECTOS SOBRE LA SALUD
Bacterias	Las infecciones gastrointestinales, ya sean esporádicas o en brotes, incluyen afecciones como fiebre tifoidea, cólera, shigelosis, salmonelosis y leptospirosis, entre otras.
Virus	Infecciones virales, como la hepatitis epidémica,
Protozoos y metazoos	Posibles irritaciones de la piel y los ojos en personas que nadan.
Metales	Amebiasis, esquistosomiasis, enfermedad hidatídica y otras infecciones parasitarias diversas.
Nitratos	Exposición a toxinas como plomo, metilmercurio (comúnmente consumido a través de los alimentos), cadmio (también presente en los alimentos) y arsénico, entre otros.
Fluoruros	La metahemoglobinemia infantil se refiere a cambios en la molécula de hemoglobina en los niños.
Petróleo, fenoles, contaminantes sólidos en solución	Dientes descoloridos como resultado de altos niveles de concentración.

Nota. Clasificación

2.2.8. Características de las aguas residuales

Las aguas residuales se refieren al agua que ha sido utilizada y posteriormente contiene diversos contaminantes debido a su uso. Estas aguas provienen de diversas fuentes, incluidos hogares, operaciones industriales y



actividades comerciales. Las aguas residuales se pueden clasificar en tres tipos principales de características: físicas, químicas y biológicas. Cada una de estas características conlleva consecuencias importantes para el tratamiento y la gestión de las aguas residuales. Se pueden clasificar en físicos, químicos y biológicos.

2.2.8.1. Características físicas

Color: Las aguas residuales pueden variar en color, desde claras hasta turbias, dependiendo de la fuente de origen y los contaminantes presentes. El color puede indicar la presencia de compuestos orgánicos o inorgánicos disueltos o en suspensión.

Olor: El olor de las aguas residuales puede ser una indicación de la presencia de materia orgánica en descomposición o de productos químicos específicos. Los olores pueden variar desde leves hasta intensos y desagradables, dependiendo de la concentración y tipo de contaminantes.

Turbidez: La turbidez se refiere a la claridad del agua y está relacionada con la presencia de partículas en suspensión. Las aguas residuales suelen ser turbias debido a la presencia de sólidos suspendidos, que pueden ser orgánicos o inorgánicos.

Temperatura: La temperatura de las aguas residuales puede variar dependiendo de su origen. Las aguas residuales industriales o las que provienen de procesos de enfriamiento suelen tener temperaturas más altas, mientras que las aguas residuales domésticas suelen estar a temperatura ambiente.

Sólidos: Los sólidos en las aguas residuales incluyen tanto sólidos suspendidos (partículas que no se disuelven en agua) como sólidos disueltos (compuestos que



están en solución). La concentración de sólidos puede influir en la eficiencia del tratamiento y la calidad del efluente final.

2.2.8.2. Características químicas

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): La (DBO) cuantifica el oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer los materiales orgánicos que se encuentran en las aguas residuales. Un nivel elevado de DBO significa una carga orgánica significativa, lo que resulta en una mayor demanda de tratamiento.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): La (DQO) cuantifica el oxígeno total necesario para oxidar completamente las sustancias orgánicas e inorgánicas presentes en el agua. La DQO sirve como una medida amplia de los niveles de contaminación del agua.

pH: El pH de las aguas residuales puede variar, y su medida indica si el agua es ácida, neutra o alcalina. El pH puede afectar la eficacia de los procesos de tratamiento y la estabilidad de los sistemas biológicos.

Sólidos Totales: Incluye tanto sólidos suspendidos como disueltos. La concentración de sólidos totales puede impactar la sedimentación y filtración en los procesos de tratamiento.

Nutrientes: Las aguas residuales suelen contener nutrientes como nitrógeno (en forma de amoníaco o nitratos) y fósforo, que pueden contribuir a la eutrofización en cuerpos de agua receptores.

Metales Pesados: Los metales pesados, incluidos el plomo, el mercurio y el cadmio, a menudo llegan a las aguas residuales industriales, lo que plantea riesgos

importantes tanto para la salud humana como para el medio ambiente.

TABLA 2

Componentes comunes de las aguas residuales domésticas

Constituyente	Concentración (ppm)		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales	1200	700	350
Sólidos disueltos	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Sólidos en suspensión	350	200	100
Fijos	75	50	30
Materia decantable	20	10	5
DBO ₅	300	200	100
DQO	1000	500	250
Nitrógeno	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Amoníaco libre	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fósforo total	20	10	6
Orgánico	5	3	2
Inorgánico	15	7	4
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Aceites y grasas	150	100	50

Nota. ppm= partes por millón (mg/L o g/m³) Fuente: (OMS)

En la tabla se ilustra un desglose estándar de las aguas residuales domésticas. Los distintos componentes se indican por su valor de concentración, que refleja la cantidad total por unidad de volumen de aguas residuales. Se han realizado esfuerzos limitados para desarrollar una clasificación integral de los

compuestos orgánicos que normalmente se encuentran en las aguas residuales domésticas.

TABLA 3

Componentes orgánicos presentes en las aguas residuales.

Sustancia	Proporción de carbono orgánico en el efluente (%)
Hidratos de carbono	11-18
Proteínas	8-10
Aminoácidos	0.5-1.5
Ácidos grasos	23-25
Ácidos orgánicos disueltos	7-11
Lípidos	9-12
Tensoactivos	4-6
Otros	25-28

Nota. OMS

2.2.8.3. Características biológicas

- **Bacterias:** Las aguas residuales contienen una variedad de bacterias, algunas de las cuales son patógenas. La cantidad y tipo de bacterias presentes son indicadores importantes de la calidad del agua y de los riesgos para la salud pública.
- **Virus y protozoos:** Además de bacterias, las aguas residuales pueden contener virus y protozoos, que pueden causar enfermedades infecciosas y problemas de salud.



- **Materia orgánica:** La materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales se compone de residuos de alimentos, desechos humanos y varias otras sustancias orgánicas. Los microorganismos facilitan la descomposición de esta sustancia durante todo el proceso de tratamiento.
- **Demanda de Oxígeno para la Biodegradación:** La cantidad de oxígeno necesario para la descomposición de la materia orgánica por microorganismos indica la carga orgánica biológica del agua.
- **Bioindicadores:** Las especies acuáticas que se encuentran en las aguas residuales pueden actuar como puntos de referencia para evaluar la salud del sistema y la naturaleza de su contaminación. Las variaciones en la población de estos organismos podrían indicar cambios en la calidad del agua.

Contextualización con el uso de bofedales

El uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales aprovecha las características naturales de estos ecosistemas para remover contaminantes. La capacidad de los bofedales para tratar aguas residuales depende de su habilidad para manejar las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales.

Físicas: Los bofedales pueden reducir la turbidez mediante la sedimentación de sólidos en suspensión y la filtración natural.

Químicas: Los procesos biológicos y la interacción con las plantas en los bofedales pueden ayudar a remover nutrientes y otros compuestos químicos.

Biológicas: La actividad de microorganismos en los bofedales contribuye a la

descomposición de la materia orgánica y la reducción de contaminantes biológicos.

Comprender las características de las aguas residuales es esencial para diseñar y gestionar eficazmente sistemas de tratamiento, como el uso de bofedales, para asegurar la protección del medio ambiente y la salud pública.

TABLA 4

Clasificación por tamaño de las partículas presentes en el agua

	Disuelta	Coloidal	Suspensión	Sedimentable (suspensión)
Tamaño (mm)	<0.001	0.001 - 1	>1	>10

Nota. Según tamaño

2.2.9. Principales compuestos de la materia orgánica

La materia orgánica en las aguas residuales contiene una variedad de compuestos que afectan su calidad y la eficacia de los procesos de tratamiento. Estos compuestos incluyen una gama de sustancias químicas que influyen tanto las propiedades físicas como químicas del agua. A continuación, se describen los principales compuestos relacionados con la materia orgánica en aguas residuales y su relevancia en el tratamiento y gestión del agua (Ramírez, 2020).

2.2.9.1. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Descripción: La (DBO) es una medida de la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para descomponer la materia orgánica biodegradable en las aguas residuales. La DBO se utiliza como un indicador de la carga orgánica de las aguas residuales y es crucial para evaluar la necesidad de tratamiento.

Relevancia en el Tratamiento: Una alta demanda bioquímica de oxígeno (DBO)



significa una presencia significativa de materiales orgánicos biodegradables que, si no se manejan adecuadamente, pueden abrumar los sistemas de tratamiento. Reducir la DBO durante el proceso de tratamiento es crucial para mejorar la calidad del agua.

2.2.9.2. Potencial de hidrogeno (pH).

Descripción: El pH mide la acidez o alcalinidad del agua. En las aguas residuales, el pH puede variar debido a la presencia de ácidos y bases resultantes de la descomposición de materia orgánica y de los productos químicos utilizados en el hogar y la industria.

Relevancia en el Tratamiento: El pH afecta la actividad de los microorganismos en los procesos biológicos de tratamiento. Un pH fuera del rango óptimo (generalmente entre 6.5 y 8.5) puede inhibir la eficiencia del tratamiento y afectar la calidad del efluente.

2.2.9.3. Los cloruros

Descripción: Los cloruros son sales compuestas por cloro y sodio, presentes en las aguas residuales principalmente por el uso de productos de limpieza y enjuagues.

Relevancia en el Tratamiento: Aunque los cloruros en sí mismos no suelen ser tóxicos, su presencia en altas concentraciones puede afectar la calidad del agua y la operación de las plantas de tratamiento. También pueden contribuir a la salinidad del agua.



2.2.9.4. La alcalinidad del agua

Descripción: La alcalinidad del agua indica su capacidad para contrarrestar los ácidos, lo que está relacionado con la presencia de bicarbonatos, carbonatos y ocasionalmente hidróxidos en el agua.

Relevancia en el Tratamiento: La alcalinidad juega un papel crucial en el mantenimiento del equilibrio del pH dentro de los procesos de tratamiento de aguas residuales. Un grado adecuado de alcalinidad ayuda a mantener niveles de pH estables y promueve las actividades de descomposición biológica.

2.2.9.5. Nitrógeno y fósforo

Descripción: El nitrógeno y el fósforo son nutrientes esenciales en la materia orgánica, provenientes de desechos corporales, detergentes y fertilizantes.

Relevancia en el Tratamiento: Una sobreabundancia de nitrógeno y fósforo en el agua puede desencadenar la eutrofización en los ecosistemas aguas abajo, lo que resulta en una proliferación desenfrenada de algas y afecta negativamente la calidad del agua. El tratamiento adecuado de estas sustancias es crucial para evitar estos problemas ambientales.

2.2.9.6. Los compuestos del fósforo

Descripción: Los compuestos del fósforo incluyen fosfatos, que se encuentran en detergentes, fertilizantes y desechos orgánicos.

Relevancia en el tratamiento: Los fosfatos contribuyen a la eutrofización de los cuerpos de agua. El tratamiento de aguas residuales debe incluir procesos para eliminar o reducir el fósforo para proteger los ecosistemas acuáticos.



2.2.9.7. El nitrógeno

Descripción: El nitrógeno en las aguas residuales se presenta principalmente en forma de amoníaco, nitritos y nitratos. Proviene de la descomposición de proteínas y otros compuestos nitrogenados.

Relevancia en el Tratamiento: El nitrógeno puede ser tóxico en concentraciones altas y contribuir a la eutrofización. El proceso de nitrificación y desnitrificación en el tratamiento de aguas residuales convierte el amoníaco en nitratos y luego en nitrógeno gaseoso, que se libera a la atmósfera.

2.2.9.8. El azufre

Descripción: En las aguas residuales, el azufre existe principalmente como sulfuro y sulfato. Se origina a partir de la descomposición de materia orgánica y diversos subproductos industriales.

Relevancia en el Tratamiento: El sulfuro puede causar malos olores y la formación de compuestos tóxicos. El tratamiento de aguas residuales debe incluir procesos para reducir los niveles de sulfuro y sulfato, para prevenir estos problemas y mejorar la calidad del efluente.

2.2.9.9. Los sulfatos

Descripción: Los sulfatos son sales que incorporan el ion sulfato (SO_4^{2-}) y están presentes en las aguas residuales resultantes de agentes de limpieza y vertidos industriales.

Relevancia en el Tratamiento: Aunque los sulfatos no suelen ser peligrosos en bajas concentraciones, en niveles elevados pueden contribuir a la corrosión de las



infraestructuras y afectar la calidad del agua. El tratamiento debe controlar y reducir los niveles de sulfatos para mantener la calidad del efluente.

2.2.9.10. El metano

Descripción: El metano es un gas de efecto invernadero generado por la descomposición anaeróbica de materiales orgánicos que se encuentran en las aguas residuales.

Relevancia en el Tratamiento: El metano se puede recolectar y utilizar como fuente de energía en ciertos procesos de tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, su emisión a la atmósfera influye en el cambio climático, por lo que es crucial regular su producción y liberación de forma eficaz.

Contextualización con el Uso de Bofedales

El uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales puede abordar muchos de estos compuestos orgánicos a través de procesos naturales de filtración y descomposición:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Nitrógeno:** Los bofedales facilitan la descomposición de materia orgánica y la conversión de nitrógeno en formas menos dañinas.
- **pH y Alcalinidad:** Los bofedales ayudan a estabilizar el pH y la alcalinidad del agua a través de la interacción con la vegetación y los suelos.
- **Cloruros y Sulfatos:** Aunque menos eficaces en la reducción de cloruros y sulfatos, los bofedales pueden contribuir a la mejora general de la calidad del agua.

- Nitrógeno, Fósforo y Compuestos del Fósforo: Los bofedales pueden reducir los niveles de nitrógeno y fósforo mediante procesos biológicos y la absorción por la vegetación.
- Azufre y Metano: La gestión de sulfuro y metano en los bofedales requiere atención especial para evitar problemas de olor y emisiones de gases.

Comprender estos compuestos es crucial para diseñar y gestionar eficazmente sistemas de tratamiento como los bofedales, asegurando una eliminación efectiva de contaminantes y la protección de la calidad del agua y el medio ambiente.

TABLA 5

Categorización basada en las dimensiones de las partículas que se encuentran en el agua.

Sistemas Naturales de Tratamiento de Aguas Residuales			
Dependiendo de cómo se aplique el agua al suelo.		A partir de las actividades que se producen dentro del medio acuático.	
Aplicación subsuperficial	Aplicación Superficial	Sistemas	Humedales
Zanjas y lechos filtrantes	Filtros verdes	con plantas flotantes	Lagunaje natural construidos flujo superficial
Humedales construidos	Infiltración-Percolación		
Flujo subsuperficial	Filtros de arena		

Nota. Según clasificación

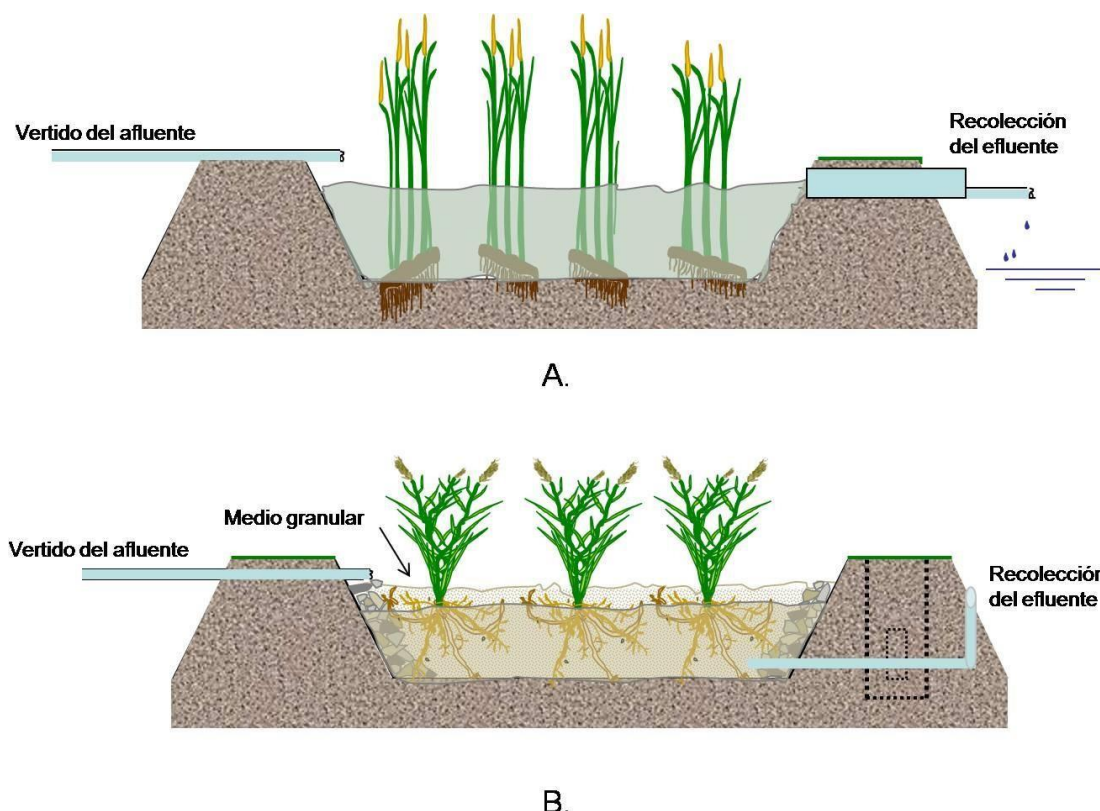
2.2.10. Bofedales construidos

Los humedales artificiales son sistemas de filtración formados por piscinas o

canales poco profundos (menos de 1 metro de profundidad) que se pueblan con vegetación típica de ambientes de humedales. Estos sistemas facilitan los procesos de purificación a través de las interacciones entre agua, sustratos sólidos, microorganismos, plantas e incluso vida silvestre. Los humedales artificiales suelen recibir el mismo nombre. Los humedales artificiales se clasifican en dos tipos: flujo superficial y flujo subterráneo, según la naturaleza de su circulación de agua.

FIGURA 1

Los tipos de humedales artificiales incluyen el A, caracterizado por un flujo superficial, y el B, que presenta un flujo subterráneo horizontal.



Nota. Tipo de humedales

2.2.11. Humedales de flujo subsuperficial

Los humedales de flujo subterráneo son instalaciones de tratamiento de



aguas residuales diseñadas que tienen como objetivo emular los procesos naturales de filtración y purificación que se encuentran en los ecosistemas de humedales. A diferencia de los humedales superficiales, donde el agua se mueve a través de la superficie del suelo, los humedales de flujo subterráneo están diseñados para dirigir el agua debajo de la superficie. Este flujo subterráneo se produce a través de un material poroso, como grava o arena, que contiene microorganismos que juegan un papel crucial en la descomposición de contaminantes.

Este humedal en particular utiliza una combinación sinérgica de procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar eficazmente una amplia gama de contaminantes que se encuentran en las aguas residuales, incluidos sólidos suspendidos, materiales orgánicos, nutrientes como nitrógeno y fósforo, así como ciertos metales pesados. El flujo subsuperficial evita la exposición del agua residual a la superficie, lo que reduce los riesgos de olores, la proliferación de insectos y la exposición a patógenos, haciendo estos sistemas más apropiados para zonas urbanas o rurales donde se necesita un tratamiento discreto y eficiente.

Desde una perspectiva ecológica y sostenible, los humedales de flujo subsuperficial son valorados por su bajo costo de operación, bajo consumo de energía y capacidad para integrarse en paisajes naturales. Este tipo de tratamiento es particularmente relevante para áreas rurales y de difícil acceso, donde la infraestructura convencional de tratamiento de aguas residuales puede ser costosa y difícil de implementar.

En áreas como la región rural de Puno, donde el tratamiento de aguas residuales es limitado, los humedales de flujo subsuperficial representan una



solución adecuada y sostenible. Estos sistemas no solo mejoran la calidad del agua que se descarga en los ecosistemas acuáticos, sino que también promueven la biodiversidad local, lo que es vital en contextos rurales que dependen de la preservación del entorno natural para el sustento de la comunidad.

2.2.12. Humedales de flujo horizontal

Los humedales de flujo horizontal son un tipo específico de sistema de humedales diseñado para el tratamiento de aguas residuales. En este tipo de humedales, el agua residual se introduce en un extremo del sistema y fluye de manera horizontal a través de un lecho de grava o arena, cubierto parcialmente por plantas acuáticas. A lo largo de su recorrido, el agua sufre diversos procesos físicos, químicos y biológicos que eliminan eficazmente los contaminantes.

La configuración de los humedales de flujo horizontal garantiza que el agua interactúe constantemente tanto con el medio de filtración como con las raíces de las plantas. Esto promueve la retención y conversión de nutrientes, la descomposición de materiales orgánicos y la disminución de patógenos. Este sistema es capaz de eliminar los sólidos suspendidos y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), al mismo tiempo que disminuye los niveles de compuestos de nitrógeno y fósforo que contribuyen a la eutrofización en las fuentes naturales de agua.

Una ventaja significativa de los humedales de flujo horizontal es que no requieren energía mecánica, lo que los hace ideales para su uso en áreas rurales o remotas donde los recursos son limitados. Además, al mantener el agua por debajo de la superficie, estos sistemas minimizan la emisión de olores y evitan la



proliferación de insectos, haciendo que sean más aceptables para las comunidades cercanas.

2.2.13. Impermeabilización

La impermeabilización es un aspecto crucial en el diseño de humedales artificiales, ya que garantiza que las aguas residuales tratadas no se filtren al suelo subyacente, previniendo la contaminación de las aguas subterráneas. En los humedales de tratamiento, la impermeabilización se realiza a través de la instalación de una barrera impermeable, que puede estar compuesta por membranas sintéticas, como geomembranas de polietileno de alta densidad (HDPE) o por capas de arcilla compactada.

Esta barrera impermeable es vital para mantener el control sobre el flujo del agua dentro del sistema de tratamiento, evitando fugas y asegurando que el agua se mueva a través del medio filtrante de manera controlada. Además, la impermeabilización protege los suelos circundantes de la contaminación por nutrientes y compuestos químicos presentes en las aguas residuales, lo que es especialmente importante en áreas rurales donde las fuentes de agua potable pueden estar en riesgo.

La durabilidad de los materiales utilizados en la impermeabilización es otro factor crítico, ya que deben soportar las variaciones de temperatura, el peso del medio filtrante y la acción de las raíces de las plantas sin degradarse. Esto asegura la funcionalidad a largo plazo del humedal y su capacidad para tratar las aguas residuales de manera eficiente y segura.



2.2.14. Vegetación

La vegetación es un componente esencial en los humedales construidos, ya que no solo contribuye al proceso de depuración del agua, sino que también mejora la estabilidad y sostenibilidad del sistema. Las plantas acuáticas, como juncos, totora, enneas y carrizos, son comúnmente utilizadas debido a su capacidad para crecer en condiciones de inundación y su adaptabilidad a suelos saturados de agua.

Las plantas en los humedales desempeñan varias funciones importantes:

Filtración física: Las raíces y los tallos de las plantas ayudan a retener los sólidos suspendidos en el agua, mejorando la clarificación.

Absorción de nutrientes: Las plantas absorben nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo, lo que ayuda a eliminar estos contaminantes que pueden provocar eutrofización en cuerpos de agua cercanos cuando están presentes en altas concentraciones.

Aporte de oxígeno: Las plantas entregan oxígeno al medio filtrante a través de sus raíces, fomentando un ambiente ideal para los microorganismos que descomponen la materia orgánica.

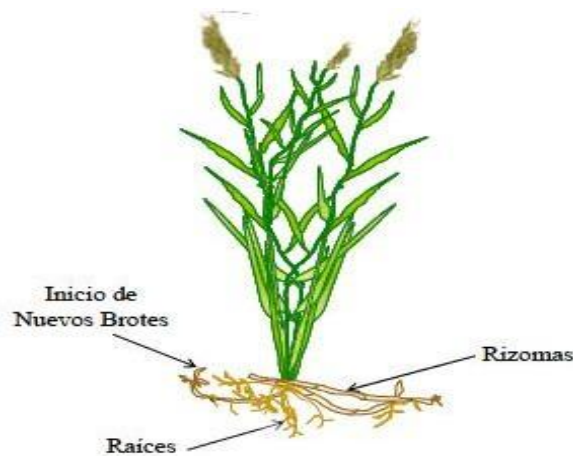
Provisión de hábitat: Las plantas también proporcionan un hábitat para una variedad de microorganismos que forman parte del proceso de tratamiento biológico.

La selección de especies vegetales adecuadas es fundamental para maximizar la eficiencia del humedal. Las especies seleccionadas deben ser nativas o adaptadas a las condiciones locales, y capaces de soportar las fluctuaciones en

el nivel del agua y las variaciones en la calidad de las aguas residuales. En el contexto de los humedales de tratamiento de aguas residuales en áreas rurales como Puno, la elección de especies vegetales autóctonas es particularmente relevante, ya que estas plantas están bien adaptadas a las condiciones climáticas y edáficas locales, lo que asegura su supervivencia y funcionalidad en el sistema de tratamiento.

FIGURA 2

Un diagrama que ilustra la estructura de la caña (Phragmites australis).



Nota. Las raíces y rizomas ofrecen un ambiente ideal para el desarrollo de biopelículas.

2.2.15. Mecanismos de eliminación de los contaminantes

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante humedales, la eliminación de contaminantes se lleva a cabo a través de una combinación de mecanismos físicos, químicos y biológicos. Los principales mecanismos incluyen:

Filtración física: El agua fluye a través del medio poroso del humedal, donde las

partículas más grandes quedan atrapadas, separándose de la corriente de agua.

Sedimentación: Las partículas suspendidas, incluyendo la materia orgánica y los sólidos inorgánicos, se asientan en el fondo del sistema debido a la acción de la gravedad.

Adsorción química: Los contaminantes como los metales pesados y los nutrientes, incluidos el nitrógeno y el fósforo, se adhieren a las partículas de los medios filtrantes o al material orgánico en descomposición.

Absorción por las plantas: Las raíces de las plantas acuáticas absorben nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, utilizándolos para su crecimiento, lo que reduce la concentración de estos contaminantes en el agua.

Degradación biológica: Los microorganismos presentes en el humedal descomponen la materia orgánica y otros compuestos contaminantes a través de procesos metabólicos, como la respiración aerobia y anaerobia, reduciendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Transformación biogeoquímica: El nitrógeno, el fósforo y otros nutrientes experimentan transformaciones químicas, como la desnitrificación o la fosforilación, que reducen su carga en el agua tratada. Estos mecanismos convierten a los humedales en una solución eficiente, ecológica y de bajo costo para la eliminación de una amplia gama de contaminantes de las aguas residuales.

2.2.16. Materia en suspensión

La materia en suspensión es un contaminante clave que se encuentra en las aguas residuales y abarca partículas sólidas que permanecen sin disolver en el



agua. Esta categoría incluye una variedad de sustancias como tierra, arena, restos de plantas, microorganismos y fragmentos tanto orgánicos como inorgánicos. En los ecosistemas de humedales, los principales mecanismos para la eliminación de partículas en suspensión son la filtración y la sedimentación.

Cuando el agua fluye a través del medio poroso, como la grava o arena, las partículas más grandes y pesadas son retenidas y se asientan en el lecho del humedal. A medida que el agua pasa por las raíces y tallos de las plantas, las partículas más pequeñas se quedan atrapadas en la biomasa vegetal. Este proceso no solo reduce la turbidez del agua, sino que también previene la acumulación de sedimentos en los cuerpos de agua receptores.

En los humedales de flujo horizontal y subsuperficial, la vegetación y el medio filtrante desempeñan un papel crucial al atrapar la materia en suspensión, permitiendo que el agua se clarifique a lo largo de su trayecto por el sistema. De este modo, los humedales actúan como filtros naturales que mejoran la calidad del agua, protegiendo ecosistemas acuáticos cercanos de la contaminación por sólidos suspendidos.

2.2.17. Materia orgánica

La materia orgánica de las aguas residuales se compone de diversas sustancias, incluidos restos de comida, desechos de humanos y animales y diversos subproductos metabólicos. Esta sustancia es altamente biodegradable, lo que indica que los microorganismos en los sistemas de tratamiento pueden descomponerla efectivamente. En ambientes de humedales, la eliminación de material orgánico se produce a través de diversos mecanismos biológicos,



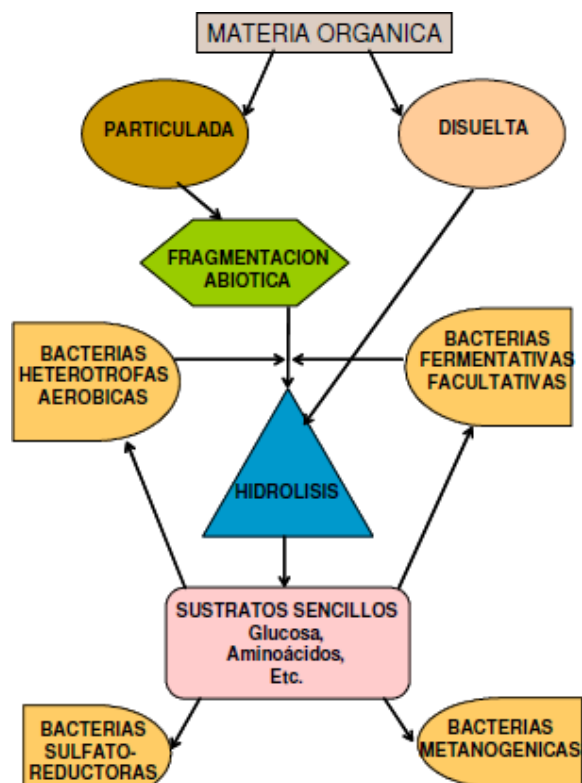
impulsados principalmente por bacterias y otros microorganismos que se encuentran en el suelo y en los sistemas de raíces de las plantas.

La eliminación de material orgánico en los humedales se basa en la degradación biológica, durante la cual microorganismos aeróbicos y anaeróbicos descomponen compuestos orgánicos complejos en formas más simples, incluidos dióxido de carbono, agua, metano y varios otros gases. Las plantas juegan un papel importante al liberar oxígeno a través de sus raíces, lo que crea microambientes aeróbicos dentro del medio poroso y favorece la actividad de los microorganismos descomponedores.

Además, la materia orgánica también puede ser adsorbida por el medio filtrante o convertirse en parte de la biomasa vegetal. Al reducir la carga de materia orgánica en el agua tratada, los humedales contribuyen a disminuir la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), un indicador clave de la contaminación orgánica en las aguas residuales. Este proceso es fundamental en la protección de los cuerpos de agua receptores, ya que previene la eutrofización y la degradación de los ecosistemas acuáticos.

FIGURA 3

Un resumen abreviado de los procesos relacionados con la descomposición de material orgánico en ambientes de humedales.



Nota. Según esquema

2.2.18. Nitrógeno

El nitrógeno es uno de los principales contaminantes en las aguas residuales, proveniente de diversas fuentes como los desechos humanos, fertilizantes, y productos de limpieza. En las aguas residuales, el nitrógeno aparece en varias formas, incluyendo amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-), y compuestos orgánicos nitrogenados. Si no se elimina adecuadamente, el nitrógeno puede causar graves problemas ambientales, como la eutrofización en cuerpos de agua, que reduce el oxígeno disuelto y afecta negativamente a la vida acuática.

En los humedales, el nitrógeno es eliminado principalmente mediante



procesos biológicos como la nitrificación y la desnitrificación. La nitrificación es un proceso aeróbico en el que las bacterias convierten el amonio en nitratos, mientras que la desnitrificación es un proceso anaeróbico que transforma los nitratos en gas nitrógeno, que se libera a la atmósfera. Las plantas también juegan un papel importante al absorber nitrógeno para su crecimiento.

2.2.19. Fósforo

El fósforo es otro contaminante crítico en las aguas residuales, principalmente presente en detergentes, productos de limpieza, y desechos orgánicos. Al igual que el nitrógeno, el exceso de fósforo puede desencadenar la eutrofización en cuerpos de agua, provocando el crecimiento descontrolado de algas y la degradación del ecosistema acuático.

En los sistemas de humedales, el fósforo es removido a través de procesos de adsorción al medio filtrante, como la grava o el suelo, y por precipitación química, que forma compuestos insolubles de fosfato. Las plantas acuáticas también absorben una parte del fósforo, aunque la capacidad de absorción es limitada en comparación con otros mecanismos. La elección de medios filtrantes con alta capacidad de adsorción es crucial para la eliminación eficiente del fósforo.

2.2.20. Patógenos

Patógenos como bacterias, virus, protozoos y helmintos son microorganismos que se encuentran en las aguas residuales y que tienen el potencial de inducir enfermedades tanto en humanos como en animales. La eliminación de estos patógenos es un enfoque clave en el tratamiento de aguas residuales para salvaguardar la salud pública.

En los humedales, la reducción de patógenos ocurre principalmente a través de procesos de sedimentación, filtración y la acción de la luz solar, que puede inactivar bacterias y virus. Además, los humedales proporcionan un entorno en el que los microorganismos competitivos y depredadores reducen la cantidad de patógenos. La retención prolongada del agua dentro del sistema de humedales permite una mayor exposición a estos mecanismos, lo que aumenta la eliminación de patógenos.

2.2.21. Otros contaminantes

Además de nutrientes y patógenos, las aguas residuales también pueden albergar una variedad de contaminantes adicionales, incluidos metales pesados, productos químicos industriales, detergentes y aceites y grasas. Estos contaminantes plantean riesgos y pueden ser perjudiciales tanto para los sistemas ecológicos como para el bienestar humano.

En los humedales, muchos de estos contaminantes pueden ser removidos a través de la adsorción al medio filtrante, la degradación biológica por microorganismos, o la precipitación química. Sin embargo, algunos contaminantes, como los metales pesados, pueden acumularse en el suelo o en las plantas, por lo que es importante monitorear y gestionar estos sistemas para evitar la saturación de contaminantes.

2.2.22. Especificaciones técnicas para el diseño de tanques sépticos

El diseño de fosas sépticas juega un papel crucial en el tratamiento eficaz de las aguas residuales antes de su liberación al medio ambiente. Los requisitos técnicos abarcan varios elementos cruciales que deben tenerse en cuenta:.



Tamaño del tanque: El tamaño del tanque séptico debe calcularse en función del número de usuarios y el volumen de aguas residuales generadas. Generalmente, se recomienda un tanque con una capacidad mínima de 2,000 litros para una familia promedio de 4 a 5 personas, aumentando según sea necesario para más usuarios.

Tiempo de retención: El diseño debe permitir un tiempo de retención mínimo de 24 a 48 horas, lo que es necesario para permitir la sedimentación de sólidos y la degradación anaeróbica de la materia orgánica.

Compartimentos: Los tanques sépticos deben tener al menos dos compartimentos. El primer compartimento es más grande y se utiliza para la sedimentación de sólidos, mientras que el segundo facilita la salida de líquidos tratados.

Ventilación: Los tanques deben estar equipados con un sistema de ventilación para liberar los gases generados por la descomposición anaeróbica, como el metano y el sulfuro de hidrógeno, que podrían ser peligrosos si se acumulan.

Ubicación y distancia: El tanque séptico debe instalarse a una distancia mínima de 30 metros de cualquier fuente de agua potable y a una profundidad adecuada para evitar infiltraciones a las aguas subterráneas.

Accesibilidad: Es crucial que el tanque séptico sea accesible para el mantenimiento regular, incluyendo la remoción de lodos y sólidos acumulados, que deben ser retirados cada 2 a 3 años dependiendo del uso.

Materiales de construcción: Los tanques sépticos pueden ser construidos con concreto, fibra de vidrio o plástico de alta resistencia. El material debe ser resistente a la corrosión y tener una vida útil prolongada para soportar las condiciones de



trabajo a largo plazo.

Estas especificaciones garantizan que los tanques sépticos funcionen de manera efectiva, reduciendo la carga de contaminantes en el ambiente y mejorando la salud pública en las áreas donde se utilizan.

Un tanque séptico sirve como solución de tratamiento de aguas residuales para una sola residencia o para varias casas conectadas, promoviendo la separación y descomposición de los desechos sólidos. Las aguas residuales se eliminan mediante infiltración terrestre, mientras que los sólidos que se depositan en el fondo del tanque se eliminan periódicamente, ya sea de forma manual o mediante equipos mecánicos. (OMS, 2003)

Se permitirán tanques sépticos en áreas rurales, urbanas y periurbanas que carezcan de acceso a un sistema de alcantarillado o donde el costo de establecer dicha conexión sea prohibitivamente alto. En consecuencia, se permitirá su aplicación como unidad de tratamiento para sistemas de alcantarillado de menor diámetro.

Los tanques sépticos, junto con sus sistemas de infiltración asociados, deben poseer espacio adecuado para soportar diversos métodos de infiltración y son adecuados para comunidades pequeñas con poblaciones de 1000, 2000 y 3000 residentes.

En nuestro proyecto, la distancia mínima desde el tanque séptico a la casa o cualquier otra estructura debe ser de al menos 2,0 metros. Los tanques sépticos no deben construirse en lugares pantanosos o áreas propensas a inundaciones.

Los efluentes de fosas sépticas sólo deben verterse en aguas superficiales



si las investigaciones sobre la masa de agua receptora respaldan dicha acción. El intervalo de limpieza de fosas sépticas debe ser de dos a cinco años como mínimo. (Organización Mundial de la Salud, 2003).

Se prohibirá la instalación simultánea de fosas sépticas. Todo tanque séptico debe estar situado aguas abajo de cualquier pozo o manantial destinado al consumo humano. Además, los tanques sépticos deben ser fácilmente accesibles para vehículos grandes para mantenimiento y servicio de rutina.

Si los residuos domésticos incluyen residuos triturados de cocina y aguas residuales de múltiples ciclos de lavadoras, es fundamental aumentar el área de infiltración en un 20% para cada tipo de vertido.

El pozo de remojo debe estar situado al menos a 5,0 metros de distancia de cualquier árbol. Cuando se disponen varios pozos de infiltración en paralelo, es crucial implementar una o más cajas de distribución de flujo. (OMS, 2019).

La distribución a cada pozo se puede lograr mediante la adición de medias cañas a la losa de base, el uso de vertederos de distribución de flujo o cualquier otra técnica apropiadamente justificada ubicada más allá de la pantalla de atenuación.

El área de absorción efectiva del pozo se refiere específicamente a la superficie curva del cilindro, excluyendo la zona de la base o fondo. La medición tendrá en cuenta el diámetro exterior del pozo. El área efectiva del campo de infiltración se calculará dividiendo el caudal diario por la tasa de infiltración. (Organización Mundial de la Salud, 2003).

La profundidad efectiva del pozo de absorción se puede evaluar



contrastando el área funcional del campo de infiltración con el área de la superficie lateral del cilindro. La altura de infiltración se determinará midiendo la distancia desde el punto de salida de la tubería de descarga hasta el fondo del pozo. (Organización Mundial de la Salud, 2003).

Se requiere que cada pozo de absorción alcance al menos 2,0 metros de profundidad en la capa filtrante del suelo, asegurando que el fondo del pozo esté ubicado al menos a 2,0 metros sobre el nivel freático. Para cubrir la base del pozo se requiere una capa de grava de 0,15 metros de espesor, de las mismas características que el material que rellena el espacio entre la pared y el suelo natural. La losa de techo del pozo de absorción contará con una tapa de inspección de 0,60 metros de diámetro o, alternativamente, una abertura cuadrada de 0,60 por lado también.

Para un dimensionamiento efectivo, es esencial evaluar varios escenarios relacionados con caudales y concentraciones, y verificar que se cumplan los valores límite de descarga especificados para la superficie de diseño calculada mediante la ecuación 6.

Es ampliamente reconocido que una superficie de diseño se considera precisa cuando el 95% de las concentraciones de contaminantes en el efluente caen por debajo del límite de descarga establecido.

Después de identificar la superficie de tratamiento, se realiza una evaluación final para asegurar que la carga orgánica en la superficie no supera los 6 g DBO/m²-día. Si el valor resultante supera este umbral, se debe ampliar la superficie requerida para satisfacer este criterio.

Una característica clave de los humedales artificiales de flujo subterráneo es su mínima sensibilidad a las fluctuaciones de temperatura cuando se trata de la eliminación de DBO. Las investigaciones indican que la eficiencia de los humedales para eliminar la DBO se mantiene constante a lo largo de las estaciones, sin mostrar mejoras significativas en verano ni disminución en invierno. En consecuencia, esta discusión no recomienda ajustar los valores de las constantes cinéticas de primer orden para la temperatura con base en la ecuación de Arrhenius. Normalmente, los ajustes se incorporan al dimensionamiento de los sistemas tradicionales.

En la práctica, al diseñar un humedal de flujo horizontal para la eliminación de nitrógeno, es importante considerar que su eficiencia puede disminuir en un 30% durante los meses de invierno debido al impacto de la temperatura en las tasas de eliminación de nitrógeno.

2.2.23. Evaluación de impactos ambientales

La evaluación de impactos ambientales (EIA) es un proceso fundamental para identificar, prever y mitigar los efectos adversos que diversas actividades humanas, especialmente proyectos de infraestructura y desarrollo, pueden tener sobre el medio ambiente. Este proceso facilita la incorporación de factores ambientales en la planificación y la toma de decisiones, promoviendo actividades humanas sostenibles que minimicen su impacto en los ecosistemas, los recursos naturales y las comunidades.

A nivel global, la EIA ha ganado relevancia debido a la creciente conciencia sobre los efectos negativos que proyectos como la minería, la construcción de carreteras, represas, o plantas industriales pueden tener sobre el entorno. La



finalidad de este proceso es minimizar los daños a la biodiversidad, la calidad del agua y del aire, y evitar la degradación de suelos, además de proteger la salud humana y los medios de vida locales. Al implementar este mecanismo de control ambiental, los gobiernos y las empresas pueden identificar medidas correctivas y adoptar tecnologías más limpias y eficientes.

En el contexto de poblaciones rurales, como es el caso del departamento de Puno, en Perú, la EIA adquiere una dimensión crítica. Muchas comunidades rurales dependen directamente de los recursos naturales para su sustento, lo que hace que los impactos sobre el suelo, el agua, y la biodiversidad sean especialmente sensibles. Además, los ecosistemas frágiles, como los bofedales, juegan un papel vital en la regulación del agua, la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático, por lo que cualquier intervención en su entorno debe ser evaluada rigurosamente para evitar su degradación.

En este sentido, la evaluación del impacto ambiental es esencial para proyectos de tratamiento de aguas residuales, donde la alteración del curso natural del agua, la descarga de efluentes o la implementación de infraestructuras de tratamiento deben ser cuidadosamente analizadas para asegurar que los beneficios de dichas intervenciones no generen consecuencias negativas en los ecosistemas y las comunidades locales.

2.2.23.1. Aspectos conceptuales

Debe examinarse exhaustivamente el alcance del cambio ambiental que tiene importancia para la humanidad en su conjunto, así como para naciones y comunidades específicas. Esto incluye la evaluación de elementos naturales como

el suelo, la vida vegetal y la vida silvestre, junto con diversas formas de contaminación que afectan el aire, el agua, el suelo y los desechos. También abarca el valor de los paisajes, los cambios en los comportamientos humanos y los efectos en la salud pública. Las actividades humanas pueden influir significativamente en los componentes bióticos y abióticos del medio ambiente, impactando varios factores en diversos grados.

2.2.23.2. Evaluación del Impacto Ambiental (EIA)

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta clave utilizada para analizar y prever los efectos ambientales que pueden derivarse de la implementación de proyectos o actividades humanas. El objetivo principal de la EIA es garantizar que las decisiones sobre la planificación y ejecución de proyectos se tomen considerando las posibles alteraciones en el entorno natural, social y económico. Este proceso promueve el desarrollo sostenible al minimizar los impactos negativos sobre los ecosistemas, las comunidades locales y los recursos naturales, mientras maximiza los beneficios ambientales y sociales.

La EIA es obligatoria en muchos países para proyectos que pueden tener repercusiones ambientales significativas, como actividades extractivas, construcción de infraestructuras, y el tratamiento de residuos. Su importancia radica en la capacidad de anticipar problemas antes de que ocurran y de diseñar medidas de mitigación que permitan minimizar los daños.

2.2.23.3. Definición de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA)

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un enfoque sistemático y procesal diseñado para identificar, pronosticar, analizar y transmitir los efectos

potenciales que un proyecto, obra o actividad propuesta podría ejercer sobre el medio ambiente, abarcando aspectos biológicos, sociales y económicos. La EIA no solo incluye la identificación de impactos negativos, sino también los beneficios que una acción puede generar.

Una definición clave de la EIA es que se trata de un proceso preventivo, es decir, se realiza antes de que un proyecto sea ejecutado, permitiendo la incorporación de medidas correctivas o alternativas al diseño original para reducir o eliminar los efectos adversos.

2.2.23.4. Estudio de Impacto Ambiental (EIA)

El Estudio de Impacto Ambiental (EIA) es el documento técnico donde se recoge toda la información derivada del proceso de evaluación de impacto ambiental. Este estudio describe detalladamente el proyecto propuesto, los posibles impactos ambientales, las medidas de mitigación recomendadas, y los resultados esperados de la implementación del proyecto. Un EIA bien estructurado debe contener:

Descripción del proyecto: Incluye los objetivos, las actividades planificadas y las tecnologías a utilizar.

Descripción del entorno: Presenta un diagnóstico del área donde se llevará a cabo el proyecto, analizando factores como la biodiversidad, el agua, el suelo, el clima y la demografía.

Identificación y análisis de los impactos: Se evalúan los efectos que el proyecto puede tener sobre el entorno natural y humano.



Propuesta de medidas de mitigación: Las acciones recomendadas tienen como objetivo prevenir, minimizar o compensar los efectos adversos.

Plan de seguimiento y monitoreo: Describe los métodos para supervisar la aplicación de medidas de mitigación y rastrear los cambios en los impactos a lo largo del tiempo.

El Estudio de Impacto Ambiental es revisado por las autoridades competentes, que decidirán si el proyecto puede ser aprobado, rechazado o modificado.

2.2.23.5. Proceso de la evaluación del impacto ambiental

El proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) sigue varias etapas esenciales para asegurar una evaluación integral y detallada de los posibles impactos de un proyecto. Las principales fases del proceso son:

Determinación del alcance: Se define qué componentes ambientales, sociales y económicos serán evaluados. En esta etapa, se determina si el proyecto necesita someterse a una EIA y cuáles son los aspectos clave que deben ser considerados.

Análisis de línea base: Se realiza un estudio detallado de la situación ambiental existente antes de la implementación del proyecto. Esto incluye la recopilación de datos sobre la calidad del aire, del agua, la biodiversidad, la salud pública y los medios de vida de las comunidades locales.

Identificación y evaluación de los impactos: Se examinan las posibles implicaciones ambientales del proyecto. Los efectos pueden ser directos, como cambios en la composición del suelo o la contaminación del agua, o indirectos,

afectando aspectos como la biodiversidad o el bienestar de la comunidad.

Diseño de medidas de mitigación: En función de los impactos identificados, se proponen medidas específicas para minimizar, mitigar o compensar los efectos adversos. Estas medidas deben ser técnicamente viables y económicamente factibles.

Consultas públicas: Se involucra a las comunidades locales y otros actores interesados para obtener sus opiniones y preocupaciones sobre el proyecto y sus impactos potenciales. Este paso es crucial para asegurar que la EIA sea participativa y socialmente inclusiva.

Presentación del Estudio de Impacto Ambiental: Una vez completado, el estudio se somete a revisión por parte de las autoridades ambientales. Este proceso puede incluir revisiones técnicas y nuevas consultas.

Decisión y seguimiento: Basándose en el EIA, las autoridades decidirán si el proyecto puede proceder y bajo qué condiciones. Si es aprobado, se implementarán las medidas de mitigación y se llevará a cabo un seguimiento continuo para asegurar que se están logrando los resultados previstos y que los impactos negativos se mantienen bajo control.

En resumen, la EIA es una herramienta poderosa para promover un desarrollo sostenible, ayudando a equilibrar el crecimiento económico con la conservación ambiental y el bienestar social.

- **Definición del proceso del EIA**

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento sistemático

diseñado para identificar, predecir, valorar y mitigar los efectos ambientales, sociales y económicos potenciales de un proyecto o actividad antes de su ejecución. Este proceso asegura que las decisiones se tomen considerando no solo los beneficios económicos, sino también los efectos sobre el medio ambiente y las comunidades. El objetivo principal de la EIA es prevenir o reducir al mínimo los impactos negativos sobre el entorno, al tiempo que se optimizan los impactos positivos, permitiendo una planificación sostenible.

El proceso de EIA es de carácter preventivo, lo que implica que se realiza antes de iniciar el proyecto, permitiendo que se propongan alternativas o modificaciones en el diseño del mismo. Este enfoque proactivo es clave para evitar la degradación ambiental, proteger la biodiversidad y garantizar que las actividades humanas no comprometan los recursos naturales de futuras generaciones.

- **Estructura conceptual del Proceso de EIA**

El proceso de Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) sigue una estructura conceptual organizada en varias fases clave, cada una diseñada para cumplir con un propósito específico. Estas fases aseguran que se aborden todos los aspectos relevantes para la protección del medio ambiente y el bienestar social. A continuación, se describe la estructura conceptual:

Determinación de la necesidad de la EIA:

Esta fase inicial consiste en decidir si un proyecto o actividad requiere una evaluación formal. Generalmente, los proyectos con potencial de generar impactos significativos, como grandes infraestructuras, minería, o plantas

industriales, son los más propensos a ser sometidos a una EIA. Las regulaciones de cada país determinan qué proyectos deben realizar este proceso.

Alcance de la EIA (Scoping):

Se establece el alcance del estudio de impacto ambiental, identificando los aspectos clave que deben ser evaluados y los componentes del entorno que serán más afectados. Esta fase define los temas y áreas específicas de investigación, los límites geográficos y temporales del estudio, y los métodos que se utilizarán para la recopilación de datos. También incluye la identificación de los actores interesados (comunidades locales, organismos públicos, expertos, etc.) que deben ser consultados.

Estudio de la Línea Base Ambiental:

Durante esta etapa, se recopilan datos completos sobre el entorno existente donde se pretende que tome forma el proyecto. Esto abarca información sobre la calidad del aire, el agua y el suelo, la biodiversidad y los ecosistemas, junto con los factores sociales y económicos que afectan a las comunidades locales. El propósito es crear una imagen clara del estado del medio ambiente antes del inicio del proyecto, que servirá de referencia para evaluar los impactos futuros.

Identificación y Evaluación de los Impactos:

En esta sección, se examinan y evalúan los efectos potenciales del proyecto, tanto beneficiosos como adversos, en períodos de corto, mediano y largo plazo. Los impactos pueden manifestarse en formas directas, como la

deforestación o la contaminación del agua, o en formas indirectas, como cambios en los ecosistemas o la disminución de los medios de vida. Cada impacto se evalúa en función de su fuerza, duración, potencial de reversión y probabilidad de ocurrencia.

Desarrollo de Medidas de Mitigación:

Después de identificar los efectos, se formulan estrategias para evitar, reducir o mitigar las consecuencias adversas. Las estrategias de mitigación deben ser personalizadas, prácticas y efectivas. Esto podría implicar alterar el diseño del proyecto, adoptar tecnologías más limpias, participar en la reforestación y el tratamiento de aguas residuales, entre otras estrategias.

Preparación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA):

Los resultados de las fases anteriores se reúnen en un documento completo denominado Estudio de Impacto Ambiental. Este informe describe los resultados de la evaluación, abarcando la descripción general del proyecto, la línea de base ambiental, los impactos reconocidos, las estrategias de mitigación sugeridas y un plan integral de seguimiento y monitoreo. El estudio debe estar disponible para su examen tanto por las autoridades pertinentes como por el público.

Revisión y Decisión:

Una vez presentado el Estudio de Impacto Ambiental, las autoridades revisan el informe para asegurarse de que cumple con los requisitos legales y técnicos. En esta fase, también se pueden llevar a cabo audiencias públicas o consultas con los actores interesados. La decisión final puede ser



la aprobación del proyecto (con o sin condiciones), su rechazo o la solicitud de modificaciones adicionales.

Implementación y Seguimiento:

Si el proyecto es aprobado, se implementan las medidas de mitigación según lo propuesto en el EIA. Es crucial que se realice un seguimiento continuo de los impactos y de la efectividad de las medidas de mitigación. El seguimiento permite ajustar las estrategias en caso de que los impactos sean mayores de lo esperado o surjan nuevos problemas no previstos.

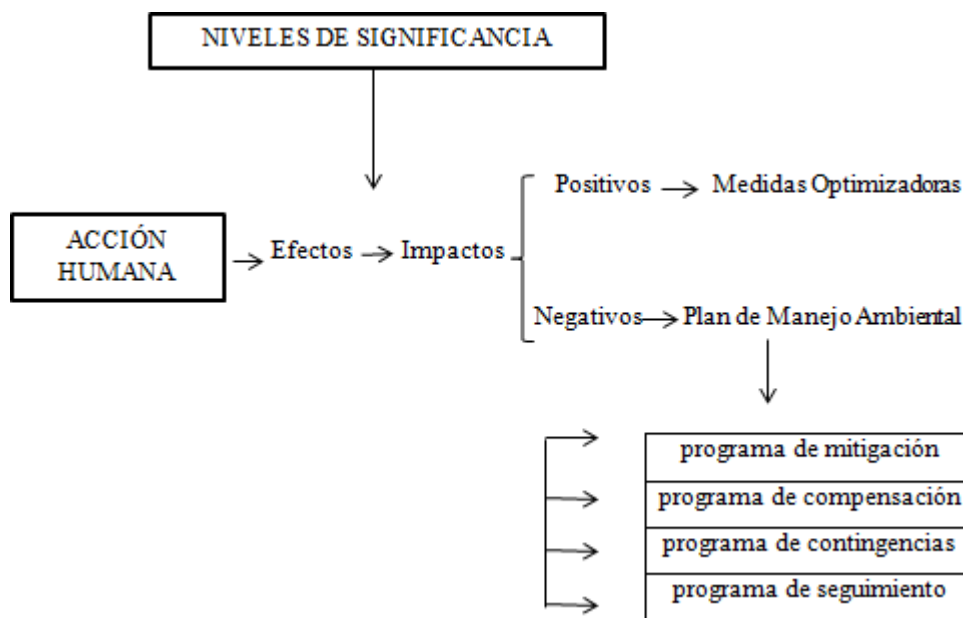
Auditoría y Evaluación Post-Proyecto:

En algunos casos, se lleva a cabo una auditoría después de la implementación del proyecto para evaluar si los impactos han sido gestionados adecuadamente y si las medidas de mitigación han sido efectivas. Esta fase también ayuda a mejorar futuros procesos de evaluación ambiental, basándose en las lecciones aprendidas.

En conjunto, esta estructura conceptual permite que el proceso de EIA sea completo y riguroso, asegurando la protección del medio ambiente y promoviendo un desarrollo más equilibrado y sostenible.

FIGURA 4

Estructura conceptual del Proceso de EIA



Nota. Esquema EIA

- **Objetivo del proceso de EIA**

El objetivo principal del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es reconocer, pronosticar y mitigar los posibles efectos ambientales que un proyecto o actividad podría generar antes de su implementación. El propósito es asegurar que las decisiones de desarrollo tomen en cuenta no solo los beneficios económicos y sociales, sino también los posibles efectos negativos sobre el medio ambiente. A través del proceso de EIA, se busca evitar la degradación ambiental, promover la sostenibilidad y garantizar la conservación de los recursos naturales para las generaciones futuras. Además, fomenta la participación de las partes interesadas y facilita la toma de decisiones informadas y transparentes.

El proceso de EIA ayuda a:



- Prevenir los impactos adversos sobre el medio ambiente y la salud humana.
- Mitigar los efectos negativos mediante la adopción de medidas correctivas y tecnológicas.
- Optimizar los beneficios sociales y ambientales de un proyecto.
- Promover un desarrollo sostenible y responsable.
- Facilitar la participación pública y la transparencia en el proceso de decisión.

2.2.23.6. Esquema general del proceso de la EIA

El proceso de Evaluación de Impacto Ambiental se estructura en múltiples fases, que facilitan un examen exhaustivo de las posibles consecuencias ambientales de un proyecto. Las etapas clave se describen a continuación:

1. Determinación de la necesidad de la EIA: En esta etapa inicial, se decide si el proyecto propuesto requiere una evaluación de impacto ambiental formal, según la normativa legal aplicable. No todos los proyectos necesitan una EIA; generalmente, solo aquellos con potencial para generar impactos significativos.
2. Definición del alcance (Scoping): Se establece el alcance y los límites del estudio, identificando los impactos clave que deben ser analizados y las áreas afectadas. También se determina qué actores clave deben ser consultados y qué métodos se usarán para la recopilación de información.
3. Evaluación de línea de base ambiental: esta fase implica la recopilación de datos completos sobre las condiciones existentes del sitio donde se llevará



- a cabo el proyecto. Estos datos actuarán como punto de referencia para evaluar las condiciones tanto antes como después de la implementación del proyecto.
4. **Identificación y evaluación de los impactos:** Aquí se identifican los impactos ambientales potenciales del proyecto, tanto directos como indirectos. Los impactos se clasifican según su magnitud, duración, extensión geográfica y reversibilidad. Esta fase permite prever cómo el proyecto afectará al medio ambiente y a las comunidades locales.
 5. **Formulación de estrategias de mitigación:** después de reconocer los impactos, se elaboran estrategias para evitar o reducir las consecuencias adversas. Las estrategias de mitigación podrían implicar modificaciones en el diseño del proyecto, la adopción de tecnologías más respetuosas con el medio ambiente o iniciativas destinadas a la restauración.
 6. **Preparación del Estudio de Impacto Ambiental (EIA):** Los resultados de las fases anteriores se integran en un documento formal que describe el proyecto, los impactos identificados y las medidas de mitigación propuestas. Este informe es revisado por las autoridades competentes y las partes interesadas.
 7. **Revisión y aprobación:** Las autoridades revisan el Estudio de Impacto Ambiental para asegurarse de que cumple con los requisitos legales y técnicos. En esta etapa, también pueden realizarse audiencias públicas o consultas con las comunidades afectadas. La decisión final puede ser la aprobación, rechazo o modificación del proyecto.

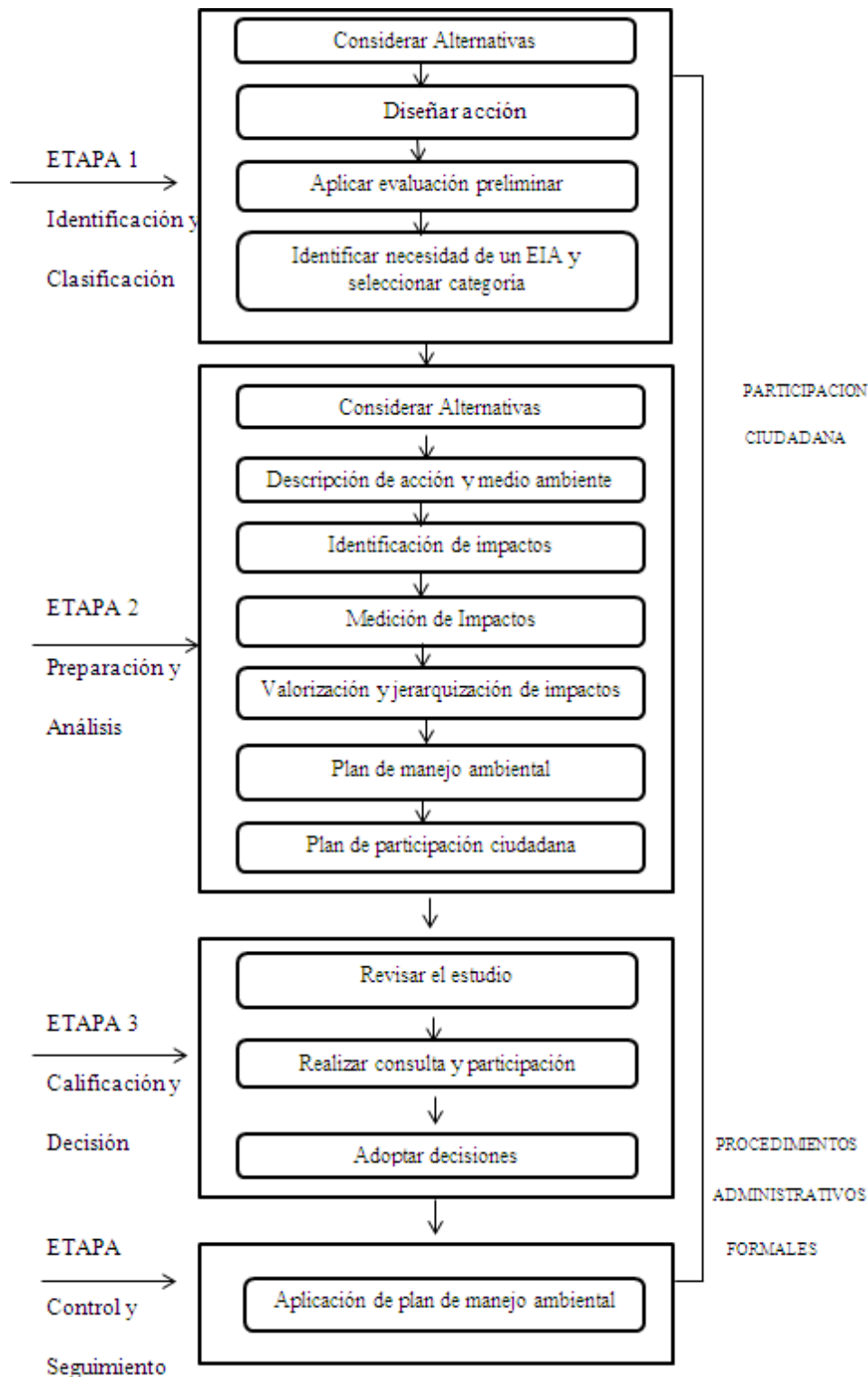


8. Implementación y monitoreo: Una vez aprobado el proyecto, las medidas de mitigación deben implementarse. Se lleva a cabo un seguimiento continuo para asegurar que los impactos sean gestionados adecuadamente y que las medidas sean efectivas.
9. Auditoría post-proyecto: En algunos casos, se realiza una auditoría después de la ejecución del proyecto para evaluar si las medidas de mitigación funcionaron y si se cumplieron los objetivos del EIA.

Este esquema asegura que el proceso de EIA sea exhaustivo, transparente y capaz de promover un desarrollo económico equilibrado con la protección del medio ambiente.

FIGURA 5

Marco de los Procedimientos de EIA



Nota. Gestión y Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental



La Figura 5, ilustra el marco conceptual de cómo se implementaría en la práctica un proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA). Este diagrama resalta los aspectos esenciales para el funcionamiento del sistema, los cuales se pueden categorizar de la siguiente manera: i) identificación y clasificación, ii) preparación y análisis, iii) calificación y toma de decisiones, y iv) seguimiento y control. En conjunto, abarcan las diversas necesidades de las diferentes partes interesadas involucradas (Glasson et al., 2012).



CAPÍTULO III

METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de la investigación

El estudio es de enfoque cualitativo. Este enfoque se caracteriza por su interés en comprender fenómenos complejos desde una perspectiva holística, centrada en los significados, experiencias y procesos subjetivos de los participantes. La investigación cualitativa busca explorar en profundidad la naturaleza de los fenómenos, en lugar de medir variables cuantificables. Se enfoca en la recolección y el análisis de datos no numéricos, como entrevistas, grupos focales y observaciones, para generar una comprensión más rica y detallada de los fenómenos estudiados.

3.2. Métodos aplicados a la investigación

El método utilizado es interpretativo. Este enfoque se centra en la interpretación de los significados y las experiencias de los sujetos en su contexto social, cultural y temporal. El investigador interpretativo no solo busca describir lo que ocurre, sino entender las perspectivas y realidades de los participantes. Este método es particularmente útil en estudios que exploran comportamientos humanos,



creencias y percepciones, permitiendo que el investigador descubra cómo los individuos perciben su mundo y las interacciones sociales dentro de él.

3.3. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo básica. La investigación básica tiene como objetivo generar conocimiento fundamental que amplíe la comprensión de un tema, sin buscar aplicaciones inmediatas o prácticas. Se enfoca en el desarrollo de teorías y principios generales que puedan contribuir al conocimiento científico en una disciplina, sin una intención directa de resolver un problema práctico o comercial. Su propósito es generar conocimiento que pueda ser utilizado como base para investigaciones futuras.

3.4. Nivel de investigación

La investigación utilizada es de alcance exploratorio. El alcance exploratorio se aplica cuando el tema de investigación es poco conocido o aún no se ha estudiado en profundidad. El propósito es obtener una visión general del problema y explorar las variables involucradas, lo que permite identificar patrones y establecer una base para investigaciones más detalladas. Este nivel de investigación permite descubrir nuevas dimensiones de un fenómeno o área de estudio y formular hipótesis que puedan ser analizadas en investigaciones posteriores.

3.5 Diseño de investigación

Tiene un diseño no experimental. Un diseño no experimental se caracteriza por la ausencia de manipulación o control de variables independientes por parte del investigador. En este tipo de diseño, el investigador observa los fenómenos tal como ocurren de manera natural, sin intervenir en ellos. Los diseños no



experimentales son apropiados para estudios en los que no es posible manipular las variables, y se utilizan frecuentemente para investigaciones descriptivas o correlacionales donde el objetivo es comprender las relaciones entre variables sin buscar establecer causalidad directa.

3.6. Población

La población objeto de estudio son las poblaciones rurales de la región de Puno, en el sur del Perú, especialmente aquellas que enfrentan problemas en la gestión de aguas residuales debido a la falta de infraestructura adecuada. Las comunidades rurales suelen tener acceso limitado a servicios de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, lo que provoca la acumulación de contaminantes en los cuerpos de agua cercanos. El uso de bofedales, ecosistemas naturales de humedales, se está evaluando como una opción de tratamiento para las aguas residuales domésticas en estas poblaciones.

Las poblaciones de interés son aquellas que habitan en las zonas rurales de Puno y que tienen acceso a bofedales o que están siendo beneficiadas por iniciativas de tratamiento natural de aguas residuales mediante este sistema. La población incluye tanto a los habitantes de estas comunidades como a las autoridades locales, que juegan un papel crucial en la implementación y el monitoreo de estos sistemas.

3.7. Muestra

La muestra está compuesta por un conjunto representativo de comunidades rurales de la región de Puno, que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales basados en bofedales. Para la selección de la muestra se tomará en cuenta lo siguiente:

Localización geográfica de las comunidades (preferentemente aquellas cercanas a



bofedales naturales o que hayan implementado sistemas similares).

Tamaño de la población y la cantidad de personas beneficiadas por estos sistemas de tratamiento.

Diversidad en la topografía y características de los bofedales (como la altitud y el tipo de vegetación) que puedan influir en la eficacia del tratamiento.

La muestra se seleccionará de forma intencional, eligiendo comunidades representativas de diferentes condiciones y necesidades en cuanto al tratamiento de aguas residuales. Aproximadamente, se elegirán de 3 a 5 comunidades rurales para tener una muestra lo suficientemente variada y significativa para el estudio.

3.8. Validación de Instrumentos:

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos serán validados a través de los siguientes métodos:

Validación de contenido: Los instrumentos de recolección de datos (encuestas, entrevistas, y cuestionarios) serán revisados por expertos en el campo del tratamiento de aguas residuales y la gestión ambiental. Esto asegurará que las preguntas sean claras, relevantes y que estén alineadas con los objetivos de la investigación.

3.9. Validación de Datos:

La validación de los datos se llevará a cabo mediante los siguientes pasos:

Triangulación de datos: Para garantizar la validez de los datos, se utilizará la triangulación, que consiste en comparar los resultados obtenidos mediante diferentes fuentes de información (entrevistas con habitantes de las comunidades, observación directa en los bofedales, registros documentales y análisis de muestras de agua).

Análisis de consistencia: Se realizarán análisis estadísticos para verificar la



consistencia y la confiabilidad de los datos obtenidos en las encuestas y entrevistas. Esto incluye la verificación de la precisión de las respuestas y la correlación entre las diferentes variables relacionadas con el tratamiento de aguas residuales y el impacto ambiental.

Seguimiento de la evolución del sistema: Se llevará a cabo un monitoreo a largo plazo para observar los efectos de la implementación del sistema de bofedales sobre la calidad del agua y los posibles cambios en los ecosistemas circundantes. Este seguimiento permitirá validar si los datos recolectados a corto plazo son representativos de los efectos a largo plazo.



CAPÍTULO IV

RESUSTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Presentación de resultados, según etapas

4.1.1. ETAPA 1: Identificación y clasificación ambiental

En esta fase se establece la necesidad de una evaluación integral del impacto ambiental, junto con la categoría ambiental específica que se necesita. Se realiza una evaluación inicial utilizando los datos disponibles, incluidos los siguientes: (Vicente Conesa Fdez, 2010)

RESULTADOS DE LA ETAPA

Determine si la acción sugerida podría generar efectos ambientales positivos o negativos notables.

Evaluar si sus efectos potenciales requieren su integración en los procedimientos oficiales de evaluación ambiental.

Precisar la profundidad y amplitud necesarias para la evaluación ambiental, concentrándose en los efectos reales que se deriven de la naturaleza de la

actuación y de las condiciones ambientales imperantes en el área de influencia.

4.1.2. ETAPA 2: Preparación y análisis

Esta fase implica la implementación práctica de los parámetros definidos en el estudio para un proyecto en particular.

En esta sección, reevaluamos los impactos notables resaltados en la evaluación inicial, centrándonos particularmente en los adversos, y delineamos las correspondientes estrategias de mitigación y compensación.

Su importancia surge de una evaluación exhaustiva de los impactos ambientales, que es esencial para la posterior evaluación e implementación de estrategias de mitigación, monitoreo y control. (Guillermo, E. 2007)

Además de delinear la acción sugerida y la línea de base ambiental del área afectada, el plan de manejo ambiental también incluye disposiciones para el monitoreo y control, así como mecanismos para involucrar la participación ciudadana. Se ha integrado la siguiente información:

Representación del entorno. Implica examinar las condiciones ambientales, que pueden verse influenciadas por las actividades humanas, con el nivel de precisión requerido.

Por lo tanto, es fundamental tener un conocimiento preciso de los elementos presentes en la región impactada, o el área de influencia asociada a la acción. Esta zona se caracteriza por la ocurrencia de impactos y la implementación de medidas de mitigación y monitoreo. Los datos deben describir claramente las características de las variables ambientales en riesgo y servir como base para evaluar los impactos



potenciales. La información que no describe el ambiente afectado o carece de los componentes necesarios para evaluar los impactos y establecer estrategias de mitigación y monitoreo no debe ser parte del análisis. (Espinoza, G. 2007)

Predecir y evaluar los efectos sobre el medio ambiente. Este análisis se realiza examinando las características significativas de los impactos, con especial atención a aquellos que se consideran críticos o irreversibles. Para lograr esto, se emplean metodologías estructuradas para pronosticar los efectos potenciales de varios tipos de impacto. (Espinoza, G. 2007)

Por ejemplo, los efectos se examinan en varias categorías: a) beneficiosos y perjudiciales, b) directos y secundarios, c) inmediatos y extendidos, d) acumulativos y e) sinérgicos. Después de identificar y evaluar los impactos, se analizan y clasifican para determinar estrategias de mitigación apropiadas y desarrollar un plan de gestión centrado en el medio ambiente.

Plan de gestión ambiental. El grado de adhesión a las iniciativas de protección ambiental depende en gran medida de la eficacia de las estrategias de mitigación y compensación de impactos sustanciales. En resumen, estos son los factores que hacen que las acciones humanas sean sostenibles en relación con el medio ambiente. Algunas posibles estrategias de mitigación a considerar incluyen las siguientes:

La mitigación es un elemento continuo del proceso de evaluación del impacto ambiental, cuyo objetivo es reducir o evitar efectos significativos. Comienza tan pronto como se reconoce y se afina durante la etapa de diseño.

Si las estrategias de mitigación implementadas no logran disminuir



adecuadamente los efectos ambientales, se toman en cuenta mecanismos de reparación y compensación.

Estas iniciativas tienen como objetivo replicar las condiciones que se encuentran en las áreas impactadas o reforzar los esfuerzos de conservación ambiental. La compensación no puede utilizarse para intercambiar recursos ambientales por beneficios alternativos como dinero, becas o empleo; más bien, implica restaurar lo que fue afectado ambientalmente proporcionando una contraparte comparable. (Espinoza, G. 2007)

En este punto, dependiendo del análisis ambiental específico que se esté realizando, se debe tener lo siguiente: una descripción detallada de la iniciativa propuesta junto con las condiciones ambientales actuales del área afectada; la identificación, evaluación y priorización de los impactos ambientales resultantes de la iniciativa; y un plan de gestión ambiental bien definido que abarque un programa de seguimiento y control, así como una estrategia de participación ciudadana.

RESULTADOS DE ESTA ETAPA

Detallar las actividades que se están desarrollando y las condiciones existentes o características de línea de base del área de impacto.

Evaluar y valorar las consecuencias ambientales, enfatizando la importancia de estos impactos y destacando especialmente aquellos que sean severos e irreversibles.

Utilice enfoques organizados para identificar y describir las principales consecuencias, facilitando la anticipación de diversos tipos de impacto, ya sean beneficiosos o perjudiciales, directos o secundarios, inmediatos o extendidos,



acumulativos o sinérgicos, etc.

Evaluar y priorizar efectos para determinar estrategias de mitigación adecuadas y desarrollar el plan de manejo correspondiente.

Establecer estrategias para abordar los impactos como parte de un plan de gestión ambiental, teniendo en cuenta los esfuerzos de mitigación para prevenir o disminuir efectos sustanciales, o alternativamente, compensarlos. Además, incluir un programa de seguimiento y control, que incorpore un plan de participación ciudadana. Guillermo Espinoza (2007)

4.1.3. ETAPA 3: Calificación y decisión

Esta fase implica una evaluación oficial de los estudios de impacto ambiental por parte de la autoridad competente. El objetivo es evaluar la idoneidad y la importancia de las medidas sugeridas para abordar los efectos negativos sustanciales resultantes de acciones particulares. (Espinoza, G. 2007)

- Evaluar los posibles peligros, impactos y ventajas ambientales resultantes de las actividades humanas.
- Revisar la información contextual del documento sobre la evaluación de impacto ambiental, asegurándose de que incluya todos los detalles pertinentes sobre la acción propuesta y sus efectos ecológicos.
- Evaluar la eficacia del proceso de EIA y la viabilidad de implementar las estrategias de mitigación y monitoreo propuestas descritas en el documento que se está evaluando.
- Incorporar programas de participación ciudadana para mejorar la evaluación



del informe de impacto ambiental.

- Asegúrese de que la acción se lleve a cabo de forma ambientalmente responsable.

Esta etapa es crucial por su papel en la toma de decisiones, ya que establece si los estudios serán aprobados, rechazados o devueltos para revisión.

Se influye principalmente en la eficacia del proceso de EIA, junto con la facilidad de implementar las estrategias de mitigación y monitoreo propuestas descritas en los estudios relevantes. (Espinoza, G. 2007)

El objetivo es garantizar que las actuaciones se realicen de forma ambientalmente responsable. A lo largo del proceso de evaluación se evalúan los posibles peligros, impactos y ventajas ambientales derivados de las actividades humanas. El estudio de impacto ambiental examina los antecedentes que deben abordar todos los detalles pertinentes relacionados con la acción propuesta y sus efectos ambientales asociados. (Guillermo Espinoza, 2007).

RESULTADO DE LA ETAPA

La revisión se concentra en evaluar la calidad del documento para determinar su cumplimiento de:

- a) estándares formales y administrativos;
- b) puntos de referencia de calidad técnica esenciales; y
- c) la sostenibilidad ambiental del proyecto.

4.2. TIPOLOGÍA DE LAS EVALUACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

Como se señaló anteriormente, un Impacto Ambiental puede ser beneficioso o perjudicial. Es fundamental reconocer que toda acción humana, independientemente de su escala, deja una huella en el medio ambiente. Estos impactos pueden variar en tamaño e importancia, influenciados por factores como su intensidad, duración y alcance.

Las actividades humanas pueden influir significativamente en los diversos elementos que componen el medio ambiente, ya sea de manera positiva o negativa.

Estos parámetros se clasifican en siete grandes grupos:

TABLA 6

Factores ecológicos

Factores físico-químicos

Factores biológicos

Factores paisajísticos

Factores relativos al uso del suelo

Factores relativos a la estructura, equipamientos, infraestructuras y servicios de los

núcleos habitados.

Factores sociales, culturales y humanos.

Factores económicos.

Nota. Parámetros

Estas categorías incluyen una amplia gama de elementos ambientales, como el clima, los recursos hídricos, la calidad del suelo, la vida vegetal y animal y los valores culturales, entre otros.

La naturaleza compleja del Estudio Ambiental (EslA) dará lugar a diversas formas de evaluaciones. Este enfoque organizará la complejidad desde la más simple hasta la más compleja.



TABLA 7

Clasificación de las Evaluaciones de Impacto Ambiental

Informe Medioambiental	Los efectos clave se resaltarán y describirán cualitativamente, con el objetivo principal de proporcionar una medida de las consecuencias ambientales resultantes de la acción.
Evaluación preliminar	Incluye un estudio inicial que no sólo identifica, sino que también proporciona una evaluación preliminar de los impactos, lo que lleva a una evaluación final más integral.
Evaluación simplificada	No es necesario adoptar un enfoque demasiado detallado a la hora de crear un estudio de impacto ambiental, ya que examinar aspectos demasiado complejos puede no resultar en una relevancia significativa.
Evaluación Detallada	Se realiza un Estudio de Impacto Ambiental que incluye este tipo de evaluación para actividades que tienen el potencial de causar efectos significativos, lo que requiere un análisis exhaustivo y detallado.

Nota. Según tipología

4.3. IMPORTANCIA DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación del impacto ambiental desempeña un papel vital en el marco general. En esta evaluación ambiental, un equipo de especialistas de diversas disciplinas evalúa en colaboración los efectos de las acciones humanas en el ecosistema circundante.

Además, evalúa estos factores y sugiere medidas necesarias de mitigación



y compensación para prevenir o minimizar los efectos ambientales adversos. También se implementan medidas para mejorar los resultados beneficiosos. (Guillermo Espinoza, 2007).

Las opiniones de países que cuentan con Sistemas de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) establecidos indican que, en numerosos casos, es aconsejable limitar el alcance de los estudios, ya que el impacto ambiental es insignificante. En muchos casos, especialmente cuando existen políticas y estándares bien definidos, simplemente declarar el cumplimiento de las regulaciones ambientales obligatorias puede ser adecuado. Este tema se aborda en la evaluación inicial, donde se establecen los parámetros del análisis ambiental. (Guillermo Espinoza, 2007)

El estudio de impacto ambiental analiza y registra información para brindar a todas las partes interesadas (particularmente ciudadanos, agencias públicas e instituciones responsables, así como al proponente del proyecto) una comprensión integral de los riesgos y beneficios potenciales asociados con una acción determinada. Esta información se presenta en un documento oficial que contiene los antecedentes pertinentes sobre la iniciativa propuesta y sus impactos ambientales. Por ejemplo, se describen los atributos de la acción propuesta y el entorno que la rodea, se examinan los posibles impactos ambientales y se diseñan estrategias para mitigar, remediar o compensar cualquier efecto negativo mientras se amplifican los positivos. (Guillermo Espinoza, 2007).

El documento debe proporcionar una descripción detallada de todo el proceso, comenzando con la decisión inicial. Abarca todas las facetas, desde la evaluación inicial de los impactos ambientales y la definición del alcance de la obra,



hasta la entrega de un análisis detallado del impacto ambiental. (Espinoza, G. 2007)

Todo ello debe quedar registrado e incluido en un archivo público que sirva de referencia y cronifique la historia del proceso emprendido. También se presentan argumentos que facilitan determinar el lugar más adecuado para una actuación al considerar diversas alternativas desde una perspectiva ambiental. (Gómez Orea Domingo, 2003)

Si hay múltiples opciones de ubicación disponibles, proporcione la información general necesaria para identificar la opción más adecuada para la protección ambiental. Si las acciones tomadas por los humanos no pueden trasladarse a otro lugar, sugiera estrategias para mitigar o prevenir efectos ambientales adversos.

El estudio de impacto ambiental funciona como un documento detallado que describe las diferentes fases del procedimiento de evaluación de impacto ambiental. Abarca la evaluación, pronósticos y tácticas empleadas para garantizar que una acción particular esté en armonía con las iniciativas de conservación ambiental.

Los estudios de impacto se presentan en diferentes formas, adaptados a las características específicas de los proyectos, el entorno circundante y los requisitos establecidos por instituciones y naciones. En varios países, se les denomina con nombres distintos y se clasifican de manera diferente en los análisis. (Guillermo Espinoza, 2007).



4.4. LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

- Destacan la composición colaborativa y diversa del equipo, lo que no siempre es factible.
- Requieren técnicas de previsión respaldadas por datos que en ocasiones son inaccesibles.
- Emplean nociones abstractas que no se alinean consistentemente con datos mensurables.
- Requieren datos que tengan una resolución uniforme y que puedan vincularse a escalas compatibles.
- Su marco metodológico es muy diverso, lo que requiere una comprensión preliminar del territorio o ubicación específica en cuestión para determinar el enfoque adecuado.
- Requieren una evaluación de la vulnerabilidad y la condición del área impactada, para lo cual a menudo faltan datos fundamentales.
- Requieren información específica que a menudo es inaccesible o no está alineada con los requisitos del estudio.
- Tienen el desafío de evaluar los impactos ambientales con la misma importancia que los factores económicos y sociales.



4.5. TEMAS CLAVES DE UN ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

4.5.1. Descripción del ambiente y de la acción

La determinación de los temas clave para un análisis en profundidad define el alcance geográfico que debe incluirse en la evaluación de impacto ambiental. El objetivo es comparar las condiciones ambientales con aquellas que podrían impactar los diversos elementos de la acción propuesta y sus alternativas viables.

Esto requiere una comprensión profunda y precisa de los factores ambientales que pueden verse afectados por la acción propuesta. La descripción debe centrarse en el área impactada, que se identifica como el lugar donde se llevan a cabo los efectos ambientales y los esfuerzos asociados de mitigación y monitoreo. La información proporcionada debe ser lo suficientemente completa como para ilustrar claramente las características de los recursos naturales y humanos que pueden ser relevantes para el analista. Además, esta descripción debe proporcionar datos científicos que permitan predecir y comparar los impactos ambientales. (Guillermo Espinoza, 2007).

La información que no detalla el medio ambiente afectado o que carece de los elementos esenciales para evaluar los impactos y desarrollar estrategias de mitigación y monitoreo debe omitirse de un análisis de impacto ambiental. Por el contrario, la ausencia de información relevante conduce a una disminución de la calidad del trabajo, ya que carece de los antecedentes esenciales necesarios para una evaluación integral de los efectos ambientales.

4.5.2. Pronóstico y análisis de impactos ambientales

Evaluar y predecir las principales consecuencias ambientales depende en



gran medida de comprender los factores físicos, biológicos, socioeconómicos y culturales que podrían verse influenciados por la iniciativa prevista. Para evaluar los impactos de las actividades humanas, se puede utilizar un escenario de inacción como punto de referencia para comparar las consecuencias ambientales resultantes. (Espinoza, G. 2007).

Dada la importancia de la magnitud del impacto para su consideración en las predicciones, el énfasis está predominantemente en aquellos impactos que son irreversibles o se consideran significativos en relación con los factores ambientales bajo investigación.

El proceso de identificación y medición de impactos suele emplear métodos sistemáticos diseñados para extrapolar y definir las condiciones ambientales esperadas de la ejecución de la acción. Estos pueden variar desde listas básicas utilizadas para examinar vínculos de causa y efecto hasta modelos computacionales sofisticados para simulaciones matemáticas. Los enfoques están consistentemente dirigidos a comprender la importancia de los impactos potenciales, por lo que varían según los elementos específicos que se examinan. (Espinoza, G. 2007)

Después de comprender las implicaciones ambientales de la acción propuesta y cualquier alternativa potencial, se pueden hacer comparaciones para facilitar la toma de decisiones con respecto a los pros y los contras ambientales asociados con cada opción disponible. Evaluar las implicaciones ambientales de diferentes alternativas es probablemente el elemento más difícil de cuantificar en este proceso. Si bien podemos pronosticar los riesgos y ventajas ambientales, traducirlos en términos económicos resulta ser una tarea compleja. Este asunto es



crucial porque las evaluaciones ambientales generalmente se integran con otras evaluaciones necesarias para ejecutar actividades humanas, como el análisis de costo-beneficio y la viabilidad de ingeniería, que son fácilmente cuantificables en términos económicos. Claro.

4.5.3. Mitigación, compensación y seguimiento de impactos negativos significativos

Si bien los datos de referencia, los pronósticos y la evaluación de los impactos ambientales son elementos cruciales que deben destacarse en un estudio de impacto ambiental, la importancia de:

- La planificación e implementación de estrategias para disminuir efectos ambientales sustanciales.
- La restauración o sustitución de recursos o ecosistemas degradados por alternativas que posean calidad e importancia comparables.
- El proceso de supervisión involucra una serie de decisiones y acciones estratégicas diseñadas para asegurar el cumplimiento de los acuerdos tomados durante la evaluación. También implica proporcionar información detallada sobre el estado actual de los factores ambientales y sociales dentro de una región y rastrear sus cambios a lo largo del tiempo.
- La supervisión y las actividades de las agencias gubernamentales, utilizando su autoridad legal, se centraron en asegurar el cumplimiento de las regulaciones ambientales y las condiciones para aprobar acciones específicas.



El concepto central de la mitigación es que los impactos ambientales negativos pueden evitarse o reducirse ajustando cuidadosamente el diseño del proyecto propuesto. Por lo general, estos efectos se identifican con prontitud, lo que permite una mayor protección que justifica modificaciones en el diseño del proyecto en la fase de planificación. (Espinoza, G. 2007).

Las estrategias de mitigación pueden: a) prevenir completamente los impactos al optar por una acción específica; b) disminuir los impactos controlando el alcance o intensidad de la acción y su ejecución; c) abordar el impacto mediante la reparación, rehabilitación o restauración del área afectada; y d) minimizar o erradicar el impacto mediante esfuerzos de conservación y mantenimiento.

En una evaluación de impacto ambiental, minimizar los efectos negativos sustanciales se logra examinando minuciosamente varias alternativas y opciones durante el proceso de evaluación, haciendo ajustes a los componentes de la opción elegida y/o reconfigurando los elementos impactados. Guillermo Espinoza (2007)

La compensación permite el establecimiento de condiciones que se asemejan a las afectadas por una acción, o puede implicar la contribución de tierras o recursos financieros a una iniciativa ambiental, por ejemplo. Es crucial resaltar que la compensación debe utilizar consistentemente la misma moneda ambiental, lo que significa que debe involucrar recursos que faciliten la restauración del medio ambiente impactado a una condición similar a su estado original. (Guillermo Espinoza, 2007). (Guillermo Espinoza, 2007).

Ofrecer becas o construir instalaciones comunitarias como compensación por actividades que amenazan la conservación ambiental local o socavan la calidad



de vida de los residentes plantea preocupaciones éticas. Esto no alcanza los objetivos de las medidas de protección, ya que no logra reducir ni erradicar los importantes efectos ambientales resultantes de las actividades humanas. (Espinoza, G. 2007)

Una vez que una acción ha recibido la aprobación, su ejecución debe ser supervisada mediante un seguimiento para garantizar que la protección ambiental se mantenga de manera efectiva.

Las iniciativas podrían implicar informes periódicos sobre los factores ambientales impactados, así como otras actividades diseñadas para garantizar que las acciones tomadas no afecten negativamente la calidad ambiental. Las actividades de seguimiento pueden ser realizadas no sólo por las autoridades pertinentes o los proponentes, sino también por otras partes interesadas, incluidas aquellas afectadas por la situación. Cada uno de ellos juega un papel crucial para garantizar el cumplimiento de las medidas establecidas. (Guillermo Espinoza, 2007)

Las iniciativas sugeridas se incorporan a un marco holístico que describe objetivos, asignación de recursos, cronogramas, partes responsables y herramientas necesarias. Este programa está incorporado tanto en el estudio de impacto ambiental como en el comunicado oficial de la autoridad. La supervisión continua durante una actividad es fundamental para garantizar el cumplimiento de las normas de protección ambiental. (Gómez O., 2003).

4.6. CONTENIDOS DE LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL

Los componentes esenciales de un estudio de impacto ambiental que se detallan a continuación están diseñados para servir como marco guía para

determinar el contenido específico caso por caso. La discusión detallada de diversas consideraciones o la elección de elementos específicos debería tener lugar cuando se finalicen los términos de referencia para cada proyecto individual, luego de una evaluación inicial. El objetivo de esta guía es delinear los principios fundamentales y elementos generales que deben incorporarse en un estudio de impacto ambiental, independientemente de los detalles específicos requeridos para cada acción particular que suscita el estudio. (Guillermo Espinoza, 2007).

4.7. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

Se dice que una acción o actividad tiene un impacto ambiental cuando conduce a un cambio, ya sea beneficioso o perjudicial, en el medio ambiente o sus partes constitutivas. Esta iniciativa podría involucrar un proyecto de ingeniería, un programa, un plan estratégico, una legislación o una acción administrativa que impacte el medio ambiente. (Espinoza, G. 2007)

Es importante reconocer que el término "impacto" no tiene inherentemente una connotación negativa, ya que puede referirse tanto a efectos beneficiosos como adversos. El impacto ambiental de un proyecto se refiere a la variación entre la condición futura del medio ambiente después de la implementación del proyecto y cómo ese medio ambiente habría progresado naturalmente sin la influencia del proyecto. En otras palabras, es el cambio general (ya sea beneficioso o perjudicial) que surge de una acción particular. (Guillermo Espinoza, 2007).

4.8. METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE LA VALORACIÓN DE IMPACTOS

Existe una amplia variedad de modelos y métodos para evaluar los impactos



ambientales, que van desde marcos generales que afirman su aplicabilidad universal hasta enfoques especializados adaptados a circunstancias o factores particulares. Estos métodos pueden ser cualitativos, cuantitativos o utilizar bases de datos extensas y herramientas de cálculo sofisticadas, y pueden ser de naturaleza estática o dinámica. (Vicente Conesa Fernández, 2010).

Es importante reconocer que muchas de estas técnicas fueron creadas para proyectos particulares, lo que complica su aplicación más amplia. Sin embargo, siguen siendo aplicables a proyectos similares a aquellos para los que fueron diseñados inicialmente. (Vicente Conesa Fernández, 2010).

4.9. MARCO DE APLICACIÓN

4.9.1 La Matriz de Importancia de Impactos Ambientales (MIIA)

Después de identificar las acciones y los factores ambientales que probablemente se verán afectados, la matriz de importancia proporciona una evaluación cualitativa para las (EIA) u otras herramientas de evaluación ambiental similares.

Una vez identificados los posibles impactos, es fundamental realizar una previsión y evaluarlos. La EIA sirve principalmente como una herramienta analítica destinada a explorar posibles resultados futuros. Por lo tanto, es crucial dilucidar a fondo todos los factores que lo configuran, incluidos los impactos resultantes de la relación entre las acciones del proyecto y los aspectos ambientales.

La evaluación cualitativa se realizará tomando como base la matriz de impacto. Cada celda de la matriz o elemento tipo proporciona información sobre cómo cada acción influyente afecta el factor y aspecto ambiental correspondiente.



4.9.2 Elemento tipo de la matriz de importancia

Los componentes de la matriz importante evalúan los efectos ambientales resultantes de una acción simple relacionada con un factor ambiental específico.

Durante esta fase de evaluación, la influencia se mide según el alcance de su expresión cualitativa, que articulamos como significación del impacto.

La importancia del impacto ambiental radica en cómo se evalúa cualitativamente, teniendo en cuenta tanto el alcance o la intensidad de los cambios como la naturaleza de los efectos involucrados. Estos efectos se definen por varias características cualitativas, incluido su alcance, tipo, duración, persistencia, reversibilidad, potencial de recuperación, interacciones sinérgicas, acumulación y ocurrencia periódica. Los elementos dentro del cuadro de cruce de la matriz se completarán con evaluaciones correspondientes a los símbolos dispuestos en el orden espacial presentado en la Tabla 20, junto con un elemento adicional que resume visualmente la importancia del impacto basado en los símbolos iniciales mencionados anteriormente. Entre estos primeros símbolos, el primero significa la esencia o naturaleza del efecto, mientras que el segundo indica el nivel de ocurrencia o intensidad. Los nueve siguientes reflejan los atributos que definen este efecto.



4.10. VALORACIÓN CUALITATIVA

Habiendo esbozado en los apartados anteriores el enfoque necesario para realizar una evaluación cualitativa de los impactos asociados a cada elemento, procederemos ahora a la evaluación cualitativa de las acciones que han desencadenado estos impactos, así como de los factores y aspectos ambientales relevantes.

La importancia general del impacto de cada tipo de elemento, calculada por columnas, revelará las acciones más dañinas (indicadas por valores negativos altos), las menos dañinas (valores negativos bajos) y las acciones positivas (valores positivos). Luego se pueden examinar más a fondo en función de sus efectos. los distintos subsistemas.

De igual forma, la significancia total del impacto de cada tipo de elemento por fila revelará qué factores ambientales se ven más y menos afectados por la ejecución del proyecto, obra o actividad.

La incorporación de estos elementos en las filas respectivas ilustrará los impactos generales en los diversos componentes y subsistemas dentro de la matriz.

efectos Como se señaló anteriormente, el efecto final es el contraste entre el estado del medio ambiente alterado por el proyecto, obra o actividad, y la condición que habría alcanzado en ausencia de estas intervenciones.

Los efectos del proyecto, obra o actividad serán analizados durante la fase de construcción, la fase operativa y la fase de cierre o demolición según sea necesario.

En el escenario operativo final, la disparidad entre las condiciones ambientales con y sin un proyecto, tarea o actividad específica surge no sólo de las consecuencias directas de acciones significativas tomadas durante la fase operativa sino también de ciertos efectos irreversibles. Un impacto continuo examinado durante la fase de construcción, como la remoción de árboles y la instalación de infraestructura vial, ocurre en esta etapa, pero, en última instancia, conduce a la degradación ambiental en el escenario final.

Dichas acciones se indican con un asterisco (*) en el elemento de tipo. El impacto final sobre los factores ambientales se determina combinando la importancia de los efectos durante la fase operativa con la importancia a largo plazo de las acciones que tienen consecuencias irreversibles o permanentes, incluso si estas acciones ocurren durante la fase de construcción del proyecto.

4.11. ANÁLISIS, SEGÚN LOS OBJETIVOS PROPUESTOS

El presente estudio de tipo cualitativo se centró en la implementación del uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones rurales del departamento de Puno, con el fin de evaluar su impacto ambiental. Los resultados obtenidos a través de entrevistas a expertos, observaciones in situ y análisis documentales han permitido un análisis integral de las ventajas, limitaciones y viabilidad de este método en el contexto de estas comunidades.

Objetivo general: Determinar la implementación del uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones del medio rural puno - evaluación del impacto ambiental.

El presente estudio, enfocado en la implementación del uso de bofedales



para el tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones del medio rural de Puno, ha permitido una evaluación cualitativa del impacto ambiental de esta técnica. A través de la recolección de datos mediante entrevistas, observaciones y análisis de estudios previos, se logró identificar las principales ventajas y desafíos asociados a la utilización de bofedales en este contexto.

Ventajas del uso de bofedales

Uno de los resultados más relevantes fue el reconocimiento de las ventajas ambientales y económicas que los bofedales proporcionan en el tratamiento de aguas residuales. Las poblaciones rurales de Puno, ubicadas en altitudes elevadas y caracterizadas por un clima frío y una geografía accidentada, han encontrado en los bofedales un método adecuado para la gestión de aguas residuales. Los bofedales funcionan mediante procesos biológicos que filtran y purifican el agua, aprovechando la vegetación natural y los suelos húmedos para remover contaminantes.

Los participantes en el estudio destacaron que los bofedales no solo son eficaces en la eliminación de contaminantes orgánicos y nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, sino que también son una solución de bajo costo en comparación con otras tecnologías de tratamiento de aguas residuales. Esto es especialmente importante en las zonas rurales de Puno, donde los recursos financieros y técnicos son limitados.

Otro aspecto positivo identificado fue la facilidad de integración de los bofedales en el entorno natural, sin requerir una intervención agresiva del ecosistema. Al estar basados en el uso de elementos naturales, los bofedales



representan una solución ecológica que minimiza la alteración del ambiente local y contribuye a la sostenibilidad a largo plazo.

Desafíos y limitaciones. Sin embargo, también surgieron ciertos desafíos durante la implementación de los bofedales en algunas comunidades. Entre los principales inconvenientes identificados está la dependencia de las condiciones climáticas y geográficas para el funcionamiento óptimo de los bofedales. En zonas con variaciones extremas de temperatura o donde los bofedales no cuentan con suficiente área para expandirse, la capacidad de tratamiento puede verse limitada. Esto plantea la necesidad de complementar los bofedales con otras tecnologías que mejoren la eficiencia del proceso, como humedales artificiales o sistemas de pretratamiento.

Adicionalmente, se detectó que el mantenimiento de los bofedales puede convertirse en un desafío para las comunidades rurales que carecen de los conocimientos técnicos necesarios. Aunque los bofedales requieren menos mantenimiento que las plantas de tratamiento convencionales, es fundamental capacitar a las poblaciones locales en su correcto manejo y en las actividades de monitoreo necesarias para asegurar su funcionamiento continuo.

Evaluación del impacto ambiental. En términos de impacto ambiental, los resultados del estudio indican que la implementación de bofedales ha contribuido a la mejora de la calidad del agua en las zonas donde se han implementado. Las fuentes de agua cercanas han mostrado una reducción significativa de contaminantes, lo que ha beneficiado tanto a la salud pública como al medio ambiente. Los bofedales han demostrado ser eficaces para reducir la carga de contaminantes en ríos y lagos, contribuyendo a la protección de la biodiversidad



acuática local.

Además, el uso de bofedales ha permitido que las comunidades rurales adopten prácticas más sostenibles y amigables con el medio ambiente, promoviendo una mayor conciencia sobre la importancia de la gestión adecuada de los recursos hídricos. Este cambio cultural hacia la protección del entorno es uno de los impactos sociales más importantes detectados durante la evaluación.

Discusión, respecto del objetivo general

La implementación de bofedales en el tratamiento de aguas residuales domésticas en poblaciones del medio rural de Puno ha demostrado ser una solución viable y ecológica. Sin embargo, la variabilidad geográfica y climática de la región puede limitar la eficacia de este método en algunas zonas. Por lo tanto, es necesario considerar la adaptación de tecnologías complementarias que puedan aumentar la capacidad de tratamiento en aquellos lugares donde los bofedales naturales no sean suficientes.

Asimismo, la capacitación y empoderamiento de las comunidades rurales en el manejo de los bofedales es esencial para garantizar el éxito a largo plazo de esta estrategia. A pesar de las limitaciones, los resultados del estudio muestran que los bofedales son una alternativa sostenible que no solo mejora la calidad del agua, sino que también tiene un impacto positivo en la conservación del ecosistema local.

En conclusión, los bofedales representan una herramienta valiosa en la gestión de aguas residuales en zonas rurales de Puno, contribuyendo tanto a la protección ambiental como al bienestar de las comunidades que dependen de estos ecosistemas para su subsistencia. Sin embargo, es esencial continuar investigando



y desarrollando tecnologías complementarias que permitan optimizar el tratamiento en una mayor variedad de contextos ambientales.

Objetivos específicos 1. Determinar las ventajas de los bofedales como método de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Los bofedales naturales han demostrado ser un recurso altamente efectivo para el tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad de filtrar y purificar el agua mediante procesos biológicos y físicos. Uno de los aspectos más destacados del uso de bofedales es su capacidad para remover nutrientes como nitrógeno y fósforo, lo cual contribuye significativamente a la reducción de la contaminación de fuentes hídricas. Los participantes en el estudio mencionaron que el uso de bofedales no solo promueve la sostenibilidad ecológica, sino que también es una alternativa económica en comparación con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales, como las plantas de tratamiento convencionales.

Además, el uso de estos ecosistemas naturales se adapta de manera idónea a las características geográficas y climáticas de las zonas rurales de Puno. La vegetación nativa de los bofedales desempeña un papel fundamental en la absorción de contaminantes y la reducción de la carga orgánica en el agua, lo que hace que este método sea altamente eficaz en áreas donde los recursos técnicos y financieros son limitados. Los testimonios recopilados indican que los bofedales, al estar ubicados en áreas ya reconocidas por las comunidades locales, permiten una fácil implementación y bajo costo de mantenimiento.



Objetivos específicos 2. Plantear métodos nuevos se puede plantear para el tratamiento de aguas residuales.

A pesar de las ventajas identificadas, el estudio también reveló la necesidad de complementar el uso de bofedales con métodos alternativos o novedosos, especialmente en poblaciones donde el volumen de aguas residuales supera la capacidad de los ecosistemas naturales. Entre los métodos propuestos por los expertos entrevistados se incluye el desarrollo de sistemas híbridos que combinen la tecnología de humedales artificiales con el uso de tanques sépticos. Estos sistemas, diseñados para aumentar la eficiencia de la eliminación de contaminantes, podrían optimizar el proceso de purificación en poblaciones más grandes o en situaciones donde los bofedales naturales no puedan cumplir con la demanda.

Otro método que surgió durante las discusiones es la implementación de filtros verdes, utilizando especies vegetales autóctonas que posean una mayor capacidad de absorción de contaminantes. Estos filtros verdes podrían instalarse en los alrededores de los bofedales, creando una barrera adicional de filtración antes de que el agua tratada se libere en los cuerpos de agua locales.

Objetivos específicos 3. Diseñar planos esquemáticos de los tanques sépticos, humedales y pozos de absorción para los distintos tipos de poblaciones.

El diseño esquemático de tanques sépticos, humedales artificiales y pozos de absorción se desarrolló en función de las características de las diferentes comunidades rurales analizadas. Se identificó que las poblaciones más pequeñas



pueden beneficiarse de un sistema básico de tanques sépticos combinados con pozos de absorción, lo que permitiría un tratamiento adecuado de las aguas residuales sin necesidad de grandes infraestructuras.

Para las poblaciones medianas, se propuso un sistema que incluya humedales artificiales diseñados específicamente para aumentar la capacidad de purificación de los bofedales naturales. Estos humedales pueden ser adaptados a la topografía local y conectados a los tanques sépticos para mejorar el flujo y tratamiento del agua.

Finalmente, para poblaciones más grandes, se sugirió un diseño más complejo que combine tanques sépticos de mayor capacidad con humedales artificiales y pozos de absorción de múltiples niveles. Estos sistemas permiten tratar volúmenes mayores de agua, garantizando que el impacto ambiental sea minimizado al máximo.

4.12. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados de este estudio cualitativo han demostrado que la implementación de bofedales como método de tratamiento de aguas residuales en poblaciones rurales de Puno es una alternativa viable y ecológicamente sostenible. Las comunidades que utilizan este recurso han experimentado mejoras notables en la calidad de sus fuentes de agua, lo que sugiere un impacto ambiental positivo. No obstante, el estudio también resalta la importancia de explorar y proponer nuevos métodos que permitan incrementar la capacidad de tratamiento, sobre todo en contextos de crecimiento poblacional o en áreas donde los bofedales naturales no sean suficientes.



Además, los esquemas diseñados para los distintos tipos de poblaciones proporcionan una guía estructural que puede ser aplicada y adaptada en otros contextos rurales con características similares. En conclusión, la implementación de sistemas de tratamiento basados en la combinación de enfoques naturales y tecnológicos podría representar una solución integral al problema del tratamiento de aguas residuales en las zonas rurales de Puno.

4.13. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y ANTECEDENTES

La implementación de bofedales como sistema de tratamiento de aguas residuales en las poblaciones rurales de Puno ha demostrado ser una alternativa ecológicamente sostenible y viable, con un impacto positivo en la mejora de la calidad de las fuentes de agua. Esta tendencia se alinea con experiencias internacionales donde los humedales y bofedales han sido implementados con éxito para tratar aguas residuales, como en Estados Unidos, Europa y América Latina (Kadlec & Wallace, 2009; Kivaisi, 2001). Los sistemas naturales de tratamiento, como los bofedales, ofrecen beneficios económicos y ambientales al ser una solución de bajo costo y bajo impacto ecológico.

En Estados Unidos, los sistemas de humedales construidos han mostrado una eficacia notable en la eliminación de contaminantes y patógenos, lo que respalda la aplicabilidad de los bofedales para tratar aguas residuales en poblaciones rurales de Puno. Sin embargo, el sistema de bofedales en Puno, con sus características específicas de altitud y clima, requiere una adaptación cuidadosa a las condiciones locales. En ese sentido, la investigación en la región ha confirmado que los bofedales pueden manejar adecuadamente los residuos domésticos, pero también destaca la necesidad de innovar en métodos que permitan ampliar la capacidad de



tratamiento para responder a los desafíos del crecimiento poblacional.

Por otro lado, las experiencias europeas en países como Alemania y el Reino Unido, donde se combinan enfoques naturales y tecnológicos para el tratamiento de aguas residuales, también ofrecen lecciones valiosas para Puno. El uso de sistemas de humedales subsuperficiales en Europa, que se integran con otros procesos de tratamiento, sugiere que una combinación similar podría mejorar la capacidad de los bofedales para manejar aguas residuales en la región. La adaptabilidad de los sistemas europeos resalta una de las ventajas clave de los bofedales en Puno: su capacidad para integrarse con las prácticas locales y las soluciones tecnológicas modernas.

En el contexto local, las investigaciones realizadas en Puno muestran que la implementación de bofedales está alineada con las necesidades y prioridades de las comunidades rurales. Los proyectos piloto han confirmado que los bofedales no solo mejoran la calidad del agua, sino que también se ajustan bien a las condiciones geográficas de la región, especialmente en zonas rurales con recursos limitados. Sin embargo, como lo subrayan los estudios realizados en Perú, la adaptación de estos sistemas a las particularidades de la región, como el clima frío y la altitud, es esencial para garantizar su éxito a largo plazo.

El reto, como lo indica la literatura, no solo es implementar estos sistemas, sino también garantizar su sostenibilidad en el tiempo. Las políticas y normativas en Perú están promoviendo el uso de tecnologías de tratamiento económico y eficiente, lo que es clave para el fomento de estos sistemas naturales como los bofedales. Sin embargo, el fortalecimiento de la infraestructura sanitaria y la capacitación técnica son factores críticos para asegurar que el tratamiento de aguas



residuales sea efectivo y sostenible en el futuro (Ley General de Aguas, 2021).

Los resultados de este estudio también plantean la necesidad de considerar nuevas metodologías que puedan aumentar la capacidad de tratamiento, especialmente en regiones que enfrentan un rápido crecimiento poblacional o en áreas donde los bofedales naturales no son suficientes. En este sentido, la combinación de enfoques naturales y tecnológicos, como se observa en las experiencias internacionales y nacionales, podría ofrecer una solución integral para el tratamiento de aguas residuales en las zonas rurales de Puno.

En conclusión, la evidencia acumulada tanto en estudios locales como internacionales respalda la implementación de bofedales como una solución viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Las comunidades en Puno ya han experimentado mejoras en la calidad del agua, lo que confirma los beneficios ecológicos de estos sistemas. No obstante, la discusión también resalta la importancia de seguir investigando y desarrollando métodos innovadores que puedan aumentar la eficiencia de estos sistemas, especialmente en contextos de crecimiento poblacional y expansión de áreas urbanas. La combinación de enfoques naturales con tecnologías adaptadas a las condiciones locales puede representar una solución integral para mejorar la gestión de aguas residuales en la región.



CONCLUSIONES

PRIMERA. - La implementación de bofedales en las zonas rurales de Puno no solo ha mostrado ser una opción viable y efectiva en términos de depuración de aguas residuales, sino que también ha demostrado ser una estrategia profundamente alineada con las necesidades y contextos sociales, culturales y ambientales de las comunidades rurales. Los bofedales, como sistemas naturales, ofrecen una solución que se integra de manera armónica con el entorno local, respetando las prácticas tradicionales y el conocimiento ancestral de las poblaciones rurales. Este enfoque ecológico, basado en el uso de recursos naturales y la participación comunitaria, fortalece la identidad local y promueve la autonomía de las comunidades en la gestión de sus recursos hídricos. Además, el impacto ambiental observado, que incluye la mejora de la calidad del agua y la restauración de los ecosistemas circundantes, resalta el valor ecológico y la sostenibilidad de los bofedales como una alternativa viable para tratar aguas residuales domésticas.

SEGUNDA. Las ventajas de los bofedales como método de tratamiento de aguas residuales van más allá de los beneficios técnicos evidentes, como la eliminación de sólidos suspendidos, nutrientes y patógenos. El enfoque natural de los bofedales se ajusta perfectamente a las capacidades y limitaciones de las comunidades rurales, quienes, al no contar con acceso frecuente a tecnologías avanzadas, encuentran en los bofedales una solución que no solo es efectiva en términos de tratamiento, sino también accesible y comprensible. Los bajos costos de mantenimiento y la mínima necesidad de especialización técnica permiten que las comunidades asuman un rol activo en la gestión y operación de estos



sistemas, promoviendo la empoderación local y una mayor participación en la toma de decisiones relacionadas con la gestión del agua. Desde una perspectiva cualitativa, los bofedales no solo son una herramienta de tratamiento, sino un mecanismo para fortalecer el tejido social y fomentar una cultura de sostenibilidad ambiental en las comunidades rurales.

TERCERA. La propuesta de nuevos métodos complementarios, como la combinación de tanques sépticos con humedales de flujo subsuperficial y el uso de pozos de absorción, no solo busca mejorar la eficiencia del tratamiento, sino también responder de manera flexible y adaptada a las diversas realidades de cada comunidad. Desde un enfoque cualitativo, estos métodos complementarios se ajustan a las características socioculturales y geográficas de las poblaciones rurales de Puno, permitiendo una mayor participación de los habitantes en el diseño, implementación y monitoreo de las soluciones propuestas. La adaptabilidad de estos sistemas no solo responde a las condiciones físicas del terreno y el tipo de aguas residuales generadas, sino también a las expectativas y necesidades de las comunidades en cuanto a la gestión del agua, lo que facilita su aceptación y apropiación.

CUARTA. El diseño de planos esquemáticos para tanques sépticos, humedales y pozos de absorción, realizado desde una perspectiva cualitativa, considera no solo los aspectos técnicos y funcionales de los sistemas, sino también los factores culturales y sociales que influyen en su implementación. La creación de estos planos responde a la necesidad de ofrecer soluciones adaptadas a las diferentes configuraciones sociales, geográficas y económicas de las poblaciones rurales de Puno. Además, los planos esquemáticos facilitan el proceso de apropiación



de las tecnologías por parte de las comunidades, al proporcionarles una herramienta visual y comprensible que les permite visualizar el funcionamiento y los beneficios de los sistemas propuestos. Este enfoque participativo contribuye a la construcción de confianza en las tecnologías y fomenta el sentido de pertenencia y responsabilidad comunitaria en la gestión de los recursos hídricos.



RECOMENDACIONES

PRIMERA. Se recomienda a las autoridades locales y regionales promover la construcción de bofedales en poblaciones rurales como parte de un plan integral de gestión de aguas residuales. Además, es crucial brindar capacitación técnica a las comunidades locales para la correcta operación y mantenimiento de estos sistemas, garantizando su eficiencia y longevidad. Para futuras investigaciones, se sugiere analizar la viabilidad económica y social de la implementación de estos sistemas en diversas regiones, considerando factores como el acceso a recursos y la aceptación comunitaria.

SEGUNDA. Es fundamental establecer un programa de monitoreo continuo para evaluar el impacto ambiental de los bofedales a largo plazo, especialmente en términos de su capacidad para eliminar contaminantes y proteger la biodiversidad local. Este monitoreo ayudará a ajustar y mejorar los sistemas según las condiciones específicas de cada comunidad. Como área de investigación futura, se propone estudiar cómo los cambios climáticos podrían afectar la funcionalidad de los bofedales y desarrollar estrategias de adaptación.

TERCERA. Se recomienda la implementación de métodos complementarios, como la combinación de tanques sépticos con humedales de flujo subsuperficial, para aumentar la eficiencia del tratamiento. Estos métodos pueden optimizarse según el tamaño de la población y las características geográficas del área. Futuras investigaciones podrían enfocarse en evaluar la efectividad de diferentes combinaciones de tecnologías de tratamiento en términos de costos, eficacia y sostenibilidad.



CUARTA. Se sugiere que los gobiernos locales desarrollen e implementen planes de infraestructura sanitaria que incluyan el diseño de sistemas de tanques sépticos, humedales y pozos de absorción adaptados a las necesidades de las comunidades rurales. Estos planes deben ser flexibles para ajustarse a las características demográficas y topográficas de cada zona. Para investigaciones futuras, sería valioso explorar el impacto de estas infraestructuras en la calidad de vida de las comunidades, así como en la reducción de enfermedades relacionadas con el agua.



REFERENCIAS

- Asociación Ecuatoriana de Asesores Ambientales Independientes (2005).
Glosario de Términos Ambientales. Ecuador: Iniciativa RECAI.
- Aguilar M, et al. (2009). Evaluación de la eliminación de carga orgánica mediante el tratamiento de aguas residuales mediante un sistema piloto de humedales artificiales. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, páginas 157 a 167.
- Bécares, E. (2004). Funciones de la vegetación y procedimientos de diseño de humedales artificiales, incluidos el flujo horizontal subsuperficial y el flujo superficial, Barcelona, págs. 51-62
- Brix, H. (1994). La importancia de los humedales en la gestión de la contaminación en las regiones rurales. Creación y aplicación de humedales diseñados. Programa CIHEAM-IAWQ Zaragoza
- Carrión C. (2018). Guía Técnica para la Implementación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Ambientes Albergues Rurales. Lima: Departamento de Comercio Exterior y Turismo.
- Conesa F. (2010). Directrices para la realización de evaluaciones de impacto ambiental. Madrid: Editorial Mundi-Prensa.
- Cooper, et al. (1996). Juncuales y humedales artificiales para la gestión de aguas residuales. 184 páginas
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales (2018). 2018. Lineamientos Técnicos para Pozos de Infiltración. Unidad de Apoyo a la Asistencia Técnica en Saneamiento Básico Rural. fruta cítrica
- Cristian F (2016). Utilización de vegetación acuática para el tratamiento de aguas residuales. <https://tinyurl.com/2ytp845c>
- Castro. (1995). Guía de métodos simplificados para el análisis de sustancias químicas de aguas residuales.



Delgadillo, D. et al. (2010). Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia: Universidad Superior San Simón.

Directrices para la evaluación de impactos ambientales (2012). Recuperado <https://tinyurl.com/2d48evlp>

Espinoza, G. (2007). Administración y principios básicos de la evaluación de impacto ambiental. Santiago, Chile.

Fernández M. (2010). Descripción general de la fitorremediación en ecosistemas de humedales.

Fredy Salinas Meléndez. (2010). Impacto Ambiental y Bienestar: Recursos Hídricos.

Glasson, J., Therivel, R., & Chadwick, A. (2012). Introduction to environmental impact assessment (4th ed.). Routledge.

García J., et al. (2004). Factores que influyen en la eficacia de la eliminación de contaminantes en cañaverales de flujo horizontal empleados para el tratamiento de aguas residuales urbanas, páginas 1669-1678.

García S. (2008). Refinamiento a través de humedales diseñados. Manual completo para el desarrollo, implementación y utilización de sistemas de humedales de flujo subterráneo.

Glynn H., Gary W. Heinke. (2019). México Ambiental: Prentice Hall Publishing.

Gómez O. (2016). Evaluación de Impacto Ambiental. Madrid: Prensa Mundi-Prensa.

Humedales artificiales. (2019). Recuperado el 14 de 08 de 2012, de <https://tinyurl.com/28o4jaqp>

Hernan E. Hilleboe. (1980). Guía de gestión de aguas negras. México: Editorial Limusa.

Hrudey.(2004). Garantizar agua potable segura: conocimientos adquiridos a



partir de brotes recientes en zonas ricas. Prensa de la Asociación Internacional del Agua.

ISO 19011 (2002). Normas para la Auditoría de Sistemas de Gestión de Calidad y/o Medio Ambiente. Suiza: un punto de referencia para los estándares globales.

Kadlec, R.H., et al. (2000). Humedales artificiales para la gestión de la contaminación: mecanismos y eficacia, 155 páginas.

Moreano, M. (2012) La zona pantanosa. Obtenido de los humedales ecuatorianos el 20 de septiembre de 2012. <https://tinyurl.com/229wugcf>

OMS. (2013). Lineamientos de diseño para especificaciones técnicas de fosas sépticas. Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural. Fruta cítrica conocida como lima.

Píriz, A.J. (2000). Condiciones redox en humedales artificiales de flujo subterráneo. Tesis de Especialización, ETSECPB, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 104 páginas.

Reed, S.C., et al. (1995). Métodos naturales para la gestión y tratamiento de residuos. Edición revisada McGraw Hill.

Romero R. (2004). Gestión de aguas residuales: conceptos y fundamentos de diseño. Santafé de Bogotá: Instituto Colombiano de Ingeniería.

Vásquez, N. (2008). La situación actual del Ecuador. Quito, Ecuador: Fundación José Peralta.

Totoras en la provincia de Puno. (2011). Recuperado el 19 de 09 de 2016, de <https://tinyurl.com/2cpatxrd>

Tulas S. (2003). Marco Consolidado de Normas Ambientales Secundarias.

Water. (2004). La conexión entre saneamiento, higiene y salud: estadísticas y conocimientos. Organización Mundial de la Salud (OMS).



Zambrano X & Villamar, F. (s/f). Desarrollo de un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Depuración de Efluentes Domésticos. Instituto Politécnico Superior Costero (ESPOL).



ANEXOS



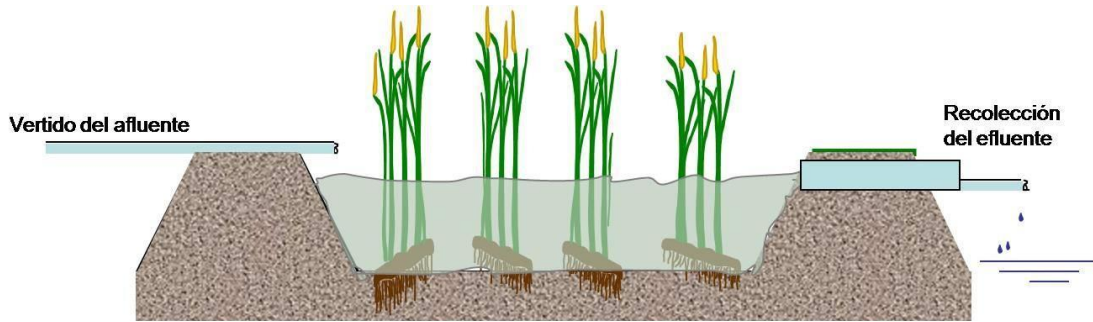
TITULO: USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES DEL MEDIO RURAL PUNO - EVALUACIÓN

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES:	METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN
¿Cómo implementar el uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales domesticas en poblaciones rurales de Puno y evaluar su impacto ambiental?	Implementar el uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas y evaluar su impacto ambiental en las poblaciones rurales de Puno.	Implementar el uso de bofedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas y evaluar su impacto ambiental en las poblaciones rurales de Puno.	VARIABLE 1 Hábitos de convivencia DIMENSIONES <ul style="list-style-type: none"> • Aprender a convivir • Aprender a relacionarse • Aprender a cumplir normas 	ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN: Cualitativo MÉTODO(S) DE LA INVESTIGACIÓN: interpretativo TIPO DE LA INVESTIGACIÓN: Básica NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN: Exploratorio DISEÑO No experimental POBLACION
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICAS	VARIABLE 2 Resolución de conflictos DIMENSIONES <ul style="list-style-type: none"> • Negociación 	
¿Cuáles son las ventajas de los bofedales como método de tratamiento de aguas residuales domésticas?	Identificar las ventajas de los bofedales como método de tratamiento de aguas residuales domésticas. Proponer métodos nuevos se puede	Identificar las ventajas de los bofedales como método de tratamiento de aguas residuales domésticas. Proponer métodos nuevos se puede		

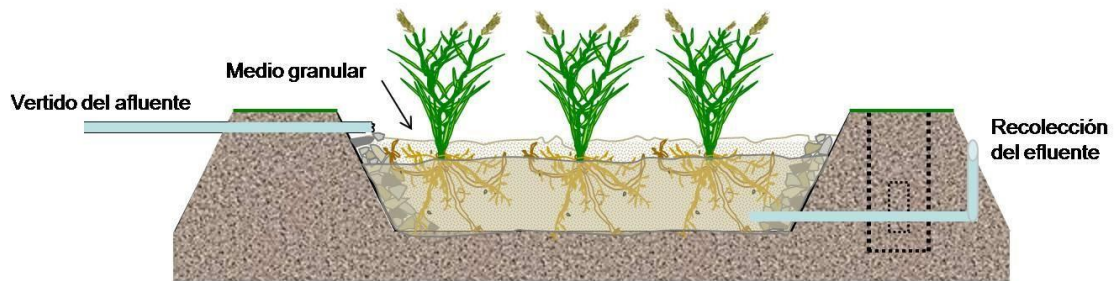


<p>¿Qué métodos nuevos se puede plantear para el tratamiento de aguas residuales?</p> <p>¿Cómo generar planos esquemáticos de los tanques sépticos, humedales y pozos de absorción para los distintos tipos de poblaciones?</p>	<p>plantear para el tratamiento de aguas residuales.</p> <p>Diseñar planos esquemáticos de los tanques sépticos, humedales y pozos de absorción para los distintos tipos de poblaciones.</p>	<p>plantear para el tratamiento de aguas residuales.</p> <p>Diseñar planos esquemáticos de los tanques sépticos, humedales y pozos de absorción para los distintos tipos de poblaciones.</p>		<p>zonas rurales de Puno</p> <p>MUESTRA</p> <p>3 a 5 comunidades rurales Puno</p>
---	--	--	--	--

Los tipos de humedales artificiales incluyen el A, caracterizado por un flujo superficial, y el B, que presenta un flujo subterráneo horizontal.

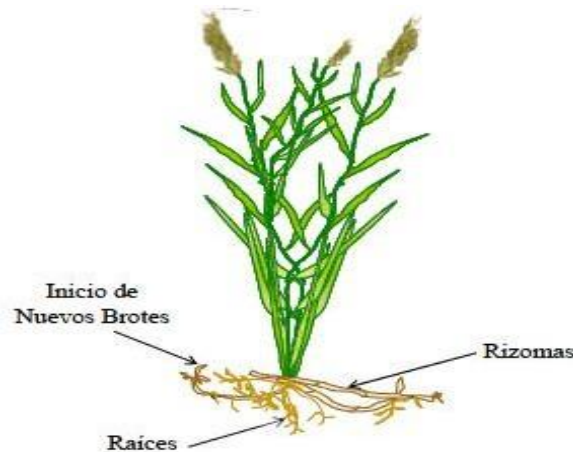


A.

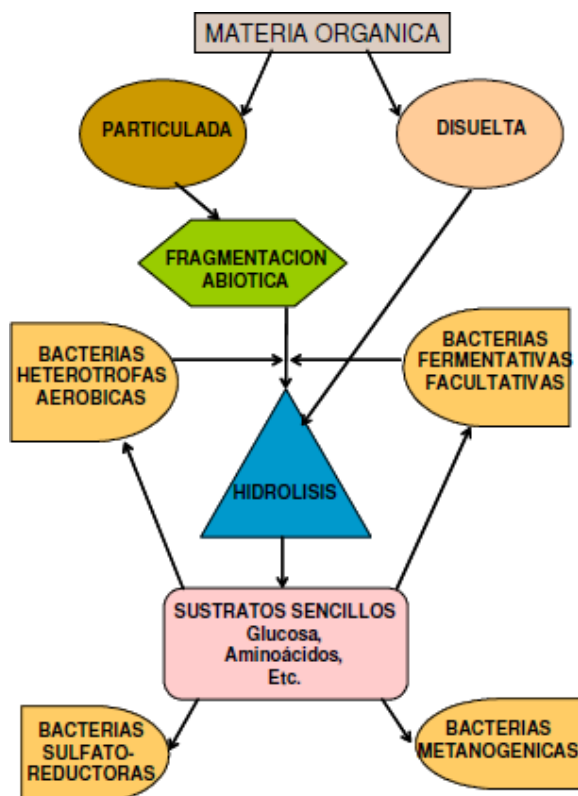


B.

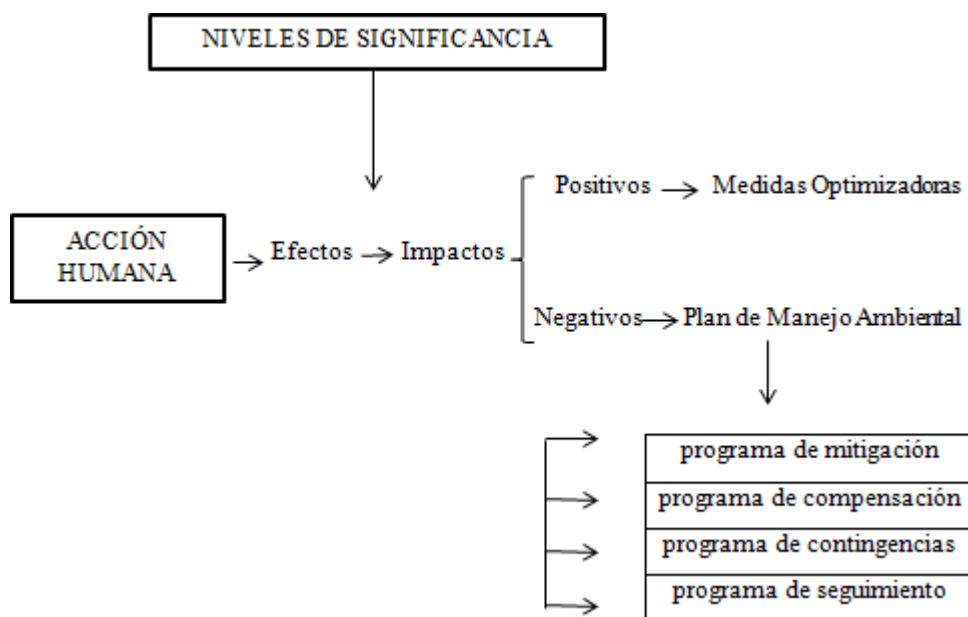
Un diagrama que ilustra la estructura de la caña (*Phragmites australis*).



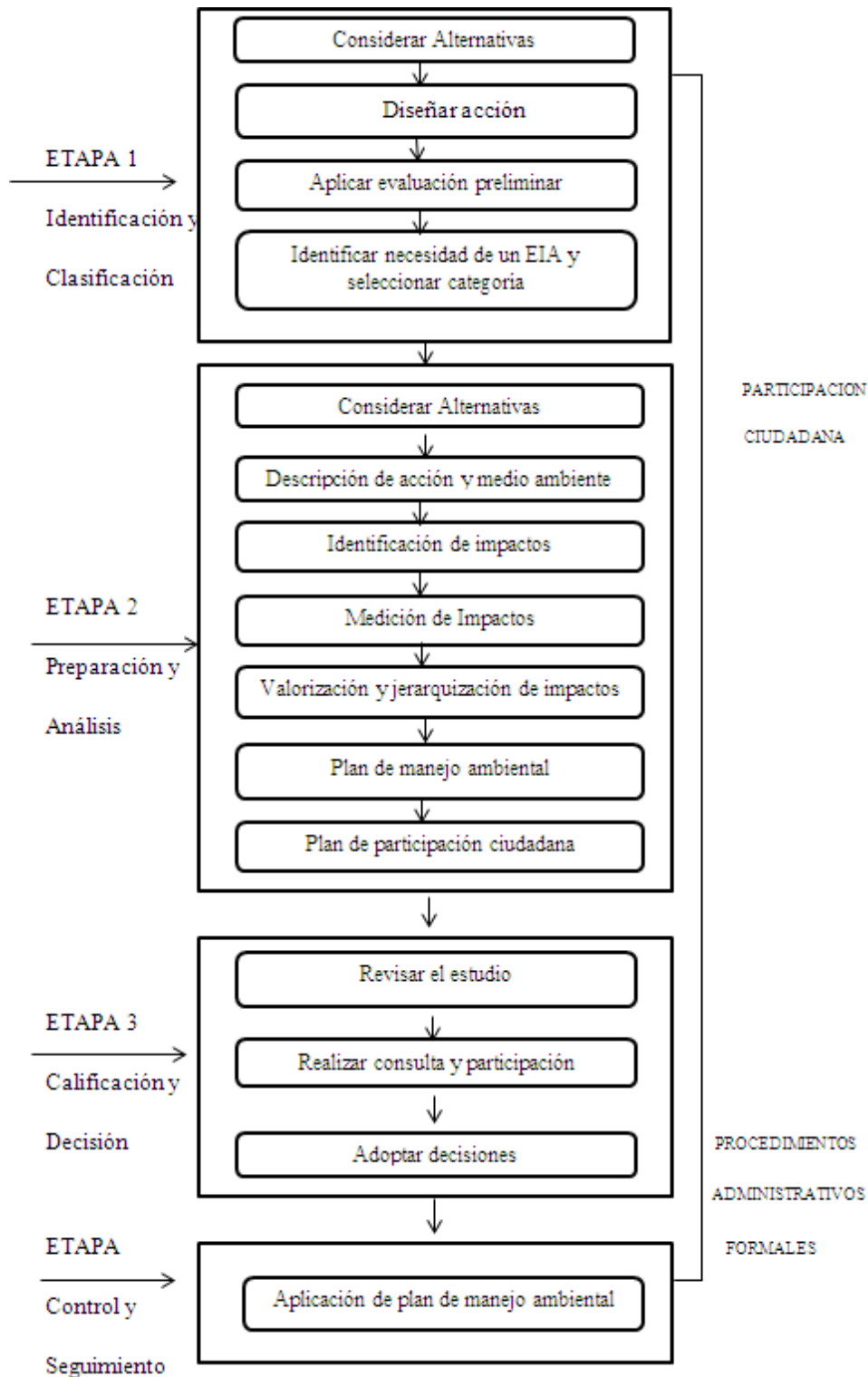
Esquema de los procesos en la degradación de la materia



Marco de los Procedimientos de EIA



Descripción general del procedimiento de EIA





BASE DE DATOS

N°	D1			D2			D3			D4			SUBTOTAL				TOTAL
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	D1	D2	D3	D4	V1
1	2	2	4	1	2	4	5	5	5	2	3	4	20	28	19	15	82
2	2	4	1	3	4	5	3	3	1	2	1	2	22	17	20	15	74
3	1	3	1	2	4	2	4	4	4	2	5	5	17	27	17	10	71
4	1	3	2	4	4	5	4	1	1	2	4	3	23	19	13	15	70
5	2	1	1	1	3	2	4	5	5	2	1	1	14	19	14	15	62
6	3	4	1	4	5	2	1	4	3	4	2	2	20	18	12	22	72
7	5	2	3	2	5	5	3	5	2	4	1	5	25	22	13	12	72
8	1	5	1	5	5	3	5	4	3	4	2	3	25	21	16	9	71
9	1	4	3	5	1	5	3	1	2	1	4	3	22	17	15	17	71
10	2	2	4	5	3	1	5	3	2	2	2	5	22	19	21	18	80
11	5	5	2	3	2	5	3	4	4	3	1	3	25	22	11	13	71
12	2	1	2	1	4	2	3	2	2	2	4	3	15	18	10	16	59
13	2	3	1	1	5	4	4	1	1	2	1	4	20	17	13	21	71
14	3	3	1	4	3	4	3	4	3	1	1	2	21	18	17	14	70
15	5	4	2	3	2	5	2	4	3	2	3	3	23	20	16	16	75
16	2	5	2	5	2	4	3	2	3	4	3	1	23	18	13	17	71
17	5	2	2	1	1	3	5	3	5	2	4	2	19	23	18	20	80
18	5	3	2	4	2	1	3	2	3	1	5	2	20	19	13	8	60
19	5	3	2	2	4	5	2	2	2	2	1	5	23	19	17	14	73
20	4	3	4	4	2	3	2	1	3	4	2	1	22	20	21	10	73
21	3	1	4	2	3	2	4	1	2	4	2	1	19	19	17	14	69
22	1	2	2	3	5	5	4	3	5	4	1	2	22	20	19	16	77
23	5	4	1	2	5	4	2	3	4	2	3	5	23	20	12	18	73
24	1	1	5	5	4	2	3	1	5	4	4	2	21	23	10	15	69
25	3	5	3	2	4	5	3	5	5	3	5	5	25	33	12	13	83
26	5	4	4	5	3	3	4	1	2	1	1	2	28	13	10	13	64
27	1	4	3	1	2	5	2	3	4	5	4	2	18	27	15	14	74
28	2	4	5	3	5	4	1	1	4	2	1	2	24	14	11	23	72
29	1	1	4	3	3	5	4	2	5	1	4	4	21	20	12	10	63
30	3	3	1	1	4	5	1	1	4	2	1	3	18	13	13	16	60
31	2	3	4	2	1	3	4	1	1	2	5	1	19	15	16	8	58
32	5	4	5	1	1	1	2	4	1	4	3	1	19	20	12	16	67
33	4	2	2	3	2	5	2	2	4	1	1	2	20	16	19	15	70
34	3	5	5	4	5	2	1	5	1	5	2	3	25	20	21	14	80
35	1	2	5	5	1	2	5	4	3	2	4	3	21	22	18	15	76
36	3	4	1	5	3	5	2	5	3	3	3	2	23	22	11	14	70
37	3	2	5	2	1	5	3	1	3	4	4	2	21	18	14	14	67
38	3	2	2	3	4	1	5	3	1	3	2	3	20	19	11	19	69
39	4	5	3	3	1	5	1	4	4	4	4	5	22	26	16	15	79
40	1	3	2	4	4	4	2	2	1	3	3	3	20	15	11	14	60
41	3	4	2	4	2	1	2	5	1	2	4	4	18	25	11	13	67



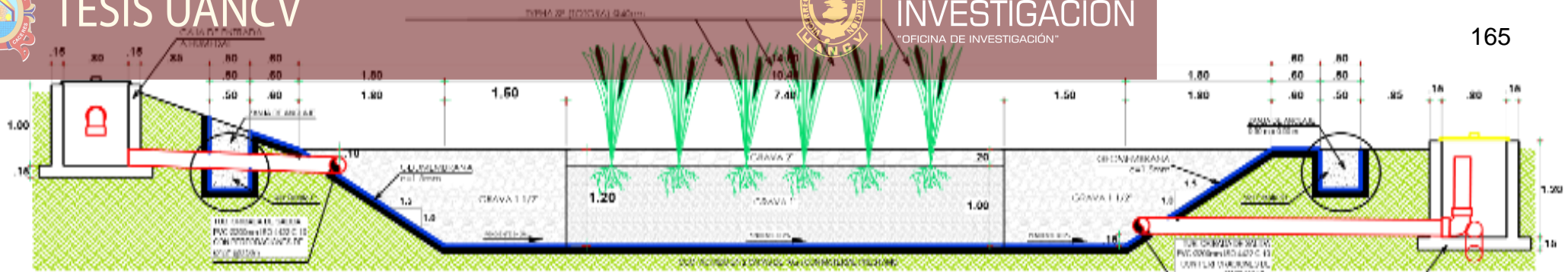
42	4	2	1	5	1	5	3	4	2	5	2	3	21	23	11	10	65
43	4	4	3	2	2	5	4	2	1	2	1	3	24	14	11	23	72
44	4	2	4	5	1	1	4	5	1	1	5	1	21	22	10	15	68
45	1	1	1	5	4	3	1	2	2	4	4	4	16	23	17	16	72
46	1	5	5	3	3	2	2	1	5	5	4	5	21	26	12	17	76
47	2	1	4	4	5	2	4	3	1	2	3	1	22	13	12	10	57
48	4	2	2	1	3	5	1	3	2	2	5	4	18	23	9	17	67
49	2	1	3	3	1	5	1	1	4	1	3	5	16	18	18	12	64
50	5	3	4	4	4	2	2	2	4	5	4	3	24	27	17	14	82
51	5	5	5	5	2	2	3	3	1	3	1	4	27	16	16	17	76
52	2	5	5	4	3	4	5	2	1	3	2	3	28	18	9	13	68
53	2	5	3	5	1	2	1	5	1	2	1	1	19	18	19	17	73
54	5	4	2	2	2	1	3	4	5	2	4	2	19	24	19	15	77
55	2	5	3	3	4	1	3	4	2	3	1	1	21	14	12	16	63
56	5	4	3	3	4	2	4	5	5	2	2	3	25	23	12	12	72
57	1	2	5	3	2	3	1	3	2	1	2	2	17	18	14	10	59
58	4	2	4	1	1	4	3	1	2	2	3	4	19	20	5	11	55
59	4	4	2	1	3	4	3	4	1	5	3	3	21	24	14	14	73
60	3	4	2	1	5	1	2	4	1	4	2	4	18	18	19	14	69
61	1	3	2	4	4	4	2	2	1	3	3	3	20	15	11	14	60
62	3	4	2	4	2	1	2	5	1	2	4	4	18	25	11	13	67
63	4	2	1	5	1	5	3	4	2	5	2	3	21	23	11	10	65
64	4	4	3	2	2	5	4	2	1	2	1	3	24	14	11	23	72
65	4	2	4	5	1	1	4	5	1	1	5	1	21	22	10	15	68
66	1	1	1	5	4	3	1	2	2	4	4	4	16	23	17	16	72
67	1	5	5	3	3	2	2	1	5	5	4	5	21	26	12	17	76
68	2	1	4	4	5	2	4	3	1	2	3	1	22	13	12	10	57
69	4	2	2	1	3	5	1	3	2	2	5	4	18	23	9	17	67
70	2	1	3	3	1	5	1	1	4	1	3	5	16	18	18	12	64



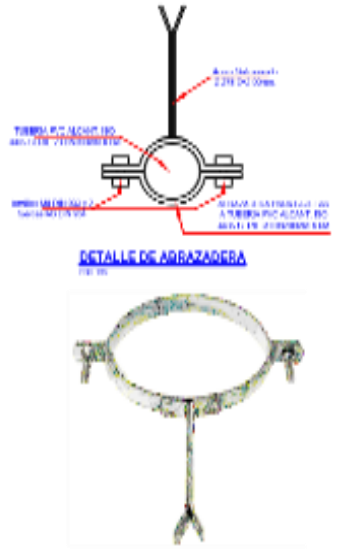
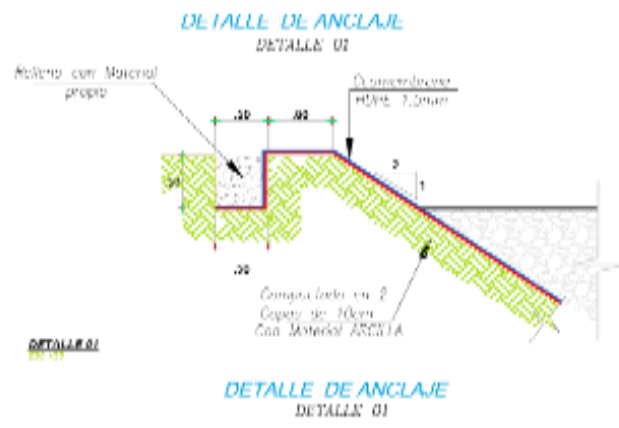
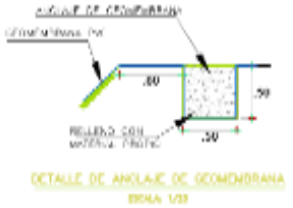
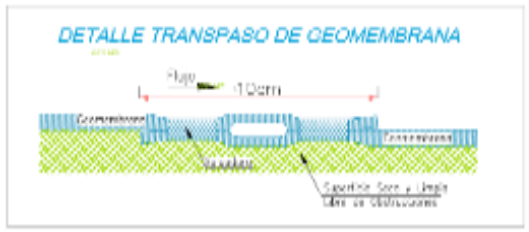
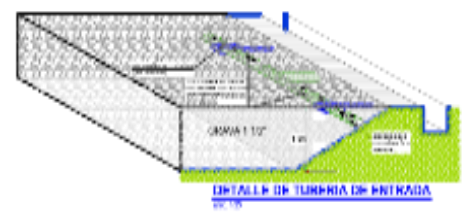
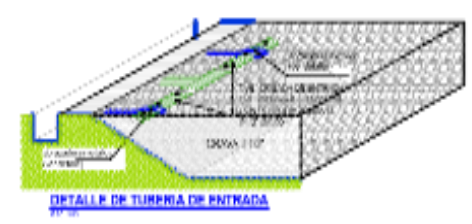
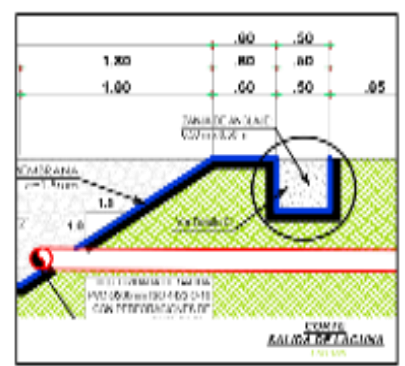
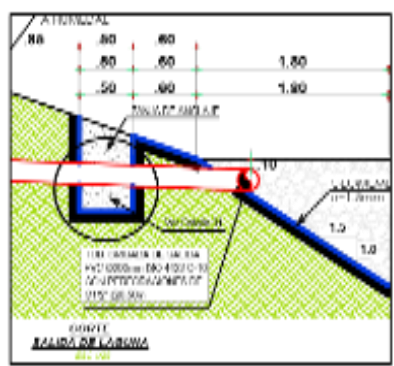
N°	D1			D2		D3		SUBTOTAL			TOTAL
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	D1	D2	D3	V1
1	2	2	4	1	2	4	5	20	28	19	82
2	2	4	1	3	4	5	3	22	17	20	74
3	1	3	1	2	4	2	4	17	27	17	71
4	1	3	2	4	4	5	4	23	19	13	70
5	2	1	1	1	3	2	4	14	19	14	62
6	3	4	1	4	5	2	1	20	18	12	72
7	5	2	3	2	5	5	3	25	22	13	72
8	1	5	1	5	5	3	5	25	21	16	71
9	1	4	3	5	1	5	3	22	17	15	71
10	2	2	4	5	3	1	5	22	19	21	80
11	5	5	2	3	2	5	3	25	22	11	71
12	2	1	2	1	4	2	3	15	18	10	59
13	2	3	1	1	5	4	4	20	17	13	71
14	3	3	1	4	3	4	3	21	18	17	70
15	5	4	2	3	2	5	2	23	20	16	75
16	2	5	2	5	2	4	3	23	18	13	71
17	5	2	2	1	1	3	5	19	23	18	80
18	5	3	2	4	2	1	3	20	19	13	60
19	5	3	2	2	4	5	2	23	19	17	73
20	4	3	4	4	2	3	2	22	20	21	73
21	3	1	4	2	3	2	4	19	19	17	69
22	1	2	2	3	5	5	4	22	20	19	77
23	5	4	1	2	5	4	2	23	20	12	73
24	1	1	5	5	4	2	3	21	23	10	69
25	3	5	3	2	4	5	3	25	33	12	83
26	5	4	4	5	3	3	4	28	13	10	64
27	1	4	3	1	2	5	2	18	27	15	74
28	2	4	5	3	5	4	1	24	14	11	72
29	1	1	4	3	3	5	4	21	20	12	63
30	3	3	1	1	4	5	1	18	13	13	60
31	2	3	4	2	1	3	4	19	15	16	58
32	5	4	5	1	1	1	2	19	20	12	67
33	4	2	2	3	2	5	2	20	16	19	70
34	3	5	5	4	5	2	1	25	20	21	80
35	1	2	5	5	1	2	5	21	22	18	76
36	3	4	1	5	3	5	2	23	22	11	70
37	3	2	5	2	1	5	3	21	18	14	67
38	3	2	2	3	4	1	5	20	19	11	69
39	4	5	3	3	1	5	1	22	26	16	79
40	1	3	2	4	4	4	2	20	15	11	60
41	3	4	2	4	2	1	2	18	25	11	67
42	4	2	1	5	1	5	3	21	23	11	65



43	4	4	3	2	2	5	4	24	14	11	72
44	4	2	4	5	1	1	4	21	22	10	68
45	1	1	1	5	4	3	1	16	23	17	72
46	1	5	5	3	3	2	2	21	26	12	76
47	2	1	4	4	5	2	4	22	13	12	57
48	4	2	2	1	3	5	1	18	23	9	67
49	2	1	3	3	1	5	1	16	18	18	64
50	5	3	4	4	4	2	2	24	27	17	82
51	5	5	5	5	2	2	3	27	16	16	76
52	2	5	5	4	3	4	5	28	18	9	68
53	2	5	3	5	1	2	1	19	18	19	73
54	5	4	2	2	2	1	3	19	24	19	77
55	2	5	3	3	4	1	3	21	14	12	63
56	5	4	3	3	4	2	4	25	23	12	72
57	1	2	5	3	2	3	1	17	18	14	59
58	4	2	4	1	1	4	3	19	20	5	55
59	4	4	2	1	3	4	3	21	24	14	73
60	3	4	2	1	5	1	2	18	18	19	69
61	1	3	2	4	4	4	2	20	15	11	60
62	3	4	2	4	2	1	2	18	25	11	67
63	4	2	1	5	1	5	3	21	23	11	65
64	4	4	3	2	2	5	4	24	14	11	72
65	4	2	4	5	1	1	4	21	22	10	68
66	1	1	1	5	4	3	1	16	23	17	72
67	1	5	5	3	3	2	2	21	26	12	76
68	2	1	4	4	5	2	4	22	13	12	57
69	4	2	2	1	3	5	1	18	23	9	67
70	2	1	3	3	1	5	1	16	18	18	64



CORTE AA' TUBRIA ARTIFICIAL



CONSEJOS PARA EL DISEÑO

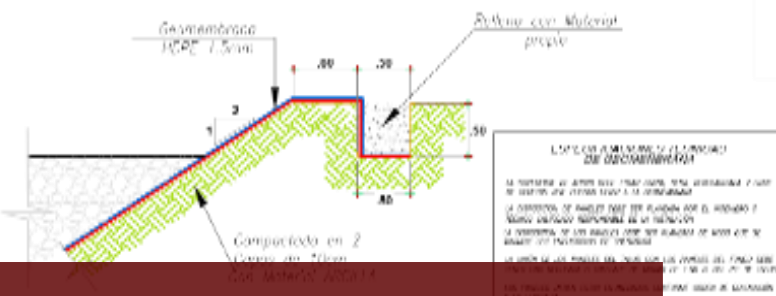
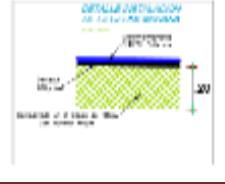
- 1. Utilizar un tipo de tubo que permita la instalación de la tubería de salida en el momento de la construcción.
- 2. Evitar el uso de tuberías de PVC rígido de diámetro menor a 100 mm.
- 3. Evitar el uso de tuberías de PVC rígido de diámetro mayor a 100 mm.
- 4. Evitar el uso de tuberías de PVC rígido de diámetro mayor a 100 mm.

RECOMENDACIONES TÉCNICAS

- 1. Utilizar un tipo de tubo que permita la instalación de la tubería de salida en el momento de la construcción.
- 2. Evitar el uso de tuberías de PVC rígido de diámetro menor a 100 mm.
- 3. Evitar el uso de tuberías de PVC rígido de diámetro mayor a 100 mm.
- 4. Evitar el uso de tuberías de PVC rígido de diámetro mayor a 100 mm.

EXPERIMENTACIÓN TÉCNICA

Se realizó un ensayo de laboratorio para determinar el comportamiento de la tubería de salida en el momento de la construcción. Los resultados del ensayo indican que la tubería de salida puede ser instalada en el momento de la construcción sin afectar el funcionamiento del sistema de drenaje.



LISTA DE MATERIALES Y EQUIPO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL DISEÑO

1. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

2. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

3. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

4. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

5. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

6. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

7. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

8. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

9. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

10. TUBERIA DE PVC RIGIDO DE DIAMETRO 100 MM. (100 MTS.)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA		RECTORÍA DE POSGRADO	
DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL			
LEO DEBOSCHKE PARA EL MANEJO DEL RIESGO DE DESASTRES NATURALES EN EL MEDIO URBANO DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA			
INVESTIGACIÓN AMBIENTAL			
Plan de tesis: Mtro. Haroldo Arfilla			
FECHA	1999	FECHA	1999
FECHA	1999	FECHA	1999
FECHA	1999	FECHA	1999
FECHA	1999	FECHA	1999
FECHA	1999	FECHA	1999

ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 24/03/25

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: FAUSTO PONCIANO MAMANI MAMANI

Dirección: PSJ. TUPAC CATARI N° 145 HUASCAR

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 01205345

Teléfono: 900934416 email: faustop1957@hotmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: _____

Escuela Profesional o Mención: _____

Título o Grado Académico a optar: _____

Asesor: _____

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación Tesis Trabajo de Suficiencia Profesional Trabajo Académico

Título: USO DE BOFEDALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN POBLACIONES

DEL MEDIO RURAL PUNO - EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

Palabras claves, (3 a 5 términos): BOFEDALES, TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, ZONAS RURALES.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1,2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller Titulo 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
 Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
 No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

Sí autorizo
 No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

- Internacional
- Nacional

Línea de investigación: CONTAMINACION Y CALIDAD AMBIENTAL – P68

Firma de Autor



huella digital

24 de Marzo 2025

Fecha