



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA
PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL
EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI – 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NELIDA RAMOS GUTIERREZ

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL**

JULIACA - PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA
PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL
EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI – 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. NELIDA RAMOS GUTIERREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:

Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

PRIMER MIEMBRO

:

Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

:

M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

:

Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1740-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 17 de diciembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - C - 9337 presentado por el (la) Bachiller: **NELIDA RAMOS GUTIERREZ** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **NELIDA RAMOS GUTIERREZ**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI - 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- * **1er Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA
- * **2do Miembro** : M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

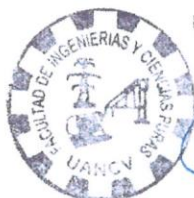
ARTICULO SEGUNDO. - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTICULO TERCERO. - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **NELIDA RAMOS GUTIERREZ**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI - 2024** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Sanitario y Ambiental**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : martes 23 de diciembre del 2025
- * **HORA** : 15:30 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Sanitaria y Ambiental** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C.S. PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32720



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y C.S. PURAS

Dr. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1076-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 15 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 2036 por el señor (a): **NELIDA RAMOS GUTIERREZ** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 228-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 050 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **NELIDA RAMOS GUTIERREZ**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI - 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 050 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI - 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **NELIDA RAMOS GUTIERREZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI - 2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. OSCAR V. VÍAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Alomani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNcc.
Archivo
interesado (a)

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1042-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 17 de setiembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 12052, presentado el señor (a) **NELIDA RAMOS GUTIERREZ** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 942 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 111-2024 del integrante del comité de investigación **EPISA** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **NELIDA RAMOS GUTIERREZ** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI - 2024**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Franz Joseph Barahona Perales** de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 111-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI - 2024**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **NELIDA RAMOS GUTIERREZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI - 2024** correspondiente a la línea de investigación **CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURASDr. WILTHON QUISPE HUANGA
DECANO
CIP 47790

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

Dr. Efraim Paredón Soto
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNCC:
Archivo 2024
Internado (a)



NELIDA RAMOS GUTIERREZ

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALE...

 Trabajos de tesis para ingreso a repositorio

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::13016:604071236

Fecha de entrega

1 jul 2026, 16:11 GMT-5

Fecha de descarga

2 jul 2026, 22:43 GMT-5

Nombre del archivo

T036_71848636_T.docx

Tamaño del archivo

13.4 MB

127 páginas

18.525 palabras

104.035 caracteres



TESIS UANCV

11% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

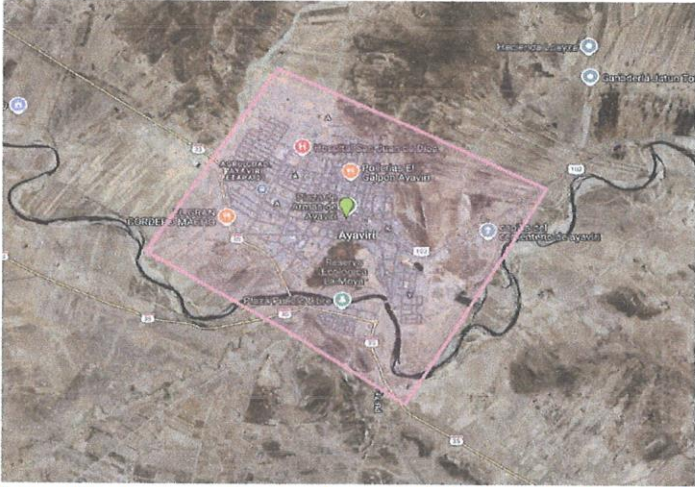
Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios UANCV

Título de la tesis	
EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI – 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	NELIDA RAMOS GUTIERREZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71848636
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0001-1565-3771
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821



Datos de investigación	
Línea de investigación	Contaminación y calidad ambiental – P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: Melgar Distrito: Ayaviri - Latitud: S 14° 52' 55" - Longitud: O 70° 35' 24"  https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1C_uvod7pV8C8-cuDB8m-cK5EEhozG_c&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Setiembre 2024 – Diciembre 2025
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería Ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.00 Biotechnología Ambiental https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.08.01



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÉSAR VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PÚBICAS
Dr. Fritz Willy Marmón Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo NELIDA RAMOS GUTIERREZ, identificado con DNI
Nro. 71848636, en mi condición de egresado de:

- ☒ Escuela Profesional
☐ Programa de Segunda Especialidad,
☐ Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

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

EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI – 2024

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

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 08 de Junio del 2026

Firma del Asesor
(obligatoria)

Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A dios, a mis padres y a todos mis familiares que participaron en mi educación.



AGRADECIMIENTO

A la universidad andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca, a la facultad de ingeniería y ciencias puras, a la escuela profesional de ingeniería sanitaria y ambiental, y a mis jurados de este trabajo por haber promovido mi educación superior.



ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática	14
1.2. Planteamiento del problema.....	16
1.2.1. Problema general	16
1.2.2. Problemas específicos.....	16
1.3. Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4. Justificación de la investigación	18
1.4.1. Justificación práctica.....	18
1.4.2. Justificación social	18
1.4.3. Justificación ambiental.....	19
1.4.4. Justificación económica.....	19
1.5. Hipótesis de la investigación	20
1.5.1. Hipótesis general	20



1.5.2. Hipótesis específicas	20
1.6. Variables.....	21
1.6.1. Variable independiente	21
1.6.2. Variable dependiente.....	21
1.7. Operacionalización de las variables.....	22

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	23
2.1.1. Antecedentes internacionales	23
2.1.2. Antecedentes nacionales	27
2.1.3. Antecedentes regionales	29
2.2. Bases teóricas	29
2.2.1. Piedra pómez.....	29
2.2.2. Aguas residuales	32
2.2.3. Tratamiento de aguas residuales	33
2.3. Marco conceptual	39
2.3.1. Agua.....	39
2.3.2. Aguas negras.....	40
2.3.3. Aguas rojas	40
2.3.4. Aguas verdes	40
2.3.5. Análisis del Ciclo de Vida en aguas residuales.....	41
2.3.6. Parámetros de control de agua	41
2.3.7. Demanda Química de Oxígeno	41
2.3.8. Caudal.....	42
2.3.9. Aceites y grasas	42



2.3.10. Coliformes Termotolerantes	42
2.3.11. Demanda Bioquímica de Oxígeno	43
2.3.12. Demanda Química de Oxígeno	43
2.3.13. pH	43
2.3.14. Sólidos Totales en Suspensión	44
2.3.15. Temperatura	44
2.3.16. Eficacia	45
2.3.17. Influencia	45

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación	46
3.2. Tipo de investigación.....	47
3.3. Nivel de investigación.....	47
3.4. Enfoque de la investigación	48
3.5. Población y muestra.....	48
3.5.1. Población	48
3.5.2. Muestra	49
3.6. Materiales y equipos	50
3.6.1. Recolección de muestras	50
3.6.2. Procesamiento del ensayo	51
3.7. Técnicas e instrumentos	52
3.7.1. Técnicas.....	52
3.7.2. Instrumentos	52
3.8. Lugar de estudio.....	52
3.9. Procedimiento metodológico	53



3.9.1. Determinar los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.....	53
3.9.2. Determinar la influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicas (SST) en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.	55
3.9.3. Determinar la influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.....	58

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Determinación de los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri	61
4.2. Determinación de la influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicas (SST) en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri.....	64
4.3. Determinación de la influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri	68
4.4. Porcentaje de absorción con la piedra pómez.....	72
Prueba de hipótesis.....	77
4.5. Discusión	85
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS	100



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable independiente.	22
Tabla 2. Operacionalización de variable dependiente.	22
Tabla 3. Características químicas del material pomáceo	30
Tabla 4. Características físicas de la piedra pómez	31
Tabla 5. Clasificación de los mataderos.....	36
Tabla 6. Composición de Residuos Sólidos.....	37
Tabla 7. Caracterizaciones de los efluentes	38
Tabla 8. Cuadro de muestreo.....	49
Tabla 9. Cuadro de conservación de las muestra.....	55
Tabla 10. Porcentaje de absorción con 250 gramos de piedra pómez.	72
Tabla 11 Porcentaje de absorción con 500 gramos de piedra pómez.	73
Tabla 12 Porcentaje de absorción con 1000 gramos de piedra pómez.	74
Tabla 13 Porcentaje de absorción con 1500 gramos de piedra pómez.	75
Tabla 14. Porcentaje de absorción con respecto a la cantidad de piedra pómez.	76
Tabla 15. Caracterización físico-química inicial de las aguas residuales del camal de Ayaviri.....	77
Tabla 16. Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para SST.	79
Tabla 17. Análisis de varianzas (ANOVA) para las remociones de SST.....	79
Tabla 18. Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de SST.	80
Tabla 19. Estadísticos descriptivos de SST según tiempo de tratamiento.....	81
Tabla 20. Prueba post hoc de Tukey para SST según dosis.....	81
Tabla 21. Prueba post hoc de Tukey para SST según tiempo	82



Tabla 22. Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para DQO y DBO5	83
Tabla 23. Análisis de varianza (ANOVA) para DQO y DBO5	84
Tabla 24. Estadísticos descriptivos de DQO y DBO5 según dosis de piedra pómez.....	84
Tabla 25. Estadísticos descriptivos de DQO y DBO5 según tiempo de tratamiento	85



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de procedimiento.....	60
Figura 2. Diagrama de propiedades físicas de las aguas residuales del camal de Ayaviri.....	62
Figura 3. Diagrama de propiedades químicas de las aguas residuales del camal de Ayaviri.....	63
Figura 4. Diagrama de propiedades físicas con tratamiento con piedra pómez muestra 01 (5 litros) con 7 días.....	65
Figura 5. Diagrama de propiedades físicas con tratamiento con piedra pómez muestra 02 (5 litros) con 14 días.....	66
Figura 6. Diagrama de propiedades físicas con tratamiento con piedra pómez muestra 03 (5 litros) con 21 días.....	67
Figura 7. Diagrama de propiedades químicas con tratamiento con piedra pómez muestra 01 (5 litros) con 7 días.....	68
Figura 8. Diagrama de propiedades químicas con tratamiento con piedra pómez muestra 02 (5 litros) con 14 días.....	69
Figura 9. Diagrama de propiedades químicas con tratamiento con piedra pómez muestra 03 (5 litros) con 21 días.....	70



RESUMEN

Esta investigación tiene como **objetivo**. Evaluar la capacidad de absorción de la piedra pómez en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal en la localidad de Ayaviri – 2024. La **metodología** fue tipo aplicada, nivel descriptivo – Explicativo y diseño experimental, utilizando agua residual del camal de Ayaviri. Se realizaron cuatro tratamientos con piedra pómez (T1 a T4) en tres muestras de agua residual. Se tomaron mediciones iniciales y finales de los parámetros fisicoquímicos. Los **resultados** mostraron que la piedra pómez presenta, reduciendo los SST de 426.50 mg/L a 48.70 mg/L en la primera muestra, de 185.00 mg/L a 56.70 mg/L en la segunda, y de 98.00 mg/L a 21.30 mg/L en la tercera muestra, alcanzando el LMP a partir del T2. También redujo los aceites y grasas y coliformes termotolerantes, cumpliendo los límites permitidos desde el T2. Aunque la DQO y la DBO mejoraron, no cumplieron completamente con los LMP en todas las muestras. **Concluyendo** que la piedra pómez es un material efectivo para tratar aguas residuales, logrando mejoras significativas, donde se evidenció que, a mayor dosis de piedra pómez, la capacidad de absorción se incrementa de manera significativa, alcanzando valores superiores al 80% con 1500 g al día 21.

Palabras clave: piedra pómez, aguas residuales, tratamiento, coliformes termotolerantes, DQO.



ABSTRACT

This research aims to evaluate the absorption capacity of pumice stone in the treatment of wastewater from the slaughterhouse in Ayaviri, Peru, in 2024. The methodology was applied, descriptive-explanatory, and experimental, using wastewater from the Ayaviri slaughterhouse. Four treatments with pumice stone (T1 to T4) were carried out on three wastewater samples. Initial and final measurements of the physicochemical parameters were taken. The results showed that pumice stone exhibited an absorption rate of 63.75%, reducing total suspended solids (TSS) from 426.50 mg/L to 48.70 mg/L in the first sample, from 185.00 mg/L to 56.70 mg/L in the second, and from 98.00 mg/L to 21.30 mg/L in the third sample, reaching the maximum permissible limit (MPL) starting with treatment T2. It also reduced oils and fats and thermotolerant coliforms, meeting the permitted limits from T2 onwards. Although COD and BOD improved, they did not fully comply with the MPLs in all samples. In conclusion, pumice stone is an effective material for treating wastewater, achieving significant improvements. It was observed that with higher doses of pumice stone, the absorption capacity increased significantly, reaching values above 80% with 1500 g and 21 days.

Keywords: pumice, wastewater, treatment, thermotolerant coliforms, COD.

INTRODUCCIÓN

El proceso de tratar las aguas residuales es un desafío crucial en las sociedades modernas, especialmente en áreas rurales donde la infraestructura para el tratamiento adecuado de estas aguas es limitada. La ciudad de los canchachos Ayaviri, ubicada en la región de Puno, enfrenta problemas ambientales vinculados con los manejos ineficientes de los residuos generados por diversas actividades económicas, entre ellas, las provenientes del camal local. Toda agua residual producido de estos establecimientos contienen una alta carga de materia orgánica, grasas, aceites y contaminantes que, sin un tratamiento adecuado, pueden afectar negativamente los cuerpos de agua cercanos y los ríos (Pariccahua, 2018).

En tal contexto, la búsqueda de soluciones eficientes, sostenibles y con precios más económicos, con fin de realizar los procesos de tratamientos las aguas residuales es una necesidad apremiante. Entre las diversas tecnologías y materiales disponibles, la piedra pómez ha despertado interés debido a sus propiedades físicas, como su alta porosidad y capacidad de absorción. La piedra pómez, un material volcánico abundante en la región, específicamente en el distrito de Pusi podría ser una alternativa viable para la remoción de contaminación. (Mamani, 2024).

Este estudio tiene como finalidad principal evaluarse la capacidad de absorción de la piedra pómez en los tratamientos de las aguas residuales del camal de Ayaviri durante el año 2024. A través de la caracterización del material y la implementación de pruebas experimentales, se busca determinar su



efectividad. Con el fin de reducirse la contaminación, como las materias orgánicas y sólidos suspendidos, con miras a proponer una solución sostenible y accesible que pueda ser implementada a nivel local. Los hallazgos de esta exploración contribuirán al proceso de desarrollo de energías limpias y eficientes para procesos de tratamientos de aguas residuales en la región, promoviendo un mejor manejo ambiental.

Con el fin de cumplirse con los objetivos que se planteó en esta investigación, se considera que el trabajo debe tener 4 capítulos.

En el capítulo 1; se tiene la redacción sobre la situación problemática, la formulación de los problemas, los objetivos, justificaciones, hipótesis y las variables de exploración.

En el capítulo 2; se redacta las teorías con referencia a las variables de investigación, así mismo se plantea los antecedentes internacionales, nacionales, regionales, así mismo se plantea el marco conceptual

En el capítulo 3; se tiene todo el procedimiento metodológico de exploración, donde se consideró el diseño, tipo, nivel, enfoque, población y muestras, técnicas e instrumentos de exploración.

En el capítulo 4; se exponen las interpretaciones de los hallazgos de acuerdo a los objetivos específicos de la exploración.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática

En el ámbito internacional, Lara (2011) menciona que Una gran parte de los ríos de Ecuador, sobre todo en las regiones Costa y Sierra, sufren un grave problema: reciben el efluente de agua residual sin recibir ningún tratamiento. Esta práctica contamina directamente el agua y tiene un efecto devastador, acabando con la capacidad del río para albergar vida. Así mismo, (Ramires, 2017), indica que La industria de beneficio animal, conocida comúnmente como mataderos municipales, es una de las actividades con mayor potencial contaminante, especialmente en poblaciones de tamaño medio como el Distrito de Pátapo. El impacto se manifiesta en tres frentes: vertimientos líquidos que sobrecargan el alcantarillado, emisiones gaseosas que influyen en las calidades del aire, y residuos orgánicos que desequilibran los nutrientes del suelo.

En el ámbito nacional, Huarachi y Huanacuni (2021), En Tacna, una región donde viven casi 300,000 personas, el consumo diario de carne es una realidad cotidiana. Para satisfacer esta demanda, el Matadero Municipal

incrementa su producción, pero con una consecuencia preocupante: también aumenta la generación de desechos sólidos y líquidos que, al no recibir un tratamiento adecuado, se convierten en una fuente de contaminación para la comunidad. Aunque la planta tiene un procedimiento de sistemas de tratamientos para las aguas residuales (que incluyen sangre, agua de lavado y otros líquidos), un informe oficial de la EPS ha confirmado que este sistema es insuficiente. No logra purificar el agua al nivel que exige la ley, lo que no solo genera un impacto ambiental, sino que incluso ha derivado en multas para el matadero por incumplir los límites permitidos.

En el ámbito regionales y locales, en localidad de Ayaviri, en la región de Puno, enfrenta un grave problema ambiental debido a la gestión inadecuada de las aguas residuales que provienen del camal municipal. Estas aguas contienen altas cargas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, como grasas, aceites, sangre, restos animales y sólidos suspendidos, que, al ser vertidas sin un tratamiento adecuado, terminan afectando las aguas cercanas de los ríos y los de sub suelo de la zona. Este tipo de contaminación no solo degrada la calidad de las aguas cercanas o locales, también participa en la degradación de la salud pública, poniendo en riesgo la salud de las personas, así mismo tanto a la población como a la fauna y la flora.

El aumento de los puntos de afluencia de las aguas residuales, en especial de los camales de sacrificio de animales como son los vacunos, ovino, porcino, sin ningún tipo de tratamiento previo viene afectando el ecosistema y por ende a la salud pública, los camales o los centros de beneficio, debido a este aumento de aguas residuales básicamente serian de dos grupos: como son el

agua residual de color rojo y agua residual de color verde, este tipo de aguas son altamente contaminantes.

De acuerdo a la CGR (2019), el cual indica que el camal de la ciudad de Ayaviri fue intervenido el 15 de enero del año 2019 donde se identificó condiciones deficientes e insalubres en las instalaciones lo que posiblemente genera un riesgo de a la salud de todo el personal y consumidores finales frente a una potencial contaminación, ya que se observó que las contaminantes provenientes del camal no tienen un proceso eficaz de descontaminación. Según ANA (2012) en su informe final da a conocer que el camal municipal de Ayaviri tiene un vertimiento del 100% de sus aguas residuales al río Ayaviri sin ningún tipo de tratamiento alguno teniendo como elementos más resaltantes el aluminio, hierro, manganeso, sodio tales compuestos sobrepasan los valores establecidos por el ECA.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Problema general

PG. ¿Cuál será la capacidad de absorción de la piedra pómez en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal en la localidad de Ayaviri – 2024?

1.2.2. Problemas específicos

PE1. ¿Cuál son los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024?

PE2. ¿Cuál es la influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicos (SST) en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024?

PE3. ¿Cuál es la influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

OG. Evaluar la capacidad de absorción de la piedra pómez en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal en la localidad de Ayaviri – 2024.

1.3.2. Objetivos específicos

OE1. Determinar los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

OE2. Determinar la influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicos (SST) en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

OE3. Determinar la influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación práctica

Desde la justificación práctica se propone una alternativa viable, económica y accesible: la utilización de las piedras pómez como un filtro natural. La piedra pómez se presenta como una práctica alternativa, dado que es un material local y de bajo costo, abundante en la región, lo que reduce la necesidad de inversiones elevadas en materiales o tecnologías externas. Esta investigación, al evaluar las capacidades de absorción de las piedras pómez, tiene el potencial de ofrecer una solución efectiva para procesos adecuados de tratamientos de las aguas residuales del camal, al aprovechar un recurso natural disponible en la zona y adaptado a las condiciones (Vargas A. L., 2019).

1.4.2. Justificación social

La presente exploración posee una justificación social relevante, pues busca dar respuesta a una problemática que afecta directamente a la salud y calidades de vida de la población de Ayaviri, donde las aguas residuales provenientes del camal representan un riesgo de contaminación ambiental y sanitaria al ser vertidas sin un tratamiento adecuado. El uso de un recurso natural local como la piedra pómez para evaluar su capacidad de absorción no solo propone una alternativa de bajo costo y sostenible, sino que también promueve las participaciones comunitarias en los cuidados del medio ambiente, contribuyendo a la reducción de enfermedades de origen hídrico, la preservación de los ecosistemas y el fortalecimiento de la conciencia ciudadana respecto al manejo responsable de los recursos y residuos (Keiken, 2024).

1.4.3. Justificación ambiental

Desde el punto de vista ambiental la presente investigación sirve para encontrar soluciones sostenibles y efectivas para los tratamientos de aguas residuales, específicamente aquellas provenientes de camales, que contienen una alta concentración de materia orgánica y contaminantes. En este sentido, los usos de materiales naturales como la piedra pómez se sustenta en teorías y enfoques relacionados con la remoción de contaminantes mediante adsorción y filtración, los cuales han demostrado ser eficientes en diferentes contextos (Gómez & Estévez, 2010).

La piedra pómez, por su estructura porosa y su baja densidad, posee propiedades adsorbentes que permiten la captura y retención de partículas suspendidas y compuestos orgánicos. Desde una perspectiva teórica, el proceso de adsorción implica la adherencia de moléculas de contaminantes a la superficie de un sólido (en este caso, la piedra pómez) debido a fuerzas físicas o químicas. Las capacidades de adsorción de un material están influenciadas por varios factores, como su área superficial específica, los tamaños y las distribuciones de los poros, y la naturaleza química del material. En el caso de la piedra pómez, su alta porosidad y su estructura rugosa le otorgan un área superficial amplia, lo que teóricamente aumenta su capacidad para retener contaminantes expuestos en las aguas residuales (Bolívar, 2021).

1.4.4. Justificación económica

Esta exploración se justifica económicamente al proponer los usos de piedra pómez como materiales absorbentes en los tratamientos de aguas

residuales provenientes del camal de Ayaviri, ya que se trata de recursos naturales abundantes y de bajos costos en la región, lo que reduce significativamente los gastos en comparación con otros sistemas de tratamiento más sofisticados y costosos. Su implementación contribuiría a minimizar la inversión en tecnologías externas y al mismo tiempo generaría un ahorro sostenido en la gestión de residuos, favoreciendo la economía local y promoviendo un modelo de tratamiento accesible, replicable y sostenible para otras comunidades con limitados recursos financieros (Yang & Huang, 2025).

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

HG. La capacidad de absorción de la piedra pómez es significativa en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal en la localidad de Ayaviri – 2024.

1.5.2. Hipótesis específicas

HE1. Los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri están fuera de los LMP.

HE2. La influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicos (SST) es significativa en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

HE3. La influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) es significativa en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.



1.6. Variables

1.6.1. *Variable independiente*

Variable independiente: Piedra pómez

1.6.2. *Variable dependiente*

Variable dependiente: Tratamiento de las aguas residuales.

1.7. Operacionalización de las variables

Tabla 1.

Operacionalización de variable independiente.

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
VARIABLE INDEPENDIENTE Piedra Pómez	Dosificación de la piedra pómez	250gr de piedra pómez	Kg
		500gr de piedra pómez	Kg
		1000gr de piedra pómez	Kg
		1500gr de piedra pómez	Kg
	Tiempo de retención	24 horas	Hrs Horas
		5 días	
	Caudal	5 litros	l/s

Tabla 2.

Operacionalización de variable dependiente.

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
VARIABLE DEPENDIENTE Tratamiento de aguas residuales	Parámetros físicos	Sólidos Suspendidos totales SST	mg/l.
	Parámetros químicos	Demanda química del oxígeno DQO	mg/l O ₂ .
		Demanda bioquímica del oxígeno DBO	mg O ₂ /l



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

Linda & Macha (2023), quines se plantearon como objetivo examinar la capacidad de las rocas pómez para reducir la DBO y la DQO de las aguas residuales municipales y textiles, así como la reducción del color en las aguas residuales textiles. Ambos efluentes se trataron en una columna a escala de laboratorio de 4560 cm³ rellena con 800 g de rocas pómez de color crema, ligeras, porosas y con alto contenido de sílice (55,7 % p/p) de SiO₂. Con base en la capacidad de la columna, los 3500 cm³ de efluente se descargaron en la columna bajo fuerza gravitacional en un tiempo de retención hidráulica de 24, 48 y 72 h a temperatura ambiente. La DBO y la DQO se analizaron por los métodos respiratorio y de reflujo cerrado, respectivamente, mientras que la reducción de color de las aguas residuales textiles se monitoreó por UV-vis. Los resultados mostraron que la pómez está compuesta por un alto contenido de sílice (dióxido

de silicio) de aproximadamente 55,7% con algo de alúmina (óxido de aluminio) y trazas de otros óxidos. La pómez está compuesta principalmente de sílice amorfa con algunos cristales de zeolita natural. Los materiales de piedra pómez redujeron los valores iniciales de DBO y DQO de las aguas residuales municipales en un 65,2% y un 76,2%, respectivamente, después de un tiempo de retención de 72 h. Por otro lado, las rocas pómez parecieron ser más eficaces para reducir la DBO y la DQO de las aguas residuales textiles. Los resultados muestran que la DBO y la DQO de las aguas residuales textiles se redujo en un 75,7 % y un 93,5 %, respectivamente, tras 72 h de retención. Además, la piedra pómez redujo el color y la turbidez de las aguas residuales textiles en un 81,8 % tras 72 h de retención. Estos resultados son prometedores y demuestran el potencial de la piedra pómez, un material natural, en los tratamientos de aguas residuales.

Yang & Huang (2025), quienes indican que las aguas residuales porcinas contienen altos niveles de nutrientes y metales pesados que representan riesgos ambientales y agrícolas si se vierten sin tratamiento. Este estudio presenta un enfoque de tratamiento sostenible utilizando concha de ostra reciclada y piedra pómez (OP) para recuperar simultáneamente nutrientes e inmovilizar metales pesados en aguas residuales porcinas. La extracción secuencial reveló que el tratamiento con OP redujo significativamente las fracciones intercambiables de Cu y Zn en el estiércol porcino. Para evaluar el potencial de reutilización agrícola, se evaluó la bioseguridad mediante ensayos de germinación de *Caenorhabditis elegans* y col china. Los ensayos con *C. elegans* confirmaron que los medios tratados con OP eliminaron la toxicidad para el crecimiento y la reproducción

observada con el estiércol crudo. De igual manera, la germinación de las semillas y la elongación del tallo en la col china no se vieron afectadas o incluso mejoraron con la aplicación de OP. En un experimento de campo, los suelos tratados con OP mejoraron la producción de pepino, y la mezcla de OP al 50% superó a los fertilizantes orgánicos comerciales.

Váscone (2019) en su trabajo de investigación formulo su objetivo analizar la eficacia de la piedra pómez como filtro en los tratamientos de aguas residuales generadas por el centro de faenamiento de Ocaña. La metodología empleada es de tipo exploratoria bajo una modalidad descriptiva. La población estimada para el estudio es representada por la cantidad de las aguas residuales del camal durante 90 días, periodo en el cual se implementó el biofiltro de piedra pómez. En cuanto a los resultados, se encontró los comportamientos del caudal empleado en el centro de faena. Mediante el indicador del medidor, se registró que las cantidades de aguas residuales que ingreso al camal por un periodo de 7 días es de 275 m³, mientras que el caudal de descarga de aguas residuales resultó en un volumen semanal de 103.68 m³. En conclusión, los autores destacan que el análisis permitió obtener datos precisos sobre el volumen de agua utilizada y el caudal de descarga, elementos clave para la evaluación de la eficiencia del biofiltro a base de piedra pómez para tratamientos adecuados de las aguas residuales del camal.

Avellán, Delgado, y Chicaiza (2022) en su artículo científico tienen como objetivo evaluarse las eficiencias de los filtros gravitatorios con piedra pómez molida como reemplazos de las arenas finas en los tratamientos primarios de aguas residuales porcinas. La metodología utilizada es de enfoque deductivo



cuantitativo, con un nivel no experimental. El método cuantitativo se centró en determinar la fuerza de las asociaciones o correlaciones entre variables clave, como los SST, SDT, DQO. Entre los resultados, los autores encontraron que las aguas residuales porcinas presentaban valores de 580 mg/L para SST, 581 mg/L para SDT, más de 190,000 UFC/ml para coliformes fecales, 190,000 UFC/ml para coliformes totales y 820 mg/L para DQO. Estos valores superaban los límites permisibles establecidos por el TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). En conclusión, el estudio demostró que las aguas residuales porcinas contenían niveles de contaminantes significativamente elevados, lo que resaltó la necesidad de tratamientos efectivos como el filtro gravitatorio con piedra pómez molida para reducir dichos contaminantes y cumplir con los estándares ambientales establecidos.

Así mismo se tiene la investigación de López (2022), quien se planteó como objetivo, determinarse los porcentajes de remociones de materias orgánicas y nutrientes a las salidas de filtros intermitentes, proponiéndose tecnologías sustentables usando arena pómez en viviendas que no estén conectadas a alcantarillados municipales haciendo sus comparaciones con las legislaciones ambientales de Guatemala. Método: Ofreciendo una solución accesible para comunidades vulnerables, este proyecto desarrolló un sistema de tratamientos de aguas residuales en la Colonia Aurora II de Guatemala. Basándonos en investigaciones previas, analizamos científicamente el agua del biodigestor local y creamos una unidad que logró eliminar más del 80% de la materia orgánica y reducir significativamente otros contaminantes, cumpliendo con la normativa ambiental nacional. Estos resultados demuestran que es

posible implementar tratamientos biológicos efectivos que no solo mejoran las calidades del agua, sino que protegen nuestros ecosistemas con un enfoque ambientalmente responsable.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el ámbito nacional el autor Vergara, (2021), quien se planteó como objetivo, diseñar sistemas de biofiltros para mejorarse los manejos de aguas residuales domésticas. Teniendo como procedimiento metodológico de investigación de diseño experimental, nivel descriptivo, basado en técnicas de recolección documentaria. Los resultados del estudio revelaron que al utilizar piedra pómez como material filtrante, el sistema mostró una eficiencia limitada en la purificación del agua, logrando remover solo el 44% de sólidos suspendidos, 63% de demanda biológica de oxígeno y 59% de demandas químicas de oxígenos. Como conclusión fundamental, la investigación destaca que para garantizar el óptimo funcionamiento del biofiltro a lo largo del tiempo resulta indispensable implementar un programa de mantenimiento periódico y preventivo que permita verificar el estado de todos sus componentes, asegurando así que el sistema opere consistentemente según los parámetros establecidos en su diseño original.

De forma similar se tiene la investigación de Apaza (2021), quien se planteó como objetivo evaluar la eficiencia de un sistema combinado compuesto por la electrocoagulación y filtro biológico con piedra pómez. En este estudio se implementó un sistema combinado para tratar aguas residuales de las industrias lácteas, utilizando electrocoagulación con electrodos de aluminio y hierro,

seguido de un filtro biológico de piedra pómez. Los resultados demostraron que la electrocoagulación eliminó más del 80% de las cargas orgánicas iniciales, mientras que los filtros biológicos procesó eficientemente el remanente. En conjunto, el sistema logró una remoción destacada del 89.7% en DQO y 89.8% en DBO5, alcanzando un pH final equilibrado de 7.37. El estudio concluye que, aunque existen múltiples tecnologías para el tratamiento de estos efluentes, el sistema combinado de electrocoagulación y biofiltro se presenta como una alternativa muy prometedora debido a su alta eficiencia comprobada.

De la misma forma los investigadores Amasifuen y Morón, (2021) los autores en su trabajo científico tienen como objetivo determinar la dosis óptima de piedra pómez y carbones activados que mejoran los tratamientos de las aguas residuales generadas en el Camal Municipal de Moquegua. La metodología Para evaluar una solución práctica a la contaminación del agua en el Camal Municipal de Moquegua, se recolectaron 40 litros de agua residual en el momento de mayor actividad. Esta muestra se dividió en dos recipientes y se trasladó inmediatamente al laboratorio, donde se aplicaron diferentes dosis de piedra pómez y carbón activado para evaluar su capacidad de purificación. Los resultados fueron alentadores: el agua sin tratamiento presentaba niveles extremadamente altos de contaminación, con 9.547 mg/L de demandas bioquímicas de oxígenos y 1.422 mg/L de sólidos suspendidos. Tras el filtrado, estos valores se redujeron significativamente a 8.565 mg/L y 317 mg/L respectivamente, demostrando la notable eficacia de este método. Este estudio confirma que el uso combinado de piedra pómez y carbones activados representan alternativas viables y eficaces para mejorar las calidades del agua

residual en el camal, ofreciendo una esperanza concreta para reducir el impacto ambiental de estas actividades.

2.1.3. Antecedentes regionales

Vargas (2019) en su trabajo de grado tiene como finalidad evaluarse la eficacia de la piedra pómez como filtros en los tratamientos de aguas residuales verdes generadas en un camal de beneficios animales en Azoguini, Puno. La metodología consistió en los tratamientos de 875 litros de aguas residuales utilizando piedra pómez como filtro. Para cada tratamiento, se emplearon volúmenes de 35, 30 y 25 litros de agua residual verde, lo que permitió comparar la eficacia de diferentes cantidades de agua tratada en función de las retenciones de SST. Los hallazgos mostraron que la concentración inicial de SST en la muestra testigo fue de 4672 mg/L. Tras la aplicación del tratamiento con piedra pómez, la concentración de SST se redujo significativamente a 2458 mg/L, lo cual representaría una disminución del 47.4%. En conclusión, el uso de piedra pómez como filtros en los tratamientos de aguas residuales verdes resultó ser eficaz, logrando una retención considerable de SST. Estos resultados evidencian la viabilidad del uso de este material en las mejoras de las calidades de las aguas tratadas en centros de beneficio animal.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Piedra pómez

La piedra pómez, también conocida como pumita, es un regalo de la naturaleza que nace de las entrañas de los volcanes. Cuando un volcán entra en erupción, expulsa este material único que posee cualidades extraordinarias: es

químicamente neutro, resistente al fuego y no se descompone. Lo que la hace especialmente valiosa para filtrar agua es su estructura porosa en dos niveles. Imagínela como una esponja natural de doble filtro: mientras los poros más finos de cada piedra atrapan las partículas pequeñas, los espacios entre las piedras forman un segundo filtro que retiene las partículas más grandes. Esta combinación inteligente de la naturaleza la convierte en un material excepcional para retener sólidos y purificar el agua de manera completamente natural. (Maldonado & Vásconez, 2018)

2.2.1.1. Características químicas de la piedra pómez

La piedra pómez es un material fascinante, lleno de pequeños poros y cavidades que le permiten absorber y retener agua con gran eficacia. Es increíblemente ligera tan liviana que puede flotar en el agua, y su textura suave facilita darle forma. Además, es un material muy resistente: soporta condiciones extremas de frío, calor y la intemperie sin deteriorarse, y no libera sales dañinas al entrar en contacto con el agua, lo que la hace ideal para su uso en sistemas de filtración sostenibles (Maltre, 2015).

Tabla 3.

Características químicas del material pomáceo

Fórmula del compuesto	Nomenclatura internacional	Porcentaje
SiO ₂	Anhídridos silícicos	65,90%
AlO ₃	Óxidos de aluminios	11,20%
Fe ₂ O ₃	Óxidos de férricos	1,25%
MgO	Óxidos de manganesos	0,52%
Na ₂ O	Óxidos de sodios	2,10%
K ₂ O	Óxidos de potasios	3,20%

Nota: (Siza, 2018)

Tabla 4.*Características físicas de la piedra pómez*

Parámetro	Valor
Contenidos de humedad	3,4%
Densidades	0,4 a 0,9 g cm ³
Colores	Gris
Capacidades de absorción	90 veces su peso

Nota: (Nata, 2018).

2.2.1.2. Piedra pómez como filtro

La piedra pómez actúa como un filtro natural que no solo detiene las impurezas, sino que crea un hogar para pequeños aliados. Gracias a su superficie porosa y rugosa, atrapa las partículas sólidas mientras deja pasar el agua. Pero su verdadera magia está en su composición química, que favorece el crecimiento de bacterias beneficiosas. Estos microorganismos se alimentan de las materias orgánicas contaminantes, transformando naturalmente las aguas residuales en un recurso más limpio y seguro (Vargas A. L., 2019).

2.2.1.3. Capacidad de absorción de la piedra pómez

De acuerdo a Farizoglu et al. (2003) menciona que la piedra pómez tiene gran área superficial y alta porosidad, por lo que se utiliza como material de soporte de biopelículas para aguas residuales y material de agua. Por ello Vásconez (2017) La piedra pómez es un material extraordinariamente liviano y resistente, lo que la convierte en el aliado perfecto para crear estructuras más ligeras sin sacrificar durabilidad. Pero sus virtudes no terminan ahí: gracias a su gran capacidad de absorción, actúa como una esponja natural que retiene tanto materia orgánica como inorgánica, purificando y filtrando de manera eficaz y

sostenible. De acuerdo a Kuslu & Sahin (2013) la eficiencia de eliminación de sólidos promedio más alta se determinó con piedra pómez más un filtro de arena y grava al 90,5 %. A su vez Nata (2018) menciona al ser un agregado liviano y a su alta capacidad de absorción puede utilizarse en la fabricación de filtros.

2.2.2. Aguas residuales

Son el agua que ya hemos usado en nuestros hogares, industrias y comercios, y que ha cambiado por completo su estado natural. Al estar cargada de sustancias y residuos, necesita pasar por un proceso de limpieza antes de poder tener una segunda oportunidad: ya sea para reutilizarse, integrarse de manera segura a un río o lago, o incorporarse al sistema de alcantarillado sin afectar el medio ambiente (Mendoza & Restrepo, 2019).

Aguas Residuales Domésticas: la que usaste para lavar los platos, bañarte, lavar la ropa o descargar el inodoro. Esa agua, que lleva consigo los residuos de nuestra vida cotidiana, es lo que llamamos "aguas residuales domésticas". Antes de volver a las naturalezas o ser reutilizadas, necesita un tratamiento que la limpie y le devuelva su equilibrio natural (Mendoza & Restrepo, 2019).

Aguas Residuales Industriales: el agua utilizada en industrias como la alimentaria, minera, agrícola y energética para la fabricación de bienes y productos. Estas aguas llevan consigo residuos específicos de cada actividad y, por ello, necesitan ser tratadas de manera especializada antes de incorporarse al sistema de alcantarillado municipal, asegurando así que no afecten al medio ambiente ni a la infraestructura urbana (Mendoza & Restrepo, 2019).

Aguas Residuales Municipales: El agua que ha sido usada en hogares (lavado, cocina, baño) El agua de lluvia que recogen las alcantarillas Y, en algunos casos, aguas industriales que ya han pasado por un tratamiento inicial Esta mezcla es la que llega a los sistemas de alcantarillado de nuestras ciudades, listas para ser tratadas antes de devolverlas al medio ambiente.(Mendoza & Restrepo, 2019).

2.2.3. Tratamiento de aguas residuales

Los tratamientos de aguas residuales busca proteger nuestros ríos, lagos y mares de múltiples formas de contaminación. Su propósito fundamental es evitar que sustancias físicas, químicas y biológicas lleguen a estos cuerpos de agua, preservando su equilibrio natural y garantizando que sigan siendo fuentes de vida.

- (a) Dañados los abastecimientos de agua públicas, privados e industriales.
- (b) Dañar las aguas que se utilizan para la recreación y el ocio.
- (c) Perjuicios a las actividades pesqueras.
- (d) Deterioro del valor de la tierra y perjuicios en la agricultura.
- (e) Efecto sobre el medio ambiente ecológico.

Estos materiales naturales son ideales para filtrar aguas residuales, ya que su estructura porosa y resistente actúa como un "hogar" para microorganismos beneficiosos que forman una capa biológica activa. Los resultados son concretos: eliminan el 51.5% de la contaminación química (DQO) y el 48.6% de las demandas biológicas de oxígenos (DBO), lo que significa que limpian eficazmente más de la mitad de los contaminantes orgánicos del agua.

Lo mejor de todo es que representan una solución económica, accesible incluso para comunidades con recursos limitados que necesitan alternativas sostenibles (Galindo, Toncel, & Rincón, 2016).

2.1.1.1. Parámetros fisicoquímicos

Para entender qué tan contaminadas están las aguas residuales, necesitamos analizar diferentes características físicas y químicas que funcionan como un "termómetro" de su estado. Estos parámetros nos dan información valiosa sobre las calidades del agua, permitiéndonos identificar los contaminantes presentes y determinar el tratamiento más adecuado para devolverle su equilibrio natural.

Dentro de estos parámetros tenemos:

DQO (Demanda química del oxígeno)

La DQO nos revela el "apetito de oxígeno" del agua contaminada

Imagina que queremos medir toda las materias orgánicas presentes en el agua - tanto la que se puede descomponer naturalmente como la que resiste la biodegradación. La DQO es un método químico que simula en solo 3 horas lo que la naturaleza tardaría semanas en hacer: utiliza un oxidante fuerte (dicromato de potasio) en un ambiente ácido para convertir toda las materias orgánicas en dióxidos de carbonos y aguas (Doménech & Peral, 2006). La clave está en que mide el oxígeno necesario para estabilizar completamente la muestra, incluyendo sustancias tóxicas y materiales no biodegradables que otros parámetros no detectarían. Es como una "fotografía completa" de la contaminación orgánica del agua.

DBO (Demanda bioquímica del oxígeno)

La DBO nos cuenta una historia silenciosa: mide cuánto oxígeno necesitan los microorganismos acuáticos para descomponer las materias orgánicas presentes en el agua, transformándola en dióxido de carbono en un proceso natural de purificación.

SST (Sólidos suspendidos totales)

(Hernández & Bojaca, 2007) El agua en su estado natural contiene tres tipos de materiales: partículas visibles que son arrastradas por la corriente, otras tan pequeñas que permanecen flotando sin sedimentarse con facilidad, y algunas que se integran completamente en el agua. Las partículas más grandes suelen asentarse formando lodos consistentes, mientras que las más finas permanecen en suspensión, definiendo así la claridad y características del agua que encontramos en la naturaleza.

2.1.1.2. Camal

(Gómez & Estévez, 2010). Un matadero es un espacio esencial en nuestra cadena alimentaria, creado específicamente para realizar el sacrificio y procesamiento de animales que luego se convertirán en alimento para las personas. Sus funciones van más allá de la simple producción: busca garantizar que este proceso sensible se realice con los estándares de higiene, respeto y cuidados necesarios, asegurando que la carne que llega a las mesas cumpla con todas las normas de salubridad y calidad.

Los mataderos se organizan según el tipo de animal que procesan, buscando adaptarse a las necesidades específicas de cada especie. Así, existen

espacios especializados en animales de abasto como vacas, cerdos, ovejas y cabras; otros se dedican exclusivamente a aves, desde pollos y pavos hasta especies menos comunes como faisanes o avestruces; y también los hay destinados a la cría de conejos, siempre con el propósito común de garantizar la seguridad alimentaria en el suministro de carne.

Clasificación de los mataderos o camales

Según el ministerio de agricultura, la categorización de los mataderos se realiza conforme al reglamento sanitario del faenado de animales de abasto.

Tabla 5.

Clasificación de los mataderos

Clasificación	Capacidad de animales a sacrificar
Categoría 1	Bovinos 10 Porcinos: 20 Ovinos y caprinos: 30
Categoría 2	Mayor a categoría 1
Categoría 3	Mayor a categoría 1 y 2

Nota: (Gómez & Estévez, 2010)

2.1.1.3. Identificación de los impactos ambientales

En el Departamento de Lambayeque, los Mataderos Municipales desarrollan una labor esencial para la alimentación de la comunidad, pero durante sus procesos de producciones generan cantidades significadoras de residuos líquidos, sólidos y emisiones que, sin un manejo adecuado, pueden afectar el equilibrio ambiental de la zona.

Existen diversas herramientas diseñadas para prever cómo un proyecto afectará su entorno natural y social. Entre ellas, los métodos matriciales se destacan por permitirnos identificar y valorar de manera organizada tanto los impactos positivos como los negativos, ofreciéndonos así una visión clara de las consecuencias ambientales antes de tomar decisiones (Niño, 2015).

Contaminación por residuos Sólidos

En el matadero, las gestiones de los residuos representa un grave problema tanto ambiental como de salud pública. Los desechos no reciben un tratamiento adecuado: son acumulados de manera provisional en espacios inapropiados, sin usar contenedores cerrados o identificados, lo que atrae moscas, cucarachas y roedores. Posteriormente, estos residuos son trasladados y arrojados directamente a un vertedero, agravando así el impacto ambiental y exponiendo a la comunidad a riesgos sanitarios prevenibles.

Tabla 6.

Composición de Residuos Sólidos

Recepción del ganado	Estiércol
Desollados	Cuernos
	Trozos de pieles
Eviscerados	Contenidos Ruminales
	Vísceras no aptas para los consumos
Cortes y lavados de canales	Grasas
Clasificaciones y transportes de los canales de vísceras	Canales decomisadas
Almacenamientos y comercializaciones	Canales y vísceras en malas estados

Nota: (Niño, 2015)

Contaminación por efluentes

En los mataderos, las actividades diarias generan grandes volúmenes de agua residual cargada de sustancias orgánicas, grasas y compuestos nitrogenados que alteran profundamente su composición. Lamentablemente, estos desechos líquidos suelen verterse directamente a la alcantarilla o a ríos cercanos, contaminando no solo los ecosistemas acuáticos sino también poniendo en riesgos la salud de las comunidades, al convertirse en un posible foco de infecciones y enfermedades.

Caracterización de los efluentes

Tabla 7.

Caracterizaciones de los efluentes

Lavado	Agua residual con tierra, estiércol y orina.
Aturdimiento	Sangres Aguas residuales con sangres
Degollado	Aguas residuales con sangres
Desollado	Aguas residuales con sangres
Eviscerado	Aguas residuales de los lavados de vísceras
Lavado de canal	Aguas residuales con sangres
Clasificación de canales	Aguas residuales con detergentes

Nota: (Niño, 2015).

2.1.1.4. Indicaciones de proceso de muestreo

La recolección de muestras de aguas residuales, según la NTP 214.060:2016, debe realizarse en puntos representativos del efluente, utilizando recipientes limpios y estériles, y siguiendo un protocolo que garantice la representatividad de la muestra. El muestreo puede ser puntual o compuesto, dependiendo del objetivo del análisis, y debe incluir el registro detallado de fecha,

hora, ubicación, tipo de muestra y condiciones ambientales. Es fundamental evitar la contaminación cruzada, utilizar equipos adecuados como bombas peristálticas o dispositivos de inmersión, y etiquetar correctamente cada recipiente para asegurar la trazabilidad del proceso (NTP 214.06, 2016).

2.1.1.5. Indicaciones sobre le procesos de conservaciones

La conservación de las muestras debe realizarse inmediatamente después del muestreo, manteniéndolas a una temperatura de 4 °C mediante refrigeración en cajas térmicas con hielo, y aplicando conservantes químicos específicos según el parámetro a analizar (por ejemplo, ácido sulfúrico para DQO o ácido nítrico para metales). Cada parámetro tiene un tiempo máximo de conservación definido, que varía entre 6 horas y varios días, siendo crítico respetar estos plazos para garantizarse la validación de los hallazgos. Además, se debe evitar las exposiciones a la luz solar directa, documentar el tipo de conservación aplicada y asegurar que el transporte al laboratorio se realice sin interrupciones en la cadena de frío (NTP 214.06, 2016).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Agua

Según Fernández (2012), el agua es el alma de nuestro planeta: cubre más del 70% de la Tierra, fluye en océanos, ríos y lagos, impregna el aire y nutre la tierra. Es el corazón de la vida y un pilar del equilibrio climático, capaz de esculpir paisajes con su fuerza silenciosa. Sus cualidades la hacen irrepetible: es el solvente universal, aliada esencial de los procesos vitales, reguladora

natural de temperatura y poseedora de la singular virtud de expandirse al congelarse. Con su fluir constante, el agua no solo sustenta la existencia, sino que redefine entornos y modula el clima que habitamos.

2.3.2. Aguas negras

Mendoza (2021) existen aguas que han tenido contacto con excretas humanas o de animales, lo que las convierte en un riesgo latente para la salud. La particularidad más preocupante de estas aguas es que contienen una alta concentración de microorganismos potencialmente patógenos, siendo vehículo de enfermedades que pueden afectar a las comunidades y al medio ambiente si no se gestionan de formas adecuadas.

2.3.3. Aguas rojas

Las aguas rojas están asociadas a la sangre del animal sacrificado (Fernández, 2012).

2.3.4. Aguas verdes

De acuerdo con Fernández (2012) las llamadas "aguas verdes" provienen específicamente de los residuos presentes en los intestinos de los animales durante el sacrificio. Este tipo de agua representa uno de los mayores desafíos en los procesos, ya que es la que genera la mayor cantidad de sólidos que se depositan en el fondo, dificultando significativamente el tratamiento posterior y aumentando el impacto ambiental si no se maneja adecuadamente.

2.3.5. Análisis del Ciclo de Vida en aguas residuales

Existe una metodología que nos permite seguir la "huella ambiental" completa de cualquier producto o servicio, analizando cada etapa de su existencia. Este enfoque identifica, mide y evalúa todos los recursos que consumen y los residuos que generan, desde su creación hasta su disposición final, revelando así su impacto real en el medio ambiente a lo largo de toda su vida útil (Riveros, 2020).

2.3.6. Parámetros de control de agua

De acuerdo al DGSA (2015), existen ciertos microorganismos que actúan como "termómetros de la contaminación" en el agua que consumimos. Estos pequeños organismos nos alertan sobre la posible presencia de gérmenes peligrosos para la salud humana, sirviendo como una señal de advertencia temprana que nos ayuda a proteger a las comunidades de enfermedades transmitidas por el agua.

2.3.7. Demanda Química de Oxígeno

La DQO es como un "termómetro" que mide todas las materias orgánicas presentes en el agua, calculando el oxígeno necesario para descomponerla químicamente. Siempre nos dará un valor más alto que la DBO, ya que revela no solo lo que la naturaleza puede degradar, sino también aquellos contaminantes que solo responden a tratamientos químicos más intensos (Riveros, 2020).

2.3.8. Caudal

El caudal es el volumen de un fluido como agua o petróleo que atraviesa una tubería, río o canal en un determinado tiempo. Podemos imaginarlo como la "cantidad de flujo" que circula continuamente, medido comúnmente en litros por segundo o metros cúbicos por hora, reflejando así la intensidad con la que un líquido se mueve por un conducto o cauce natural (Landaeta, 2019).

2.3.9. Aceites y grasas

Los aceites y grasas presentes en aguas residuales constituyen un grupo de contaminantes de origen animal, vegetal o mineral que se incorporan a los efluentes como resultado de actividades domésticas, comerciales e industriales, particularmente de procesos culinarios, producción alimentaria y mantenimiento vehicular. Estas sustancias se manifiestan visualmente como una película iridiscente de baja solubilidad que forma una capa superficial sobre el medio acuoso, alterando la transferencia de oxígeno y afectando los procesos de tratamiento biológico. (Marina, 2014).

2.3.10. Coliformes Termotolerantes

Los coliformes termotolerantes, denominados técnicamente como indicadores de contaminación fecal, constituyen un grupo bacteriano que habita naturalmente en los tractos intestinales de humanos y animales homeotermos. Su detección en aguas residuales evidencia una contaminación de origen fecal reciente, lo que implica un riesgo sanitario potencial al sugerir la posible presencia de patógenos entéricos como virus, bacterias patógenas y parásitos,

comprometiendo la seguridad microbiológica del recurso hídrico (Ariana, Armando, & Carlos, 2018).

2.3.11. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La DBO son parámetros analíticos fundamentales que cuantifican la carga orgánica biodegradable presente en un cuerpo de agua. Esta prueba determinaría los oxígenos disueltos requeridos por los microorganismos aerobios para estabilizarse las materias orgánicas mediante procesos bioquímicos en un período estandarizado de 5 días (DBO5), constituyéndose como un indicador clave de la contaminación antrópica y del potencial impacto sobre los ecosistemas acuáticos (Lecca & Ruiz, 2014).

2.3.12. Demanda Química de Oxígeno

Las DQO constituyen un parámetro analítico que cuantifica espectro completo de materia oxidable en medios acuosos, incluyendo compuestos orgánicos y diversos sustratos inorgánicos. Mediante la aplicación de un agente oxidante fuerte en condiciones ácidas y temperatura elevada, este método determina el equivalente de oxígenos requeridos para las oxidaciones químicas completas de los contaminantes, proporcionando una valoración integral de la carga contaminante en un período significativamente menor que los ensayos biológicos convencionales (Newsheen, 2019).

2.3.13. pH

El control del pH en aguas residuales representa un parámetro crítico en el tratamiento de efluentes, dado que valores extremos ya sea hacia la acidez o

alcalinidad pueden ejercer efectos tóxicos sobre la biota acuática, provocar corrosión o incrustaciones en la infraestructura de conducción, y comprometer la eficiencia de los procesos biológicos y fisicoquímicos de depuración. Mantener el pH dentro de los rangos óptimos (generalmente entre 6.5 y 8.5) es esencial para garantizarse la protección de los ecosistemas receptores, la integridad de los sistemas de saneamiento y la seguridad sanitaria de las aguas tratadas (Amaya, 2004)

2.3.14. Sólidos Totales en Suspensión

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) constituyen material particulado de origen diverso como sedimentos, materia orgánica coloidal y partículas antropogénicas que permanecen en suspensión dentro de una matriz acuosa. Estas partículas, que pueden incluir desde fracciones minerales hasta compuestos orgánicos no disueltos, generan turbidez y afectan directamente la transparencia del cuerpo hídrico, siendo indicadores clave de las calidades físico-químicas del agua y de las eficiencias de los procesos de tratamiento de efluentes. (Bolívar, 2021).

2.3.15. Temperatura

Las temperaturas de las aguas residuales constituyen un parámetro físico fundamental con implicancias críticas en los procesos de tratamientos biológicos y en la estabilidad de los ecosistemas receptores. Las variaciones térmicas afectan directamente la cinética de las reacciones bioquímicas, la solubilidad de gases como el oxígeno disuelto, y las estructuras de las comunidades microbianas responsables de las depuraciones, por lo que su monitorización y

control son esenciales para garantizar la eficiencia operacional y minimizar el impacto ambiental (Ramírez, 2020).

2.3.16. Eficacia

Las eficacias de la piedra pómez en los tratamientos de aguas residuales se evalúan mediante su capacidad de remoción de contaminantes, cuantificada a través de la reducción significativa de parámetros críticos como turbidez, DBO5, DQO y SST. El material volcánico actúa como medio filtrante y soporte biológico, donde una mayor eliminación de estos indicadores demuestra un desempeño optimizado en las mejoras de las calidades del efluente y su aptitud para vertimiento o reúso (Ramírez, 2020)

2.3.17. Influencia

La piedra pómez, debido a su matriz porosa de alta superficie específica y baja densidad, ejerce un efecto significativo en los tratamientos de aguas residuales al funcionar como medio filtrante y soporte biológico. Su estructura multifísica permite la retención mecánica de partículas en suspensión y simultáneamente favorece la adhesión y desarrollo de biopelículas microbianas, optimizando los procesos de biodegradación de materias orgánicas y mejorando los índices de calidad del efluente tratado (Galindo, Toncel, & Rincón, 2016).



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación

De acuerdo con Monje (2011) el diseño experimental constituye una metodología científica orientada a establecer relaciones causales mediante las manipulaciones sistemáticas de variables independientes y la medición controlada de sus efectos sobre variables dependientes. Este enfoque metodológico permite al investigador aislar factores de confusión mediante protocolos de control, facilitando la verificación de hipótesis en condiciones replicables que garantizan la validez interna de los hallazgos.

Tal como se indica en la teoría, esta exploración es de diseño experimental, en donde se trata de encontrar las relaciones que existe entre las variables de exploración, causa y efecto.

3.2. Tipo de investigación

La exploración aplicada es una modalidad de estudio centrada en solucionar problemas concretos y producir saberes que puedan ser utilizados directamente para optimizar productos, servicios o procesos. La exploración aplicada se enfoca en proporcionar respuestas concretas a retos particulares en campos como la tecnología, la salud, la educación y la industria, entre otros. Contrariamente a la investigación básica, cuyo propósito es expandir el conocimiento teórico sin un objetivo inmediato. (Lozada, 2014).

De la misma forma como se menciona en la teoría anterior, este estudio presenta una investigación de tipo aplica, en donde esta investigación está enfocada en resolver problemas del estudio teniendo en consideración todos los conocimientos que se tiene hasta la actualidad.

3.3. Nivel de investigación

La exploración de nivel descriptivo-explicativo combina dos enfoques: el descriptivo y el explicativo. En su primera fase, el estudio se enfoca en describir detalladamente un fenómeno, sus características y comportamientos. Esta etapa descriptiva se encarga de observar y documentar cómo es el fenómeno sin alterar ni manipular las variables, proporcionando una visión clara de la realidad. En la segunda fase, de carácter explicativo, la investigación busca identificar las causas o factores que originan o influyen en el fenómeno observado. A través de análisis más profundos, se pretende comprender las relaciones entre variables, estableciendo conexiones causales o correlaciones que permitan explicar por qué y cómo ocurre el fenómeno (Guevara, Verdesoto, & Castro, 2020).

Así Como se menciona en la teoría, esta investigación empleará dos niveles de análisis: descriptivo y explicativo. En primer lugar, se comenzará con la descripción detallada de cada fenómeno observado, con el fin de proporcionarse visiones claras de su naturaleza. Posteriormente, se procederá a la fase explicativa, en la cual se analizarán las causas y efectos de los fenómenos, con el objetivo de comprender las relaciones y mecanismos que los originan.

3.4. Enfoque de la investigación

La recolección y el análisis de datos numéricos para describir, explicar o prever fenómenos son las características que definen el enfoque cuantitativo como método de exploración. Emplea herramientas informáticas, matemáticas y estadísticas para analizar las relaciones entre variables y alcanzar resultados exactos y generalizables. Esta perspectiva se fundamenta en la objetividad y su objetivo es reducir el impacto de elementos subjetivos en el proceso de exploración. (Babativa, 2017).

Tras la teoría que se menciona, la presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, en donde la recolección y el análisis son de datos numéricos, al inicio y durante los procesos de exploración.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Se denomina población al total de individuos del fenómeno que se va a investigar, en el cual todos los elementos comparten una característica común, la cual es objeto de estudio y produce los datos de la exploración. (Rojas, 2022).

La exploración presenta como población el agua residual resultante del camal Municipal de Ayaviri.

La cantidad de ganado entre vacuno, ovino y porcino que se sacrifica son en el camal de la localidad de Ayaviri son alrededor de 45 cabezas, generando un volumen de 2500 l/día de aguas residuales.

3.5.2. Muestra

El muestreo aleatorio simple es el método de muestreo en el cual todos los componentes que constituyen la población objeto de estudio tienen las mismas posibilidades de ser seleccionados para formar parte de la muestra. (Hernández, Collado, & Baptista, 2014).

La muestra empleada en la presente investigación, será por proporciones y por cada tratamiento desde las propiedades iniciales T0 hasta T4, en donde se empleará una cantidad de 15 litros de aguas residuales del camal municipal de la localidad de Ayaviri, todo esto para poder realizar los ensayos de propiedades físicas y mecánicas.

Tabla 8.

Cuadro de muestreo.

Propiedades	Muestreo (litro)		
	7	Días 14	21
T – inicial T0	1.00	1.00	1.00
T1 – 250g	1.00	1.00	1.00
T2 – 500g	1.00	1.00	1.00
T3 – 1000g	1.00	1.00	1.00
T4 – 1500g	1.00	1.00	1.00
Total		15.00	

3.6. Materiales y equipos

3.6.1. *Recolección de muestras*

Materiales

- Botellas de muestreo: de vidrio o plástico (polietileno o PVC), con capacidad de 500 mL a 1 L, previamente esterilizadas.
- Etiquetas adhesivas: para identificar cada muestra con fecha, hora, lugar y tipo de muestra.
- Guantes de nitrilo o látex: para evitar la contaminación cruzada y proteger al operador.
- Conservantes químicos: como ácido sulfúrico o formol, según el parámetro a analizar (por ejemplo, para DBO o metales pesados).
- Hielo o bolsas refrigerantes: para mantener la muestra a baja temperatura durante el transporte.

Equipos

- Muestreador tipo bailer o botella de inmersión: para tomar muestras puntuales en pozas, canales o ríos.
- Muestreador automático (autosampler): para recolectar muestras compuestas en intervalos programados, ideal en plantas de tratamiento.

- Termómetro digital: para medir la temperatura del agua en el momento de la toma.
- Medidor portátil de pH y conductividad: para obtener datos in situ.
- GPS o dispositivo móvil: para registrar la ubicación exacta del punto de muestreo.
- Caja térmica o cooler: para el transporte seguro de las muestras al laboratorio.

3.6.2. Procesamiento del ensayo

Materiales:

- Filtros de fibra de vidrio (tipo GF/C o equivalente)
- Papel aluminio o cápsulas de aluminio para pesar los filtros
- Agua destilada
- Pinzas metálicas

Equipos:

- Balanza analítica (precisión de 0.0001 g)
- Estufa de secado (105 °C)
- Desecador con sílica gel

- Sistema de filtración (bomba de vacío + embudo Buchner)
- Crisol filtrante o soporte para filtros

3.7. Técnicas e instrumentos

3.7.1. Técnicas

El método de observación directa será la técnica que se aplicará. Este es un método de recolección de datos que consiste, en esencia, en observar el objeto de estudio en un contexto específico. De acuerdo a Ñaupas et al. (2018) son un conjunto de procedimientos para regular un determinado proceso y alcanzar un determinado objetivo.

3.7.2. Instrumentos

Los instrumentos son herramientas, ya sean conceptuales o materiales, que se utilizan para recopilar datos e información que requieren respuestas. De acuerdo con el autor, la lista de cotejo será el instrumento a utilizar para investigar y recopilar datos, Ñaupas et al. (2018) explica que la lista de control o de cotejo comprende una serie de elementos relacionados con rasgos, ejecuciones y actividades que requieren que el observador señale únicamente si se lleva a cabo o no un comportamiento, si una característica específica está presente o no en la actuación observada, entre otras cosas.

3.8. Lugar de estudio

El lugar de ubicación de la presente investigación es en el camal y/o matadero municipal de la ciudad de Ayaviri provincia del melgar región Puno.

Las muestras fueron llevados al laboratorio de la universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez de Juliaca.

3.9. Procedimiento metodológico

3.9.1. *Determinar los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.*

A. Proceso de recolección de muestra según la NTP 214.060

Selección del punto de muestreo

Ubicarlo en un tramo representativo del efluente, evitando zonas de turbulencia excesiva o estancamiento.

Tipo de muestra

Puntual: recolectar directamente en un recipiente en un solo momento.

Compuesta: recolectar submuestras en intervalos regulares (ej. cada 15 min durante 2 horas) y mezclarlas en un recipiente único.

Volumen de muestra

Generalmente entre 1 y 2 litros, dependiendo de los análisis requeridos.

Conservación inmediata

Refrigerar a 4 °C en cajas térmicas con hielo.

Para parámetros específicos (ej. metales, nutrientes), adicionar conservantes químicos según la norma.

Etiquetado

Código de muestra, fecha, hora, lugar, tipo de muestra y responsable.

B. Proceso de conservación de la muestra**Aplicación de conservantes**

Para DQO: agregar ácido sulfúrico concentrado hasta alcanzar $\text{pH} < 2$.

Para otros parámetros: no se requiere conservante, solo refrigeración.

Refrigeración

Usar cajas térmicas con hielo o acumuladores de frío.

Mantener la muestra entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Etiquetado

Incluir: código de muestra, fecha/hora de recolección, tipo de ensayo, conservante aplicado (si corresponde), nombre del responsable.

Transporte

Evitar exposición solar directa.

Entregar al laboratorio dentro del tiempo máximo de conservación.

Registro

Documentar en el acta de muestreo:

Tipo de muestra

Conservación aplicada

Hora de llegada al laboratorio

Tabla 9.

Cuadro de conservación de las muestra

Parámetro	Conservación recomendada	Tiempo máximo de conservación
Temperatura	Medición inmediata en campo	In situ
pH	Medición inmediata en campo	In situ
Sólidos totales en suspensión (STS)	Refrigerar a 4 °C con conservantes	sin 7 días
Demanda química de oxígeno (DQO)	Refrigerar a 4 °C + acidificar con H ₂ SO ₄ a pH < 2	7 días
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	Refrigerar a 4 °C con conservantes	sin 48 horas
Aceites y grasas	Refrigerar a 4 °C con conservantes	sin 28 días
Coliformes termotolerantes	Refrigerar a 4 °C con conservantes	sin 6 horas ideal, máx. 24 horas

3.9.2. Determinar la influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicos (SST) en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

A. Procedimiento de elaboración de ensayo de solidos totales suspendidos según la NTP 214.039

Preparación del filtro

Lavar el filtro con agua destilada.

Secar en estufa a 103–105 °C durante 1 hora.

Enfriar en desecador y pesar (peso inicial).

Filtración de la muestra

Homogeneizar la muestra de agua residual.

Filtrar un volumen conocido (ej. 500 mL) a través del filtro previamente tarado.

Evitar pérdidas de sólidos por derrames o salpicaduras.

Secado del residuo

Colocar el filtro con los residuos en la estufa a 103–105 °C.

Secar hasta peso constante (aprox. 1 hora, repetir si es necesario).

Enfriamiento y pesado

Enfriar el filtro en desecador para evitar absorción de humedad.

Pesar en balanza analítica (peso final).

Procedimiento de elaboración de ensayo de coliformes termotolerantes según la NTP 360.506

Preparación de diluciones

Homogeneizar la muestra de agua residual.

Preparar diluciones decimales en agua peptonada estéril si es necesario.

Inoculación en tubos múltiples

Distribuir alícuotas de la muestra en series de tubos con caldo lactosado.

Generalmente se usan tres series con 5 tubos cada una, en diferentes volúmenes (ej. 10 mL, 1 mL, 0,1 mL).

Incubación inicial

Incubar los tubos a 35–37 °C durante 24–48 horas.

Observar formación de gas en la campana de Durham y cambio de color como indicio de fermentación.

Prueba confirmativa

Transferir alícuotas de los tubos positivos a caldo EC.

Incubar a 44–45 °C durante 24 horas.

La producción de gas confirma la presencia de coliformes termotolerantes.

Procedimiento de elaboración de ensayo de aceites y grasas según la NTP 209.006

Preparación de la muestra

Homogeneizar la muestra de agua residual.

Medir un volumen conocido (ej. 500 mL).

Extracción con solvente

Colocar la muestra en un embudo separador.

Añadir el solvente orgánico (ej. hexano).

Agitar vigorosamente y dejar reposar para separar fases.

Recuperar la fase orgánica (que contiene aceites y grasas).

Repetir la extracción al menos 3 veces para asegurar eficiencia.

Concentración del extracto

Reunir las fases orgánicas en un matraz previamente tarado.

Evaporar el solvente en evaporador rotatorio o baño maría.

Secar los residuos en estufa a 103–105 °C hasta pesos constantes.

Enfriamiento y pesado

Enfriar el matraz en desecador para evitar absorción de humedad.

Pesar en balanza analítica (peso final).

3.9.3. Determinar la influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

Preparación de los frascos:

Etiquetado de cada frasco cuadrado según la cantidad de piedra pómez que se va a utilizar: 250 g, 500 g, 1000 g y 1500 g.

Verificar que cada frasco esté limpio y seco antes de iniciar el experimento.

Incorporación de la piedra pómez:

Agregar la piedra pómez en la cantidad correspondiente a cada frasco:

Frasco 1: 250 g

Frasco 2: 500 g

Frasco 3: 1000 g

Frasco 4: 1500 g

Adición del agua residual:

Llenar cada frasco con 1 litro de agua residual recolectada directamente del camal municipal de Ayaviri.

Mezclado y contacto:

Dejar reposar los frascos en un lugar estable y sin movimiento durante un tiempo determinado (7, 14 y 21 días) para permitir la adsorción y filtración de contaminantes por parte de la piedra pómez.

Observación y análisis:

Transcurrido el tiempo de reposo, observar cambios visibles en el agua (claridad, color, sedimentos).

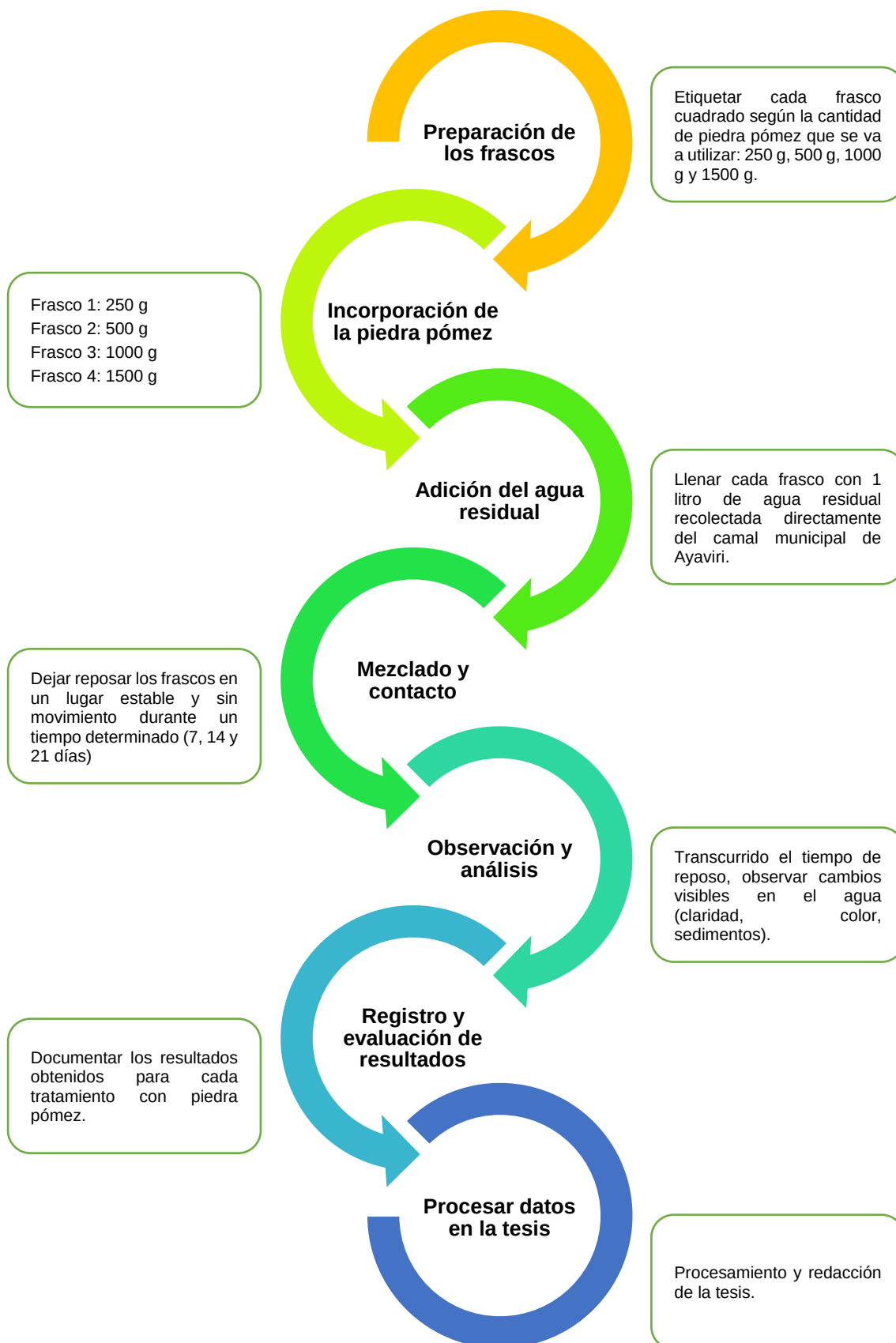
Tomar muestras para análisis físico-químico comparativo, evaluando parámetros y otros indicadores de contaminación.

Registro y evaluación de resultados:

Documentar los resultados obtenidos para cada tratamiento con piedra pómez.

Comparar la eficiencia del tratamiento según la cantidad de piedra pómez usada.

Figura 1.
Diagrama de procedimiento.





CAPÍTULO IV

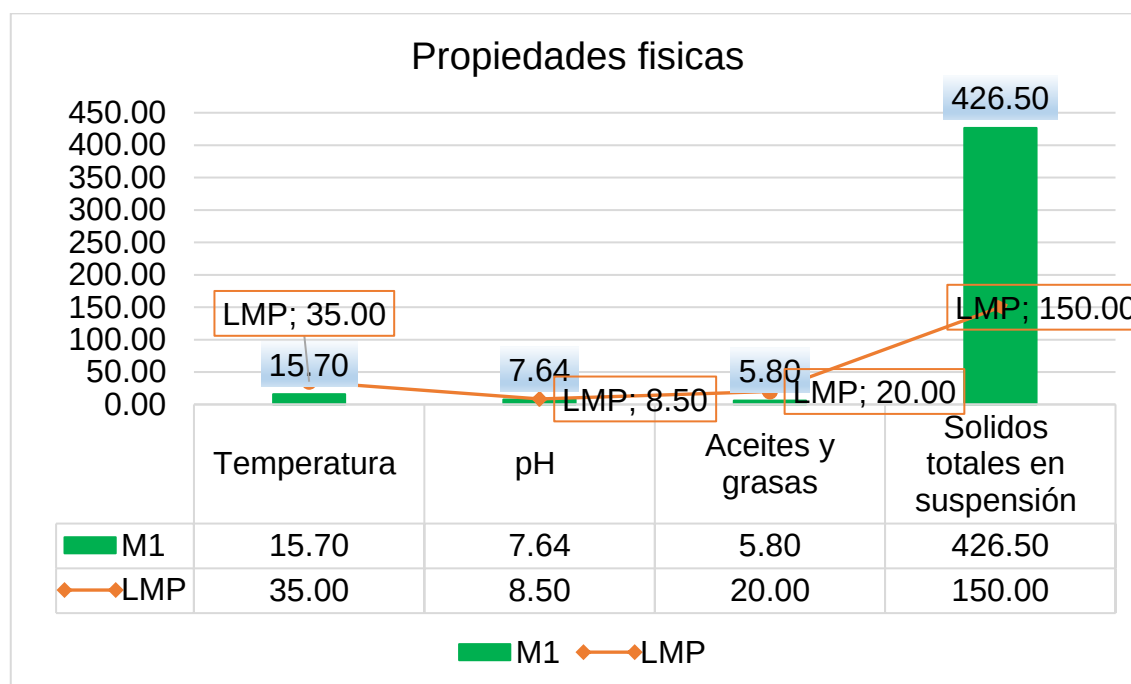
RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Determinación de los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri

Se han determinado **los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri**. Este análisis identifica aspectos como el color, olor, turbidez, sólidos totales, pH, demandas bioquímicas de oxígenos, demandas químicas de oxígenos, y nutrientes como nitrógeno y fósforo. La información obtenida permite diagnosticar el nivel de contaminación, estimar su impacto ambiental y orientar el diseño de sistemas de tratamiento adecuados para reducirse los riesgos al medio ambiente y la salud pública.

Figura 2.

Diagrama de propiedades físicas de las aguas residuales del camal de Ayaviri.

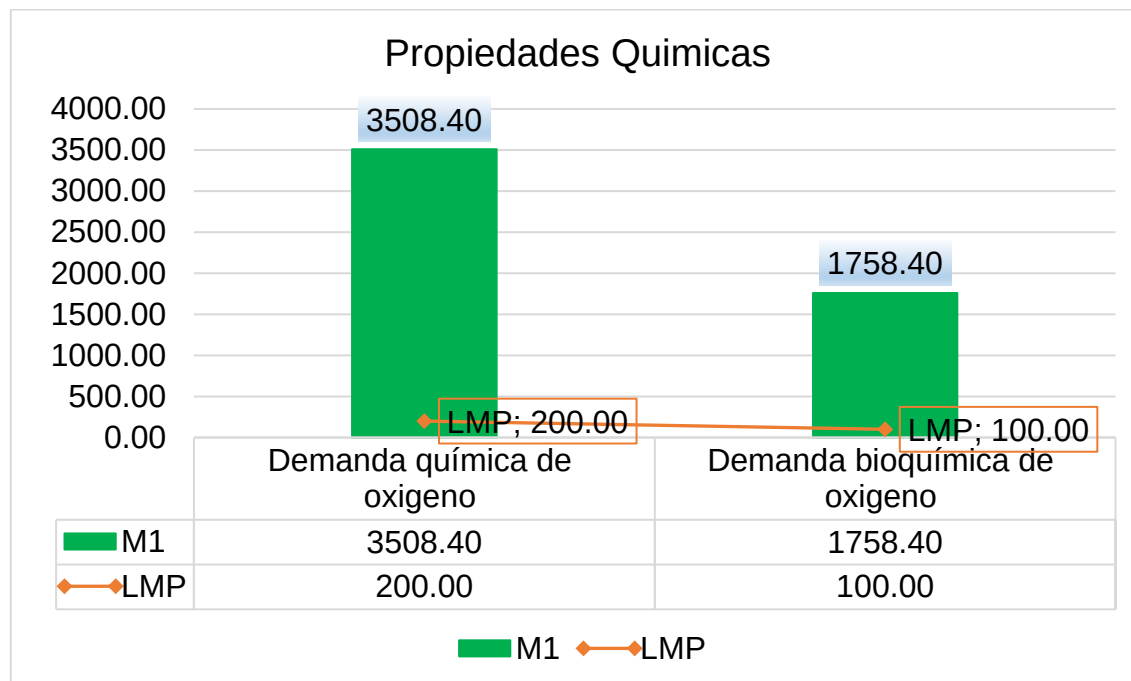


Nota. Propiedades físicas.

Interpretación. En la, **Figura 2**, se aprecia que, en cuanto a las propiedades físicas del agua residual, la temperatura registrada (15.70 °C) se encuentra dentro de los LMP, lo cual señala que no hay alteraciones térmicas significativas en el efluente. Asimismo, el valor de pH (7.64) está dentro del rango permitido, lo que sugiere una condición neutra del agua, adecuada para ciertos procesos biológicos. Sin embargo, los sólidos suspendidos totales (426.50 mg/L) exceden los valores establecidos, lo que refleja una alta carga de partículas en suspensión que pueden afectar la transparencia del agua y contribuir al deterioro de los cuerpos receptores.

Figura 3.

Diagrama de propiedades químicas de las aguas residuales del camal de Ayaviri.



Nota. Propiedades químicas.

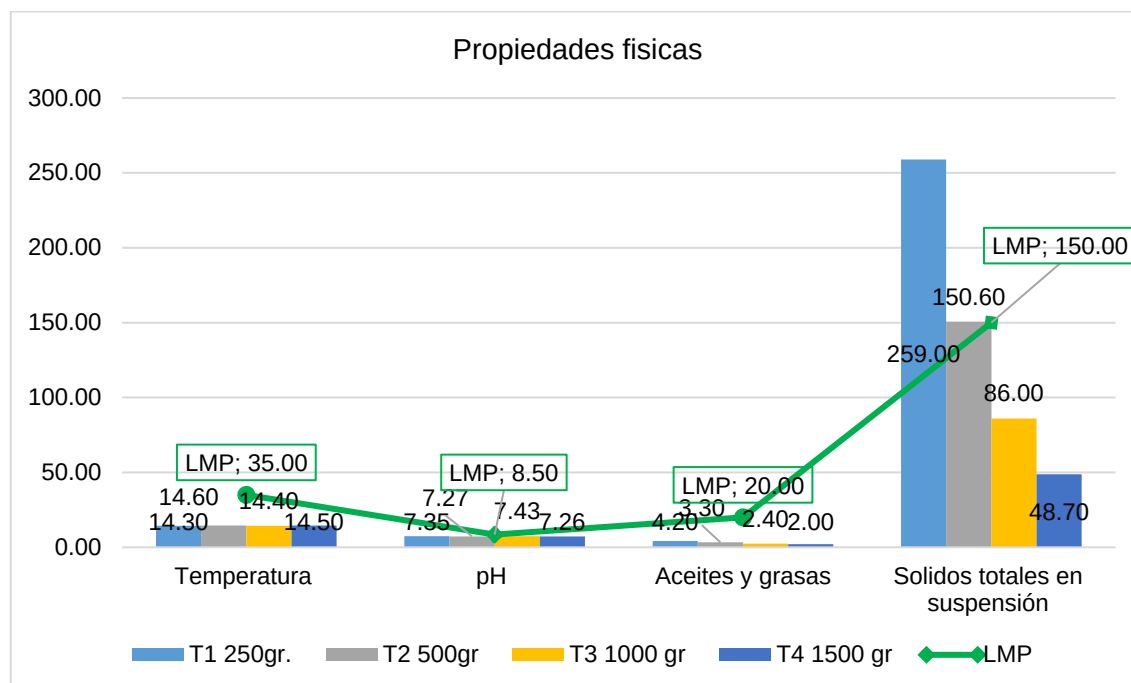
Interpretación. En la, **Figura 3**, se observan niveles alarmantes de contaminación. Las demandas químicas de oxígenos alcanzaron los 3508.40 mg/L y las demandas bioquímicas de oxígenos fue de 1758.40 mg/L, ambos valores muy por encima de los LMP, lo que indica una elevada presencia de materias orgánicas biodegradables y no biodegradables. Además, los aceites y grasas (5.80 mg/L) superan los límites permitidos, afectando la oxigenación del agua y la vida acuática. Finalmente, los coliformes termotolerantes (2.40×10^7 NMP/100 mL) evidencian una fuerte contaminación microbiológica, lo que representa un riesgo sanitario considerable. Estos resultados reflejan un grave deterioro de las calidades de las aguas residuales del camal y justifican la necesidad urgente de implementar medidas correctivas y sistemas de tratamiento adecuados.

4.2. Determinación de la influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicos (SST) en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri

La evaluación de la influencia de la piedra pómez en las remociones de SST) en el tratamiento de aguas residuales del camal de Ayaviri se centra en determinar la eficacia de este material como medio filtrante. La piedra pómez, debido a sus propiedades como alta porosidad y gran superficie específica, tiene el potencial de retener partículas sólidas presentes en las aguas residuales, lo que contribuiría a la disminución de los niveles de SST. Este análisis implica la realización de pruebas controladas, comparando la concentración inicial de SST con los valores obtenidos después del tratamiento, para establecer el porcentaje de remoción y evaluar su viabilidad como alternativas sostenibles y económicas para mejorarse las calidades de las aguas residuales en estos contextos específicos.

Figura 4.

Diagrama de propiedades físicas con tratamiento con piedra pómez muestra 01 (5 litros) con 7 días.

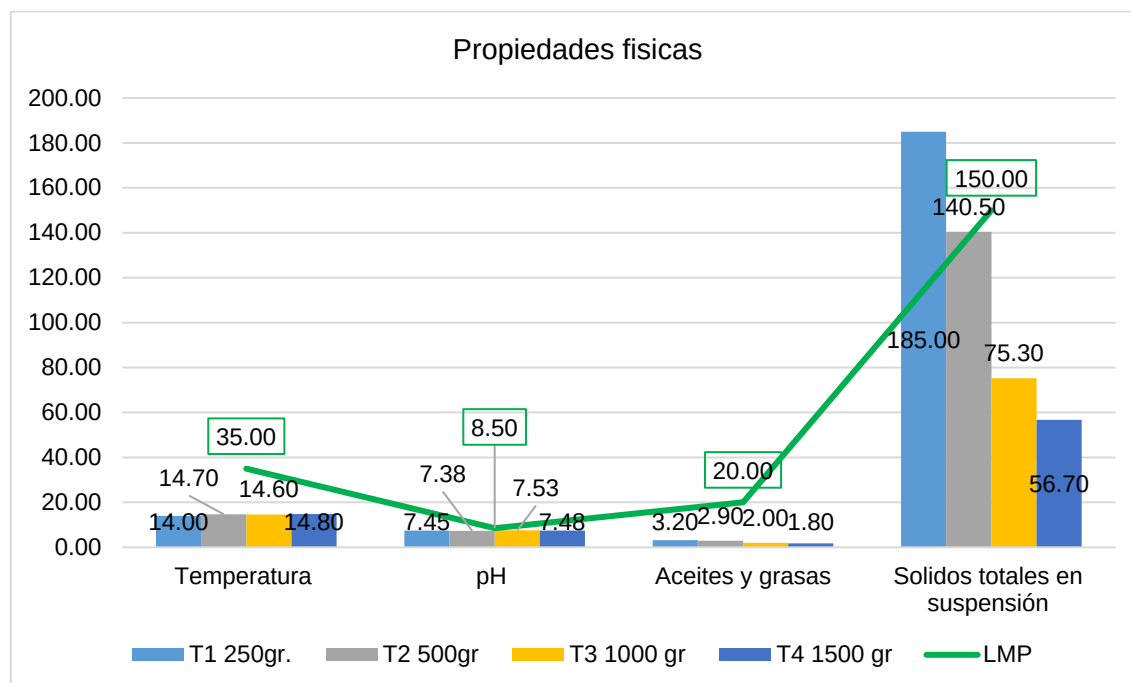


Nota. Propiedades físicas con incorporación de piedra pómez

Interpretación. En la **Figura 4**, se aprecia los tratamientos de las aguas residuales con piedra pómez muestran mejoras significadoras en las calidades de las aguas a medida que incrementa las cantidades de materiales utilizados. La temperatura (14.30 °C a 14.60 °C) y el pH (7.26 a 7.43) se mantienen dentro de los LMP, indicando estabilidad en estos parámetros. En cuanto a los aceites y grasas, se observa reducciones progresivas de 4.20 mg/L en T1 a 2.00 mg/L en T4, cumpliendo ampliamente con el LMP de 20.00 mg/L. Los sólidos totales en suspensión (SST) disminuyen de 259.00 mg/L en T1 a 48.70 mg/L en T4, alcanzando niveles inferiores al límite permitido de 150.00 mg/L, destacando la efectividad parcial del tratamiento en este parámetro. En general, la piedra pómez demuestra ser un material efectivo en la remoción de contaminantes, con mejores resultados al incrementar la cantidad utilizada.

Figura 5.

Diagrama de propiedades físicas con tratamiento con piedra pómez muestra 02 (5 litros) con 14 días.

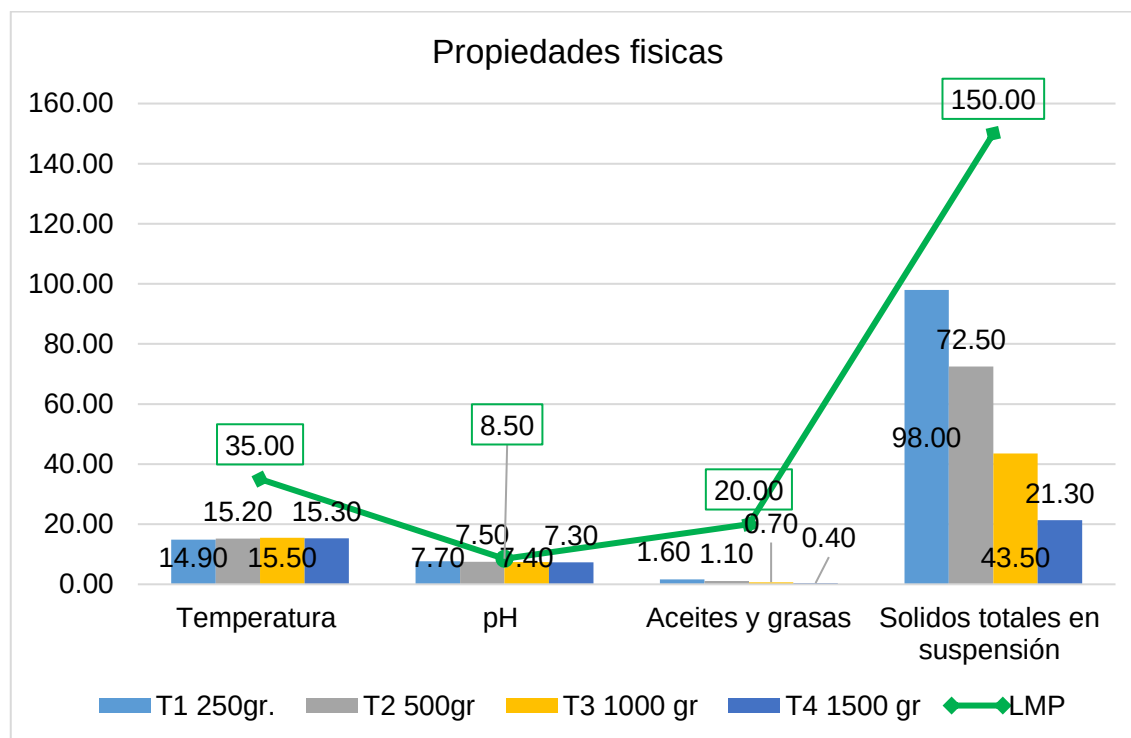


Nota. Propiedades físicas con incorporación de piedra pómez

Interpretación. En la **Figura 5** se aprecia los tratamientos de aguas residuales con piedra pómez demuestra una mejora progresiva en las calidades de las aguas conforme aumenta la cantidad de piedra utilizada. La temperatura (14.00 °C a 14.80 °C) y el pH (7.38 a 7.53) se mantienen dentro de los LMP, indicando estabilidad en estos parámetros. Los aceites y grasas disminuyen de 3.20 mg/L en T1 a 1.80 mg/L en T4, cumpliendo ampliamente con el LMP de 20.00 mg/L. Los SST muestran una reducción significativa desde 185.00 mg/L en T1 hasta 56.70 mg/L en T4, quedando por debajo de los límites permitidos de 150.00 mg/L desde T2. Estos resultados confirman que la piedra pómez es un material eficaz en las remociones de contaminantes, con un desempeño superior a medida que aumenta su cantidad en el tratamiento.

Figura 6.

Diagrama de propiedades físicas con tratamiento con piedra pómez muestra 03 (5 litros) con 21 días.



Nota. Propiedades físicas con incorporación de piedra pómez

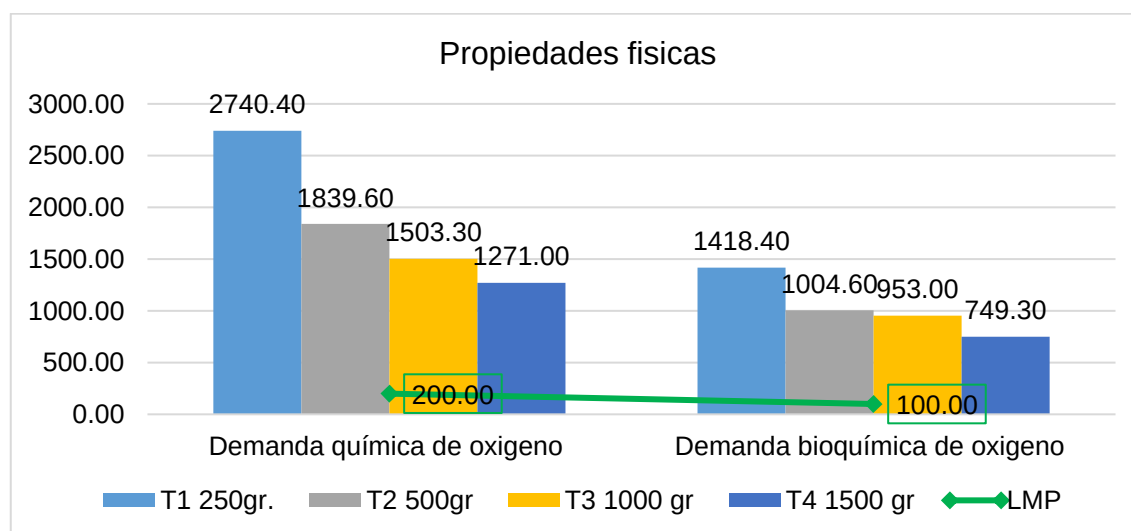
Interpretación. En la **Figura 6** se aprecia los tratamientos de aguas residuales con piedra pómez evidencia mejoras significativas en la calidad del agua conforme se incrementa la cantidad utilizada. La temperatura (14.90 °C a 15.50 °C) y el pH (7.30 a 7.70) permanecen dentro de los LMP, indicando estabilidad en estas características. Los aceites y grasas muestran una notable reducción desde 1.60 mg/L en T1 hasta 0.40 mg/L en T4, cumpliendo ampliamente con el LMP de 20.00 mg/L. Los sólidos totales en suspensión (SST) disminuyen progresivamente de 98.00 mg/L en T1 a 21.30 mg/L en T4, quedando muy por debajo de los límites permitidos de 150.00 mg/L en todos los tratamientos. Estos resultados confirman la alta eficacia de la piedra pómez como un material de tratamiento físico y microbiológico del agua residual.

4.3. Determinación de la influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri

Se obtuvieron los resultados de los tratamientos de las demandas químicas de oxígenos y las demandas bioquímicas de oxígenos a cinco días en los tratamientos de aguas residuales del camal de Ayaviri. Se evaluó su capacidad para reducirse las cargas orgánicas presentes en el agua, aprovechando su alta porosidad y propiedades adsorbentes, que facilitan la retención de compuestos orgánicos y otros contaminantes químicos. Se realizó la medición de los niveles iniciales y finales de DQO y DBO5 tras aplicar el tratamiento, y calculando el porcentaje de remoción para valorar la eficacia de este material como una alternativa sostenible que mejore las calidades de las aguas residuales y contribuyen a la protección ambiental.

Figura 7.

Diagrama de propiedades químicas con tratamiento con piedra pómez muestra 01 (5 litros) con 7 días.

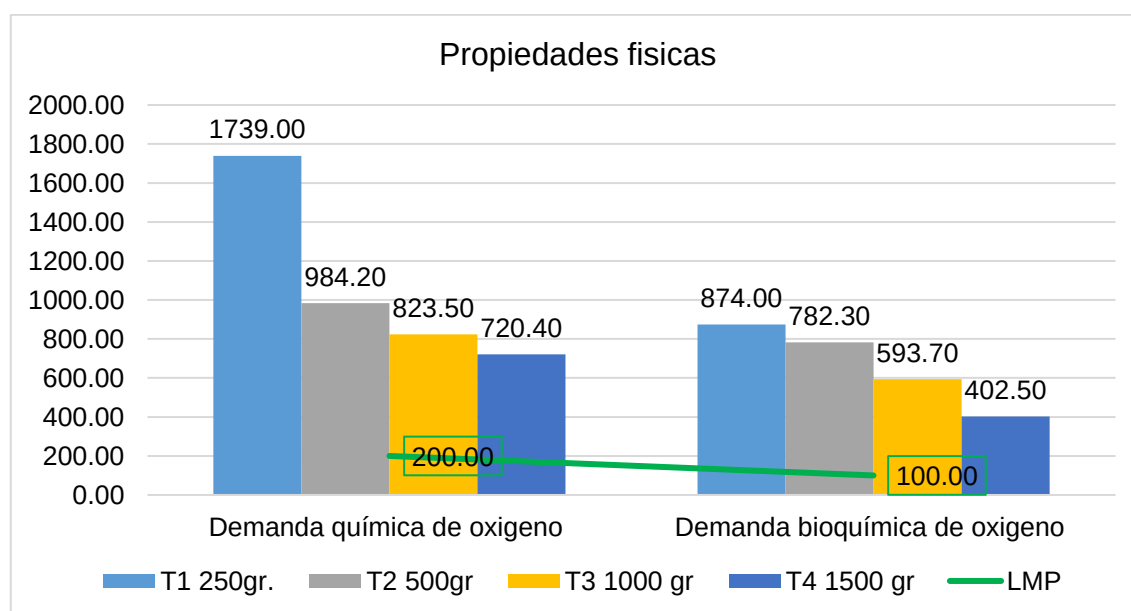


Nota. Propiedades químicas con incorporación de piedra pómez

Interpretación. En la **Figura 7**, muestran los hallazgos de una reducción significativa en la DQO y la DBO con el tratamiento de piedra pómez en diferentes dosis, evidenciando una asociación directamente proporcional entre la cantidad de piedra pómez utilizada y la eficiencia del tratamiento. En el caso de la DQO, los valores disminuyen de 2740.40 mg/L (T1, 250 g) a 1271.00 mg/L (T4, 1500 g), acercándose al LMP de 200 mg/L. De manera similar, la DBO reduce sus niveles de 1418.40 mg/L (T1, 250 g) a 749.30 mg/L (T4, 1500 g), aunque aún lejos del LMP de 100 mg/L. Tales hallazgos señalan que los incrementos en las cantidades de piedra pómez mejora el tratamiento, pero no es suficiente para cumplir completamente con los estándares exigidos.

Figura 8.

Diagrama de propiedades químicas con tratamiento con piedra pómez muestra 02 (5 litros) con 14 días.



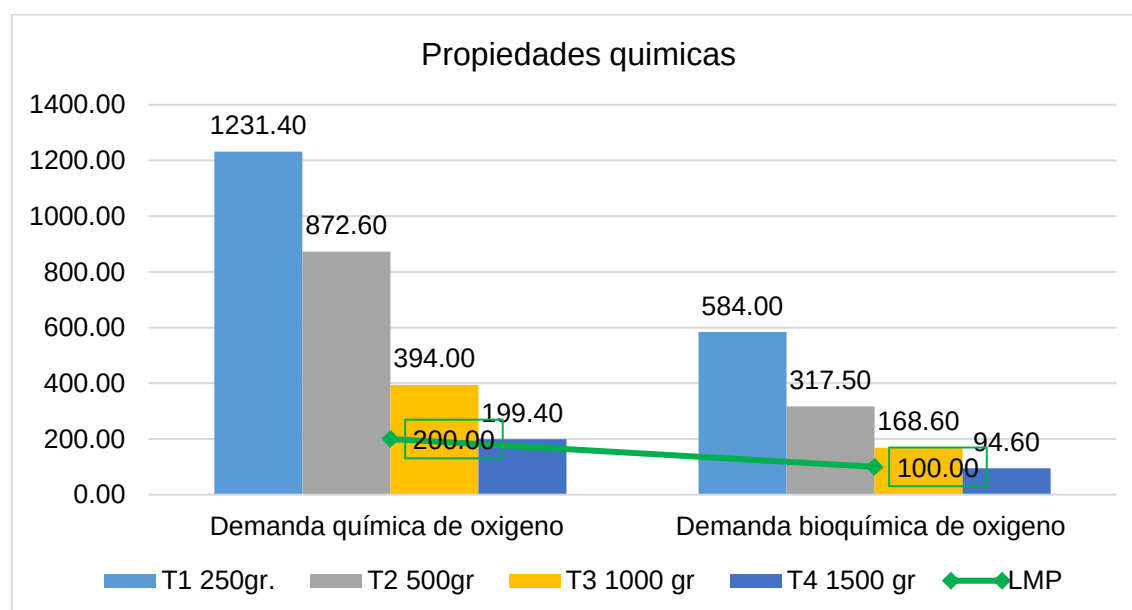
Nota. Propiedades químicas con incorporación de piedra pómez

Interpretación. En la **Figura 8**, se exponen los hallazgos de una reducción progresiva de los parámetros evaluados (DQO, DBO y coliformes

termotolerantes) al incrementar la dosis de piedra pómez, demostrando su eficacia como medio de tratamiento. La DQO disminuyó de 1739.00 mg/L (T1, 250 g) a 720.40 mg/L (T4, 1500 g), y la DBO pasó de 874.00 mg/L (T1) a 402.50 mg/L (T4), aunque ambas aún exceden los LMP de 200 mg/L y 100 mg/L, respectivamente. Esto indica que el aumento en la cantidad de piedra pómez mejora las calidades de las aguas tratadas, acercándolas a los estándares establecidos, aunque se requieren ajustes adicionales para cumplir plenamente con todos los parámetros.

Figura 9.

Diagrama de propiedades químicas con tratamiento con piedra pómez muestra 03 (5 litros) con 21 días.



Nota. Propiedades químicas con incorporación de piedra pómez

Interpretación. En la **Figura 9**, se exponen los datos muestran una notable eficacia del tratamiento con piedra pómez, logrando reducciones significativas en todos los parámetros analizados al aumentar la dosis utilizada. Las Demandas Químicas de Oxígenos (DQO) disminuyó de 1231.40 mg/L (T1,



250 g) a 199.40 mg/L (T4, 1500 g), alcanzando los Límites Máximos Permitidos (LMP) de 200 mg/L en T4. Asimismo, las Demandas Químicas de Oxígenos (DBO) pasó de 584.00 mg/L (T1) a 94.60 mg/L (T4), cumpliendo el LMP de 100 mg/L. Estos resultados confirman que el tratamiento con piedra pómez es eficiente para mejorarse las calidades de las aguas, logrando cumplir con los estándares normativos en todos los parámetros analizados a partir de T4.

4.4. Porcentaje de absorción con la piedra pómez

Tabla 10.

Porcentaje de absorción con 250 gramos de piedra pómez.

	250g piedra pómez						
	M1	7 días	% absorción	14 días	% absorción	21 días	% absorción
Temperatura	15.70	14.30	-	14.00	-	14.90	-
pH	7.64	7.35	3.80%	7.45	2.49%	7.70	-0.79%
Sólidos totales en suspensión	426.50	259.00	39.27%	185.00	56.62%	98.00	77.02%
Demanda química de oxígeno	3,508.40	2,740.40	21.89%	1,739.00	50.43%	1,231.40	64.90%
Demanda bioquímica de oxígeno	1,758.40	1,418.40	19.34%	874.00	50.30%	584.00	66.79%
Aceites y grasas	5.80	4.20	27.59%	3.20	44.83%	1.60	72.41%
Coliformes termotolerantes	24,000,000	11,000,000	54.17%	1,100,000	95.42%	15,000	99.94%
Promedio			27.67%		50.01%		63.38%

Interpretación. En la Tabla 9 evidencia que el uso de 250 gramos de piedra pómez tiene un efecto positivo en la reducción de contaminantes del agua, mostrando un incremento progresivo en el porcentaje de absorción a lo largo del tiempo (27.67% a los 7 días, 50.01% a los 14 días y 63.38% a los 21 días), con resultados especialmente significativos en la disminución de sólidos suspendidos (77.02%), demandas químicas y bioquímicas de oxígeno (64.90% y 66.79% respectivamente), aceites y grasas (72.41%) y coliformes termotolerantes (99.94%), mientras que la temperatura se mantiene estable y el pH presenta variaciones

mínimas, lo que demuestra que la piedra pómez es altamente eficaz para mejorarse las calidades de las aguas en parámetros críticos de contaminación, aunque su influencia sobre las condiciones físico-químicas básicas es limitada.

Tabla 11

Porcentaje de absorción con 500 gramos de piedra pómez.

	M1	500g piedra pómez					
		7 días	% absorción	14 días	% absorción	21 días	% absorción
Temperatura	15.70	14.60	-	14.70	-	15.20	-
pH	7.64	7.27	4.84%	7.38	3.40%	7.50	1.83%
Sólidos totales en suspensión	426.50	150.60	64.69%	140.50	67.06%	72.50	83.00%
Demanda química de oxígeno	3,508.40	1,839.50	47.57%	984.20	71.95%	872.60	75.13%
Demanda bioquímica de oxígeno	1,758.40	1,004.60	42.87%	782.30	55.51%	314.50	82.11%
Aceites y grasas	5.80	3.30	43.10%	2.90	50.00%	1.10	81.03%
Coliformes termotolerantes	24,000,000.00	2,300,000.00	90.42%	150,000.00	99.38%	1,100.00	100.00%
Promedio			48.91%		57.88%		70.52%

Interpretación. En la Tabla 10 muestra que al incrementar la cantidad de piedra pómez a 500 gramos se logra una mayor eficiencia en la absorción de contaminantes, alcanzando un promedio de 48.91% a los 7 días, 57.88% a los 14 días y 70.52% a los 21 días; los parámetros más beneficiados son los sólidos suspendidos (83.00%), las demandas químicas y bioquímicas de oxígeno de oxígeno (75.13% y 82.11% respectivamente), aceites y grasas (81.03%) y coliformes termotolerantes, cuya reducción llega al 100% al día 21, evidenciando una eliminación casi total de la carga microbiológica, mientras que la temperatura se

mantiene estable y el pH presenta variaciones mínimas, lo que confirma que el aumento de la dosis de piedra pómez potencia significativamente la capacidad de remoción de contaminantes sin alterar de manera relevante las condiciones físico-químicas básicas del agua.

Tabla 12

Porcentaje de absorción con 1000 gramos de piedra pómez.

	M1	1000g piedra pómez					
		7 días	% absorción	14 días	% absorción	21 días	% absorción
Temperatura	15.70	14.40	-	14.60	-	15.50	-
pH	7.64	7.43	2.75%	7.53	1.44%	7.40	3.14%
Sólidos totales en suspensión	426.50	86.00	79.84%	75.30	82.34%	43.50	89.80%
Demanda química de oxígeno	3,508.40	1,503.30	57.15%	823.50	76.53%	394.00	88.77%
Demanda bioquímica de oxígeno	1,758.40	953.00	45.80%	593.70	66.24%	168.60	90.41%
Aceites y grasas	5.80	2.40	58.62%	2.00	65.52%	0.70	87.93%
Coliformes termotolerantes	24,000,000	1,500,000	93.75%	15,000	99.94%	2,300	99.99%
Promedio			56.32%		65.33%		76.67%

Interpretación. En la Tabla 11 evidenciaría que al aumentarse las cantidades de piedra pómez a 1000 gramos se logra una absorción aún más eficiente de contaminantes, alcanzando un promedio de 56.32% a los 7 días, 65.33% a los 14 días y 76.67% a los 21 días; los parámetros con mayor reducción son los sólidos suspendidos (89.80%), las demandas químicas y bioquímicas de oxígeno (88.77% y 90.41% respectivamente), aceites y grasas (87.93%) y coliformes termotolerantes, cuya

eliminación llega prácticamente al 100%, mientras que la temperatura se mantiene estable y el pH presenta variaciones mínimas, lo que confirma que una mayor dosis de piedra pómez potencia significativamente la capacidad de remoción de contaminantes sin alterar de manera relevante las condiciones físico-químicas básicas del agua.

Tabla 13

Porcentaje de absorción con 1500 gramos de piedra pómez.

	1500g piedra pómez						
	M1	7 días	% absorción	14 días	% absorción	21 días	% absorción
Temperatura	15.70	14.50	-	14.80	-	15.30	-
pH	7.64	7.26	4.97%	7.48	2.09%	7.30	4.45%
Sólidos totales en suspensión	426.50	48.70	88.58%	56.70	86.71%	21.30	95.01%
Demanda química de oxígeno	3,508.40	1,271.00	63.77%	720.40	79.47%	199.40	94.32%
Demanda bioquímica de oxígeno	1,758.40	749.30	57.39%	402.50	77.11%	94.60	94.62%
Aceites y grasas	5.80	2.00	65.52%	1.80	68.97%	0.40	93.10%
Coliformes termotolerantes	24,000,000	430,000	98.21%	2,400	99.99%	930	100.00%
Promedio			63.07%		69.06%		80.25%

Interpretación. En la Tabla 12 demuestra que al emplear 1500 gramos de piedra pómez se alcanza la mayor eficiencia en la absorción de contaminantes, con un promedio de 63.07% a los 7 días, 69.06% a los 14 días y 80.25% a los 21 días; los parámetros más favorecidos son los sólidos suspendidos (95.01%), las demandas químicas y bioquímicas de oxígeno (94.32% y 94.62% respectivamente), aceites y grasas (93.10%) y coliformes termotolerantes, cuya eliminación llega al 100%, mientras que

la temperatura se mantiene estable y el pH presenta variaciones mínimas, lo que confirma que el incremento de la dosis de piedra pómez potencia significativamente la capacidad de remoción de contaminantes, logrando una depuración casi total del agua sin alterar de manera relevante sus condiciones físico-químicas básicas.

Tabla 14.

Porcentaje de absorción con respecto a la cantidad de piedra pómez.

Descripción	Días		
	7 días % absorción	14 días % absorción	21 días % absorción
250g piedra pómez	27.67%	50.01%	63.38%
500g piedra pómez	48.91%	57.88%	70.52%
1000g piedra pómez	56.32%	65.33%	76.67%
1500g piedra pómez	63.07%	69.06%	80.25%

Interpretación. En la Tabla 13 evidencia que la proporción de absorción aumenta tanto con el tiempo de exposición como con la cantidad de piedra pómez utilizada, mostrando una clara relación directa entre la dosis del material y la eficiencia en la remoción de contaminantes; a los 7 días, la absorción pasa de 27.67% con 250 g a 63.07% con 1500 g, mientras que a los 14 días se incrementa de 50.01% a 69.06% y a los 21 días de 63.38% a 80.25%, lo que confirma que mayores cantidades de piedra pómez potencian significativamente la capacidad de depuración del agua y que el tiempo de contacto prolongado refuerza este efecto, alcanzando los valores más altos de eficiencia con 1500 g al día 21.

Prueba de hipótesis

Contrastación de hipótesis 01.

Hipótesis nula (H_0): Los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri no están fuera de los LMP.

Hipótesis alternativa (H_a): Los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri están fuera de los LMP.

Tabla 15.

Caracterización físico-química inicial de las aguas residuales del camal de Ayaviri.

Parámetro	Unidad	Resultado obtenido	LMP	Cumple
pH	-	7,64	6 – 9	Sí
Temperatura	°C	15,7	—	—
Sólidos totales en suspensión	mg/L	426,5	50	No
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	3508,4	250	No
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)	mg/L	1758,4	100	No
Aceites y grasas	mg/L	5,8	20	Sí
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	$2,4 \times 10^7$	10000	No

Nota. *Software SPSS.*

Los resultados obtenidos evidencian que los parámetros SST, DQO, DBO5 y coliformes termotolerantes superarían los LMP establecidos para descargas de aguas residuales, indicando una elevada carga contaminante en el efluente del camal de Ayaviri. Por otro lado, los parámetros de pH y aceites y grasas se encontraron dentro de los LMP.

En consecuencia, desístase la H_0 y admítase la H_a , concluyéndose que los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri se encuentran fuera de los LMP.

Contrastación de hipótesis 02.

Plantear las hipótesis

Hipótesis nula (H_0): La influencia de la piedra pómez no es significativo en la remoción de parámetros físicos (SST) en los tratamientos de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

Hipótesis alternativa (H_a): La influencia de la piedra pómez si es significativo en la remoción de parámetros físicos (SST) en los tratamientos de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

Seleccionar el nivel de significancia (α):

Si el valor p obtenido de la prueba estadística es:

$p \leq \alpha$: Rechazar H_0 . Existe evidencias estadísticamente significativas para admitirse la H_a .

$p > \alpha$: No rechazar H_0 . No hay evidencias suficientes para desistirse la H_0 .

Elegir la prueba estadística adecuada:

Pruebas de normalidad.

Tabla 16.

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para SST.

Variables	Estadísticos de Levene	gl1	gl2	Sig.
SST	1,046	15	32	0,439

Nota. Software SPSS.

Interpretación:

El examen de Levene presentó un nivel significador de 0,439 ($p > 0,05$), lo cual señala que las varianzas son homogéneas entre los grupos evaluados. En consecuencia, se cumple el supuesto de homogeneidad requerido para la aplicación del análisis de varianza (ANOVA).

Tabla 17.

Análisis de varianzas (ANOVA) para las remociones de SST.

Fuentes de variación	Sumas de cuadrados Tipo III	gl	Medias cuadráticas	F	Sig.
Dosis	76,335,262	3	25,445,087	2,720,854	0,000
Tiempo	978,000,190	3	326,000,063	34,859,326	0,000
Dosis × Tiempo	42,087,795	9	4,676,422	500,052	0,000
Error	299,260	32	9,352		
Total corregido	1,096,722,507	47			

Nota. Software SPSS.

Interpretación:

Los resultados del análisis ANOVA evidenciaron que la dosis de piedra pómez influyó significativamente en las remociones de SST, obteniéndose un valor de significancia de $p=0,000$ ($<0,05$). Del mismo modo, el tiempo de tratamiento también presentó influencia significativa sobre la reducción de SST ($p=0,000$).

Asimismo, la interacción entre la dosis y el tiempo resultó estadísticamente significativa ($p=0,000$), indicando que ambos factores actuaron conjuntamente en las disminuciones de los SST presentes en las aguas residuales del camal de Ayaviri.

Tabla 18.

Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de SST.

Dosis de piedra pómez (g)	Media de SST (mg/L)	Desviación estándar
250	242,133	1,259,525
500	197,842	1,414,905
1000	157,858	1,628,297
1500	138,100	1,742,567

Nota. Software SPSS.

Los resultados descriptivos muestran que la concentración de SST disminuyó progresivamente conforme se incrementó la dosis de piedra pómez. La dosis de 1500 g presentó la menor concentración promedio de SST con 138,100 mg/L, evidenciando mayores eficiencias en las remociones de sólidos suspendidos en comparación con las demás dosis evaluadas.

Tabla 19.*Estadísticos descriptivos de SST según tiempo de tratamiento.*

Tiempo (días)	Media de SST (mg/L)	Desviación estándar
0	426,342	22,167
7	136,192	834,609
14	114,542	537,534
21	58,858	305,429

Nota. Software SPSS.

Se observa una reducción progresiva de los SST conforme aumentó el tiempo de tratamiento. La concentración inicial fue de 426,342 mg/L en el día 0, mientras que al día 21 se registró la menor concentración promedio con 58,858 mg/L, demostrando que el tiempo de contacto favoreció significativamente el proceso de remoción de sólidos suspendidos.

Tabla 20.*Prueba post hoc de Tukey para SST según dosis.*

Comparación de dosis	Diferencia de medias	Sig.
250 g – 500 g	44,292	0,000
250 g – 1000 g	84,275	0,000
250 g – 1500 g	104,033	0,000
500 g – 1000 g	39,983	0,000
500 g – 1500 g	59,742	0,000
1000 g – 1500 g	19,758	0,000

Nota. Software SPSS.

El examen post hoc de Tukey evidenció diferencias estadísticamente significativas entre todas las dosis evaluadas ($p < 0,05$). La dosis de 1500 g presentó las mayores eficiencias en las remociones de SST, diferenciándose significativamente de las demás concentraciones aplicadas.

Tabla 21.*Prueba post hoc de Tukey para SST según tiempo*

Comparación de tiempo	Diferencia de medias	Sig.
0 – 7 días	290,150	0,000
0 – 14 días	311,800	0,000
0 – 21 días	367,483	0,000
7 – 14 días	21,650	0,000
7 – 21 días	77,333	0,000
14 – 21 días	55,683	0,000

Nota. Software SPSS.

La prueba de Tukey mostró diferencias significativas entre todos los tiempos de tratamiento evaluados ($p < 0,05$). El tiempo de 21 días presentó la menor concentración de SST, confirmando que una mayor duración del tratamiento incrementa las eficiencias de remociones de sólidos suspendidos totales.

Los resultados obtenidos demuestran que la piedra pómez tuvo una influencia significativa en las remociones de sólidos suspendidos totales (SST) en las aguas residuales del camal de Ayaviri. La mayor eficiencia se alcanzó con la dosis de 1500 g y un tiempo de tratamiento de 21 días, condiciones en las que se registraron las menores concentraciones de SST. Esto evidencia que el incremento de la dosis del material filtrante y del tiempo de contacto favorece el proceso de adsorción y retenciones de partículas suspendidas presentes en las aguas residuales.

Contrastación de hipótesis 03.

Plantear las hipótesis

Hipótesis nula (H_0): La influencia de la piedra pómez no es significativo en las remociones de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en los tratamientos de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

Hipótesis alternativa (H_a): La influencia de la piedra pómez si es significativo en las remociones de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en los tratamientos de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.

Seleccionar el nivel de significancia (α):

Si el valor p obtenido de la prueba estadística es:

$p \leq \alpha$: Rechazar H_0 . Existe evidencias estadísticamente significativas para admitirse la H_a .

$p > \alpha$: No rechazar H_0 . No hay evidencias suficientes para desistirse la H_0 .

Tabla 22.

Prueba de homogeneidad de varianzas de Levene para DQO y DBO5

Parámetros	Estadísticos de Levene	gl1	gl2	Sig.
DQO	0,481	15	32	0,933
DBO5	0,733	15	32	0,734

Nota. Software SPSS.

La prueba de Levene mostró niveles significantes mayores a 0,05 para los parámetros DQO y DBO5, indicando homogeneidad de varianzas entre los grupos evaluados. En consecuencia, se cumple el supuesto requerido para las aplicaciones del análisis ANOVA.

Tabla 23.*Análisis de varianza (ANOVA) para DQO y DBO5*

Parámetros	Fuentes de variación	Sumas de cuadrados	gl	Medias cuadráticas	F	Sig.
DQO	Dosis	5,432,247,750	3	1,810,749,250	14,694,161	0,000
	Tiempo	56,586,614,250	3	18,862,204,750	153,066,074	0,000
	Dosis × Tiempo	2,196,436,583	9	244,048,509	1,980,444	0,000
DBO5	Dosis	1,070,799,896	3	356,933,299	12,881,803	0,000
	Tiempo	14,106,411,229	3	4,702,137,076	169,701,188	0,000
	Dosis × Tiempo	452,678,688	9	50,297,632	1,815,253	0,000

Nota. Software SPSS.

Los resultados del análisis ANOVA evidenciaron que tanto la dosis de piedra pómez como los tiempos de tratamientos influyeron significativamente en la remoción de DQO y DBO5, debido a que los niveles de significancia fueron menores a 0,05 ($p=0,000$). Asimismo, la interacción entre dosis y tiempo resultó estadísticamente significativa en ambos parámetros, demostrando que ambos factores actuaron conjuntamente en las reducciones de las cargas orgánicas presentes en las aguas residuales.

Tabla 24.*Estadísticos descriptivos de DQO y DBO5 según dosis de piedra pómez*

Dosis de piedra pómez (g)	DQO Media (mg/L)	DBO5 Media (mg/L)
250	2,304,833	1,158,667
500	1,799,667	965,000
1000	1,556,083	868,500
1500	1,423,583	750,917

Nota. Software SPSS.

Se observa una disminución progresiva de los parámetros DQO y DBO₅ conforme aumentó la dosis de piedra pómez. La dosis de 1500 g presentó las menores concentraciones promedio, evidenciando mayores eficiencias en las remociones de materias orgánicas.

Tabla 25.

Estadísticos descriptivos de DQO y DBO₅ según tiempo de tratamiento

Tiempo (días)	DQO Media (mg/L)	DBO ₅ Media (mg/L)
0	3,506,250	1,757,833
7	1,837,750	1,031,167
14	1,065,917	663,833
21	674,250	290,250

Nota. Software SPSS.

Los resultados muestran una reducción progresiva de DQO y DBO₅ conforme aumentó el tiempo de tratamiento. Las menores concentraciones promedio se registraron a los 21 días, evidenciando una importante eficiencia del tratamiento con piedra pómez en las reducciones de las cargas orgánicas biodegradables y no biodegradables.

4.5. Discusión

La discusión de hallazgos evidencia que la absorción de contaminantes químicos (DQO y DBO₅) en las aguas residuales del camal de Ayaviri guarda una asociación directa con la cantidad de piedra pómez utilizada y el tiempo de exposición. Nuestros hallazgos muestran que con 250g se alcanzan porcentajes de absorción de 27.67% a los 7 días, 50.01% a los 14 días y 63.38% a los 21

días, mientras que con 500g la eficiencia mejora progresivamente hasta 70.52% al día 21. Con 1000g se logra una absorción más intensiva, alcanzando 76.67% al día 21, y finalmente con 1500g se obtiene la máxima eficiencia con 80.25% en el mismo periodo, consolidando la piedra pómez como un medio filtrante y adsorbente altamente eficaz. Estos resultados se relacionan con lo reportado por Apaza (2021), quien mediante un sistema combinado de electrocoagulación y biofiltro de piedra pómez logró remociones superiores al 89% en DQO y DBO₅, confirmando la capacidad del material para potenciar la depuración química en distintos contextos industriales. Asimismo, guardan coherencia con lo descrito por Vargas (2019), quien reportó disminuciones del 47.4% en sólidos suspendidos totales al aplicar piedra pómez como filtro en aguas residuales de un camal, demostrando su eficacia en la retención de contaminantes físicos. En conjunto, la comparación con otros autores refuerza que la piedra pómez, ya sea utilizada sola o en sistemas combinados, constituye una alternativa viable y eficiente para las mejoras de las calidades de las aguas residuales, logrando porcentajes de absorción que aumentan con la dosis y el tiempo de tratamiento.

Respecto a la caracterización de los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri, se observó que la piedra pómez influyó en las reducciones de la DQO desde 3508.40 mg/L hasta 1271.00 mg/L, lo que representa **disminuciones del 63.75%**. Este tratamiento se realizó bajo condiciones ambientales, con piedra pómez natural y un tiempo de contacto de 3 horas. Si bien la reducción fue considerable, los valores obtenidos aún superan las Limitaciones Máximas Permisibles (LMP) para efluentes. Este resultado puede ser comparado con el estudio de **Landaeta**

(2019), quien aplicó vermifiltros de piedra pómez en los tratamientos de aguas residuales de camal y logró reducir la DQO de 5118 mg/L a 628 mg/L, alcanzando una **disminución de 87.7%**. La mayor efectividad observada en ese estudio puede atribuirse a condiciones controladas de laboratorio y a un sistema filtrante más complejo. Sin embargo, ambos estudios coinciden en que la piedra pómez tiene una influencia positiva en las reducciones de las cargas orgánicas presentes en las aguas residuales. Asimismo, **Mocha y Moreira (2021)**, utilizando piedra pómez molida en filtros gravitatorios para tratar aguas residuales porcinas, reportaron una DQO de 820 mg/L, sin mencionar el valor inicial. Aunque su resultado final es inferior al de esta investigación, también concluyen que los valores obtenidos no cumplieron con los LMP, lo que coincide con la necesidad de tratamientos complementarios cuando se trata de efluentes con alta carga orgánica.

Las evaluaciones de los parámetros físico-químicos de las aguas residuales del camal de Ayaviri – 2024 muestra que la temperatura (15.70 °C) y el pH (7.64) se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP), lo que indica condiciones estables en estos aspectos. Sin embargo, los sólidos suspendidos totales (426.50 mg/L) superan ampliamente los límites normativos de 150 mg/L, reflejando una elevada carga de material particulado, mientras que los aceites y grasas (5.80 mg/L) se mantienen por debajo del límite de 20 mg/L, sin representar un problema crítico. Tales hallazgos son consistentes con los reportados por Avellán, Delgado y Chicaiza (2022), quienes encontraron en aguas residuales porcinas valores de SST de 580 mg/L y SDT de 581 mg/L, todos superiores a las limitaciones establecidas por la normativa ambiental, lo

que evidencia que la presencia de sólidos suspendidos es un factor común de deterioro en distintos tipos de efluentes. De manera complementaria, Apaza (2021) demostró que el uso de sistemas combinados con piedra pómez permitió alcanzar un pH final equilibrado de 7.37, confirmando que este material no altera significativamente la acidez del agua, tal como ocurre en nuestros resultados. Asimismo, Vargas (2019) reportó una reducción del 47.4% en SST al aplicar piedra pómez como filtro en aguas residuales verdes de camales, validando la eficacia del material en la retención de sólidos, lo que se relaciona directamente con la problemática observada en Ayaviri. En conjunto, la comparación con otros estudios confirma que, aunque las temperaturas y el pH se mantienen dentro de rangos aceptables y los aceites y grasas no exceden los límites normativos, la elevada concentración de sólidos suspendidos totales constituye el principal desafío, reforzando la necesidad de implementar tecnologías de filtración con piedra pómez para mejorarse las calidades de las aguas residuales y cumplir con los estándares ambientales.

La discusión de los resultados obtenidos en el camal de Ayaviri evidencia que los parámetros químicos DQO (3508.4 mg/L) y DBO₅ (1758.4 mg/L) en la muestra inicial (M1) reflejan una elevada carga orgánica, lo cual confirma la necesidad de aplicar procesos de tratamiento. La evolución en los cuatro tratamientos muestra una reducción progresiva y dependiente de la dosis de piedra pómez: con 250g se alcanzan valores finales de 1231.4 mg/L de DQO y 584 mg/L de DBO₅, mientras que con 1500g se logra la máxima eficiencia con 199.4 mg/L de DQO y 94.6 mg/L de DBO₅ al día 21, evidenciando que la piedra pómez actúa como medio filtrante y adsorbente altamente eficaz. Estos



hallazgos guardan asociación con lo reportado por Avellán, Delgado y Chicaiza (2022) evidencian que en aguas porcinas la DQO inicial de 820 mg/L superaba los límites normativos, resaltando la necesidad de aplicar filtros de piedra pómez para reducir este parámetro. De manera complementaria, Apaza (2021) alcanzó remociones superiores al 89% en DQO y DBO_5 mediante un sistema combinado de electrocoagulación y biofiltro de piedra pómez, corroborando que este material puede ser utilizado tanto en sistemas simples como en tecnologías avanzadas para lograr una depuración eficiente. En conjunto, la comparación con otros autores confirma que la piedra pómez es un recurso natural viable para las reducciones de DQO y DBO_5 , y que sus eficacias aumentan con la dosis y los tiempos de exposición, consolidando su papel en los tratamientos de aguas residuales con altas cargas orgánicas.

.

CONCLUSIONES

PRIMERA. Los hallazgos obtenidos confirman que la eficiencia en la remoción de contaminantes mediante el uso de piedra pómez está directamente relacionada tanto con la cantidad de material empleada como con el tiempo de exposición. Se evidenció que, a mayor dosis de piedra pómez, la capacidad de absorción se incrementa de manera significativa, alcanzando valores superiores al 80% con 1500 g al día 21. Asimismo, el tiempo de contacto prolongado refuerza este efecto, mostrando un aumento progresivo en la eficiencia a lo largo de los periodos evaluados. En conjunto, estos hallazgos demuestran que la piedra pómez constituye un recurso natural eficaz y sostenible para la depuración del agua, y que su aplicación en mayores cantidades y tiempos adecuados puede optimizar los procesos de tratamiento, aportando una alternativa viable para las gestiones ambientales y las mejoras de las calidades del recurso hídrico.

SEGUNDA. Se determinó los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024 en el cual se demostró una grave contaminación orgánica y microbiológica. Parámetros como la temperatura (15.70 °C) y el pH (7.64) se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP). Sin embargo, otros exceden ampliamente los valores normativos: Sólidos Totales en Suspensión (SST) de 426.50 mg/L (LMP: 150 mg/L), aceites y grasas de 5.80 mg/L (LMP: 20 mg/L). Estos resultados

indican un grave deterioro en las calidades del agua y la necesidad urgente de implementar medidas correctivas.

TERCERA. Se determinó que el tratamiento con 250g de piedra pómez (T1), los sólidos suspendidos totales (SST) disminuyen de 426.5 mg/L iniciales a 259 mg/L al día 7, 185 mg/L al día 14 y 98 mg/L al día 21, mientras los aceites y grasas bajan de 5.8 a 1.6 mg/L, con temperatura estable entre 14.3–14.9 °C y pH entre 7.35–7.7, mostrando una reducción moderada. Con 500g (T2), la remoción es más eficiente: los SST se reducen a 150.6 mg/L al día 7, 140.5 mg/L al día 14 y 72.5 mg/L al día 21, mientras los aceites y grasas llegan a 1.1 mg/L, manteniendo temperatura entre 14.6–15.2 °C y pH entre 7.27–7.5. En 1000g (T3), la mejora es notable: los SST bajan a 86 mg/L al día 7, 75.3 mg/L al día 14 y 43.5 mg/L al día 21, con aceites y grasas reducidos a 0.6 mg/L, temperatura entre 14.4–15.5 °C y pH cercano a la neutralidad (7.4–7.53). Finalmente, con 1500g (T4) se alcanza la máxima eficiencia: los SST descienden a 48.7 mg/L al día 7, 56.7 mg/L al día 14 y 21.3 mg/L al día 21, mientras los aceites y grasas se reducen a 0.4 mg/L, con temperatura estable (14.5–15.3 °C) y pH entre 7.26–7.5. En conjunto, los resultados muestran que la piedra pómez actúa como medio filtrante y adsorbente, logrando una depuración progresiva en todos los tratamientos y días, con mayor efectividad conforme aumentan la dosis y los tiempos de exposición, cumpliendo la finalidad de mejorarse las calidades del efluente.

CUARTO. Se determinó en la muestra inicial (M1) todos los tratamientos presentan valores elevados de DQO (3508.4 mg/L) y DBO₅ (1758.4 mg/L), reflejando las altas cargas orgánicas de las aguas residuales del camal de Ayaviri. A los 7 días, se observa reducciones progresivas en función de la cantidad de piedra pómez: con 250g (T1) la DQO baja a 2740.4 mg/L y la DBO₅ a 1418.4 mg/L; con 500g (T2) la DQO desciende a 1839.5 mg/L y la DBO₅ a 1004.6 mg/L; con 1000g (T3) la DQO se reduce a 1503.3 mg/L y la DBO₅ a 953 mg/L; y con 1500g (T4) se alcanza la mayor eficiencia temprana con 1271 mg/L de DQO y 749.3 mg/L de DBO₅. A los 14 días, la tendencia de depuración se intensifica: T1 llega a 1739 mg/L de DQO y 874 mg/L de DBO₅, T2 a 984.2 y 782.3 mg/L respectivamente, T3 a 823.5 y 593.7 mg/L, y T4 a 720.4 y 402.5 mg/L, mostrando que mayores dosis de piedra pómez aceleran la remoción. Finalmente, a los 21 días, se consolidan los mejores resultados: T1 reduce la DQO a 1231.4 mg/L y la DBO₅ a 584 mg/L, T2 a 872.6 y 314.5 mg/L, T3 a 199.4 y 168.6 mg/L, y T4 alcanza la máxima eficiencia con 199.4 mg/L de DQO y 94.6 mg/L de DBO₅. En conjunto, los cuatro tratamientos muestran que la piedra pómez actúa como medio filtrante y adsorbente, logrando una depuración progresiva en el tiempo y más efectiva conforme aumenta la dosis, cumpliendo con la finalidad de reducir significativamente las cargas orgánicas de las aguas residuales.

RECOMENDACIONES

PRIMERA. Se sugiere que futuras investigaciones profundicen en la optimización de las condiciones de uso de la piedra pómez como material absorbente, evaluando variables adicionales como el tamaño de partícula, las temperaturas del agua y las presencias de diferentes tipos de contaminantes. Asimismo, sería pertinente realizar pruebas a mayor escala y en condiciones reales de campo, con el fin de validar la aplicabilidad práctica de los resultados obtenidos en laboratorio.

SEGUNDA. Para futuros investigadores se recomienda extraer las muestras de agua en la localidad de Ayaviri en distintos puntos para poder contrastar con las propiedades físicas y químicas del agua, y permitirnos ver si existe contaminación alta o baja según la ubicación del agua.

TERCERA. Para futuros investigadores se recomienda considerar realizar distintos ensayos en las determinaciones de la contaminación del agua, o explorar la combinación del tratamiento con otras tecnologías complementarias, como procesos biológicos o filtración avanzada, lo cual permitiría obtener una mayor remoción de carga orgánica y cumplir con los estándares establecidos para aguas residuales de alta carga contaminante.

CUARTO. Se recomienda aumentar las dosis de piedra pómez utilizadas en los tratamientos, particularmente en casos donde las demandas químicas de oxígeno y las demandas bioquímicas de oxígeno no cumplen con los estándares normativos, y así poder llegar a un valor máximo y tener de referencia la cantidad adecuada para tratamientos ideales de las aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Maldonado, L. R., & Vásquez, V. H. (2018). *Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del Centro de Faenamiento Ocaña del cantón Quero*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27232>
- Amasifuen, J., & Morón, K. (2021). Aplicación de dosis de piedra Pómez y carbón activado para el tratamiento de agua residual en Camal Municipal Moquegua, 2021. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_ce0fe33f53b6181ed44de4ee7a154969
- Amaya, W. (2004). Control de ph para planta de tratamiento de aguas residuales. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2332469.pdf>
- Apaza, H. (2021). Eficiencia de un sistema combinado para la remoción de carga orgánica de efluentes. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7946118>
- Ariana, G., Armando, H., & Carlos, S. (2018). Relación entre coliformes totales y termotolerantes con factores fisicoquímicos del agua en seis playas de la bahía de Sechura-Piura 2016-2017.
- Avellán, R., Delgado, M., & Chicaiza, J. (2022). Propuesta de diseño de una planta recicladora, de residuos sólidos en la mancomunidad zona norte de los cantones, Tosagua, Junín y Bolívar. Obtenido de <https://agris.fao.org/search/en/providers/124692/records/669e7a4000eb85b7d72b8967>
- Babativa, C. (2017). *Investigación cuantitativa*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/326424046.pdf>

- Bolívar, S. (2021). Modelo Correlacional de Sólidos Suspendidos Totales Presentes en Aguas Residuales Domésticas Mediante Análisis de Turbiedad. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9028705.pdf>
- CGR. (2019). Contraloría evidencia condiciones insalubres en camal municipal de Ayaviri.
- Doménech, X., & Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestre*. Obtenido de <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANM.97300/Description>
- Galindo, A., Toncel, E., & Rincón, N. (2016). *Evaluación de un filtro biológico como unidad de post-tratamiento de aguas residuales utilizando conchas marinas como material de soporte*. Obtenido de <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/5983>
- Gómez, D., & Estévez, J. (2010). *Funcionamiento del matadero: Legislación y función del veterinario en el matadero de ganado porcino*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/JulinVarela1/funcionamiento-del-matadero>
- Guevara, G., Verdesoto, A., & Castro, N. (2020). *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7591592.pdf>
- Hernández, A. M., & Bojaca, R. (2007). *Sólidos suspendidos totales en agua secados a 103 – 105 °c*.
- Hernández, R., Collado, C. F., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*.



- Huarachi, Y., & Huanacuni, C. (2021). *Sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero municipal de Tacna*. Obtenido de <https://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/ingenieria/article/download/480/408/1642>
- Lara, L. (2011). *Las aguas residuales del camal municipal del cantón baños y su incidencia en la contaminación del río Pastaza en la provincia de Tungurahua*.
- Lecca, E., & Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Linda, D., & Macha, I. (2023). Uso potencial de rocas pómez para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales en Tanzania. doi:10.1007/s13762-022-04148-1
- López, J. (2022). Diseño, construcción y evaluación de un filtro intermitente de arena pómez. doi:<https://orcid.org/0000-0002-7623-5477>
- Lozada, J. (2014). *Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6163749.pdf>
- Maltre. (2015). <https://www.maltrepiedraytierra.com/piedra-bola-clasificada>. Obtenido de <https://www.maltrepiedraytierra.com/piedra-bola-clasificada>
- Mamani, Y. (2024). Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri-2023. Obtenido de <https://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/809>



- Marina, A. (2014). Análisis de agua – medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (cancela a la NMX-AA-005-SCFI-2000).
- Mendoza, A., & Restrepo, D. (2019). Evaluación de Bacterias con Posible Potencial Biorremediador Presentes en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales El Salguero de Valledupar en el Año 2019. Obtenido de <https://1library.co/document/qo5e02rj-carolina-restrepo-boh%C3%B3rquez-universidad-santander-bacteriolog%C3%ADa-laboratorio-valledupar.html>
- Niño, C. d. (2015). *Propuesta de un sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001:2004 para el matadero municipal de la ciudad de Lambayeque*. Obtenido de http://tesis.usat.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/20.500.12423/496/TL_Niño_Seclen_CinthiaDelPilar.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Nowsheen, S. (2019). Impacto de los cambios ambientales y las actividades humanas en la diversidad bacteriana de los lagos. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/immunology-and-microbiology/chemical-oxygen-demand>
- NTP 214.06, 0. (2016). Norma Técnica Peruana. Obtenido de <https://www.epsgrau.pe/webpage/controlador/archivos/23320.pdf>
- Palmett, A. (2020). *Metodos inductivo, deductivo y teoría de la pedagogía crítica*. Obtenido de <https://portal.amelica.org/ameli/journal/650/6503406006/6503406006.pdf>

- Pariccahua, E. (2018). Evaluación de la operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri, provincia de Melgar - Puno. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_91d9cc6b474f3784724bee0dd9214028/Details
- Ramires, J. (2017). *Propuesta de un sistema de tratamiento de los efluentes líquidos residuales generados en el matadero distrital de Pátapo para reducir el impacto ambiental.*
- Ramírez, D. (2020). Sistema de medición y control de temperatura para un prototipo de planta de tratamiento de aguas residuales.
- Rojas, A. (2022). *Investigación e Innovación Metodológica.* Obtenido de <http://investigacionmetodologicaderojas.blogspot.com/>
- Vargas, A. L. (2019). *Aplicación de piedra pómez como filtro en el proceso de tratamiento de aguas residuales verdes de un centro de beneficio animal Puno .*
- Vargas, Z. (2008). *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica.* Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/440/44015082010.pdf>
- Vásconez, V. (2019). Análisis de la piedra pómez como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del Centro de Faenamiento Ocaña del cantón Quero. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/cfdaecee-750c-48a2-9b2a-55aa10e296e6>
- Vergara, R. (2021). Diseño de biofiltros para mejorar el manejo de aguas residuales domésticas. Obtenido de



<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/28629/Vergara%20Tineo%2c%20Rosa%20Magaly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Yang, Y.-C., & Huang, C. (2025). Recuperación integrada de nutrientes y estabilización de metales pesados de aguas residuales porcinas mediante conchas de ostra y piedra pómez para una aplicación segura en el suelo. doi:10.1007/s11270-025-08227-0



ANEXOS



Anexo 01. Matriz de consistencia

Título: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI – 2024

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSI	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIONE	METODOLOGÍA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable dependiente	ONES		S	
¿Cuál será la capacidad de absorción de la piedra pómez en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal en la localidad de Ayaviri – 2024?	Evaluar la capacidad de absorción de la piedra pómez en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal en la localidad de Ayaviri – 2024.	La capacidad de absorción de la piedra pómez es significativa en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal en la localidad de Ayaviri – 2024.	Piedra Pómez	Dosis de la piedra pómez	250gr de piedra pómez 500gr de piedra pómez 1000gr de piedra pómez 1500gr de piedra pómez	Gr. (gramos)	Línea de Investigación de Tecnologías de Materiales
				Tiempo de retención	24 horas 5 días	Hrs Horas	Diseño de Investigación Experimental
				Caudal	5 litros	l/s	
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Variable independiente				
¿Cuál son los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024? ¿Cuál es la influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicos (SST) en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024? ¿Cuál es la influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024?	Determinar los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.	Los parámetros físico-químicos actuales de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri están fuera de los LMP.	Tratamiento de aguas residuales	Parámetros Físicos	Sólidos suspendidos totales (SST)	(Mg/L) Tiempo filtración horas	Tipo investigación - Aplicada Población agua residual resultante del camal Municipal Muestra SST, DBO, DQO
	Determinar la influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicos (SST) en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.	La influencia de la piedra pómez en la remoción de parámetros físicos (SST) es significativa en el tratamiento de aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.					Técnicas Recorrido para la ubicación del filtro Instrumentos
	Determinar la influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.	La influencia de la piedra pómez en la remoción de los parámetros químicos (DQO y DBO5) es significativa en el tratamiento de las aguas residuales del camal de la localidad de Ayaviri – 2024.		Parámetros Químicos	Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO) Demanda Química de oxígeno (DQO)	DBO5 (mg/L) DQO (mg O2/L)	Muestras de laboratorio Físicos Químicas

Anexo 02. Matriz instrumental

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Escala
VARIABLE INDEPENDIENTE Piedra Pómez	(Jackson et al., 2005) Es una roca volcánica que es excepcionalmente permeable, de color gris pálido y contiene un espesor de bajo (deriva en el agua). Al examinar las posibles aplicaciones mecánicas de la piedra pómez, también es posible aludir a ella como puzolana.	En esta investigación, la piedra pómez se utiliza como material adsorbente en diferentes cantidades (250 g, 500 g, 1000 g y 1500 g) para evaluar su capacidad de remoción de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual del camal de Ayaviri. Su efectividad se mide mediante el análisis de indicadores sólidos totales suspendidos (SST), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aceites, grasas, y coliformes termotolerantes.	Dosificación de la piedra pómez	250gr piedra pómez	de Kg	Nominal
				500gr piedra pómez	de Kg	
				1000gr piedra pómez	de Kg	
				1500gr piedra pómez	de Kg	
				Tiempo de retención	24 horas 5 días	Hrs Horas
VARIABLE DEPENDIENTE Tratamiento de aguas residuales	El tratamiento de aguas residuales o depuración de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua, efluente del uso humano o de otros usos.	La efectividad del tratamiento se determina comparando los valores iniciales y finales de estos parámetros en diferentes tratamientos (T1 a T4), asegurando el cumplimiento con los LMP establecidos por la normativa ambiental vigente.	Parámetros físicos	Sólidos Suspendidos totales SST	mg/l.	Nominal
				Demanda química del oxígeno DQO	mg/l O2.	
				Demanda bioquímica del oxígeno DBO	mg O2/l	



Anexo 03. Instrumentos de la investigación



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA122 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : Nelida Ramos Gutierrez
1.2. **Proyecto** : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas residuales
2.2. **Numero de muestras** : 01
2.3. **Muestreado por** : Nelida Ramos Gutierrez
2.4. **Fecha de ensayo** : 21/11/2024
2.5. **Departamento** : Puno
2.6. **Provincia** : Melgar
2.7. **Distrito** : Ayaviri
2.8. **Código, ubicación, fecha y hora de muestreo**

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
M – I	E: 327130 N: 8354843	20/11/2024	9:27

III. RESULTADOS

N°	Parámetro	Unidad	MI
1	Temperatura	°C	15.7
2	pH	-	7.64
3	Sólidos totales en suspensión	mg/L	426.5
4	Demanda química de oxígeno	mg/L	3508.4
5	Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	1758.4
6	Aceites y grasas	mg/L	5.8
7	Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	2.4×10^7

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 06 de diciembre del 2024

N°B.:
1



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA123 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : Nelida Ramos Gutierrez
1.2. **Proyecto** : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN D ELA PIEDRA
PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL
EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas residuales
2.2. **Numero de muestras** : 04
2.3. **Muestreado por** : Nelida Ramos Gutierrez
2.4. **Fecha de ensayo** : 25/11/2024
2.5. **Departamento** : Puno
2.6. **Provincia** : Melgar
2.7. **Distrito** : Ayaviri

III. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	T1	T2	T3	T4
Temperatura	°C	14.3	14.6	14.4	14.5
pH	-	7.35	7.27	7.43	7.26
Solidos totales en suspensión	mg/L	259.0	150.6	86.0	48.7
Demanda química de oxígeno	mg/L	2740.4	1839.5	1503.3	1271.0
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	1418.4	1004.6	953.0	749.3
Aceites y grasas	mg/L	4.2	3.3	2.4	2.0
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1.1×10^7	2.3×10^6	1.5×10^6	4.3×10^5

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 06 de diciembre del 2024

N°B.:
2



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA123 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : Nelida Ramos Gutierrez
1.2. **Proyecto** : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN D ELA PIEDRA
PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL
EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas residuales
2.2. **Numero de muestras** : 04
2.3. **Muestreado por** : Nelida Ramos Gutierrez
2.4. **Fecha de ensayo** : 28/11/2024
2.5. **Departamento** : Puno
2.6. **Provincia** : Melgar
2.7. **Distrito** : Ayaviri

III. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	T1	T2	T3	T4
Temperatura	°C	14.0	14.7	14.6	14.8
pH	-	7.45	7.38	7.53	7.48
Solidos totales en suspensión	mg/L	185.0	140.5	75.3	56.7
Demanda química de oxígeno	mg/L	1739	984.2	823.5	720.4
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	874.0	782.3	593.7	402.5
Aceites y grasas	mg/L	3.2	2.9	2.0	1.8
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	$1.1 * 10^6$	$1.5 * 10^5$	$1.5 * 10^4$	2400

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 06 de diciembre del 2024

N°B.:
3



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELASQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

RESULTADO DE ANALISIS - AGUAS

INFORME N° LCA123 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. **Solicitante** : Nelida Ramos Gutierrez
1.2. **Proyecto** : EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. **Producto** : Aguas residuales
2.2. **Numero de muestras** : 04
2.3. **Muestreado por** : Nelida Ramos Gutierrez
2.4. **Fecha de ensayo** : 02/12/2024
2.5. **Departamento** : Puno
2.6. **Provincia** : Melgar
2.7. **Distrito** : Ayaviri

III. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	T1	T2	T3	T4
Temperatura	°C	14.9	15.2	15.5	15.3
pH	-	7.7	7.5	7.4	7.3
Sólidos totales en suspensión	mg/L	98.0	72.5	43.5	21.3
Demanda química de oxígeno	mg/L	1231.4	872.6	394	199.4
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	584.0	317.5	168.6	94.6
Aceites y grasas	mg/L	1.6	1.1	0.7	0.4
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1.5×10^4	1.1×10^3	2300	930

IV. MÉTODO DE ENSAYO

Los parámetros fueron analizados de acuerdo a las recomendaciones de los Métodos normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWW.WEF.21th ed. 2005

Juliaca, 06 de diciembre del 2024

N°B.:
4



Anexo 04. Fichas de validez de instrumentos



FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO OPINIÓN DEL EXPERTO



I. DATOS GENERALES

1.1. Autor del instrumento:

1.2. Validado por:

1.3. Título de la investigación:

1.4. Nombre del instrumento:

II. ASPECTOS A EVALUAR

Nº	INDICADORES		VALORACIÓN																			
			DEFICIENTE				BAJO				REGULAR				BUENA				EXCELENTE			
			1	9	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	CLARIDAD	Esta formado con lenguaje apropiado.																				
2	OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.																				
3	ACTUALIDAD	Está adecuado al avance de la ciencia.																				
4	ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.																				
5	SUFICIENCIA	El número de ítems propuesto es suficiente para medir la variable.																				
6	ADECUACIÓN	Está adecuado para valorar la variable de estudio.																				
7	CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos.																				
8	COHERENCIA	Existe coherencia entre el problema, objetivos e hipótesis.																				
9	METODOLOGÍA	Responde al propósito de la investigación.																				
10	PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación.																				

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

V. OBSERVACIONES:

LUGAR Y FECHA:

FIRMA DEL EXPERTO



FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO OPINIÓN DEL EXPERTO



I. DATOS GENERALES

1.1. Autor del instrumento:

1.2. Validado por:

1.3. Título de la investigación:
.....
.....

1.4. Nombre del instrumento:

II. ASPECTOS A EVALUAR

Nº	INDICADORES		VALORACIÓN																			
			DEFICIENTE				BAJO				REGULAR				BUENA				EXCELENTE			
			1	9	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	CLARIDAD	Esta formado con lenguaje apropiado.																				
2	OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.																				
3	ACTUALIDAD	Está adecuado al avance de la ciencia.																				
4	ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.																				
5	SUFICIENCIA	El número de ítems propuesto es suficiente para medir la variable.																				
6	ADECUACIÓN	Está adecuado para valorar la variable de estudio.																				
7	CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos.																				
8	COHERENCIA	Existe coherencia entre el problema, objetivos e hipótesis.																				
9	METODOLOGÍA	Responde al propósito de la investigación.																				
10	PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación.																				

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

V. OBSERVACIONES:

LUGAR Y FECHA:

FIRMA DEL EXPERTO



FICHA DE VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO OPINIÓN DEL EXPERTO



I. DATOS GENERALES

1.1. Autor del instrumento:

1.2. Validado por:

1.3. Título de la investigación:

1.4. Nombre del instrumento:

II. ASPECTOS A EVALUAR

Nº	INDICADORES		VALORACIÓN																			
			DEFICIENTE				BAJO				REGULAR				BUENA				EXCELENTE			
			1	9	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	CLARIDAD	Esta formado con lenguaje apropiado.																				
2	OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.																				
3	ACTUALIDAD	Está adecuado al avance de la ciencia.																				
4	ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.																				
5	SUFICIENCIA	El número de ítems propuesto es suficiente para medir la variable.																				
6	ADECUACIÓN	Está adecuado para valorar la variable de estudio.																				
7	CONSISTENCIA	Está basado en aspectos teóricos y científicos.																				
8	COHERENCIA	Existe coherencia entre el problema, objetivos e hipótesis.																				
9	METODOLOGÍA	Responde al propósito de la investigación.																				
10	PERTINENCIA	Es útil y adecuado para la investigación.																				

III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD:

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN:

V. OBSERVACIONES:

LUGAR Y FECHA:

FIRMA DEL EXPERTO

Anexo 05. Fichas de evidencias del proceso de recolección de datos

Recolección de muestras de aguas residuales

Fotografía 1. Etiquetado de los envases.



Fotografía 2. Toma de muestras de aguas residuales.



Fotografía 3. Toma de muestras desde el desarenador.



Fotografía 4. Etiquetado de las muestras.



Fotografía 5. Toma de muestras 02.

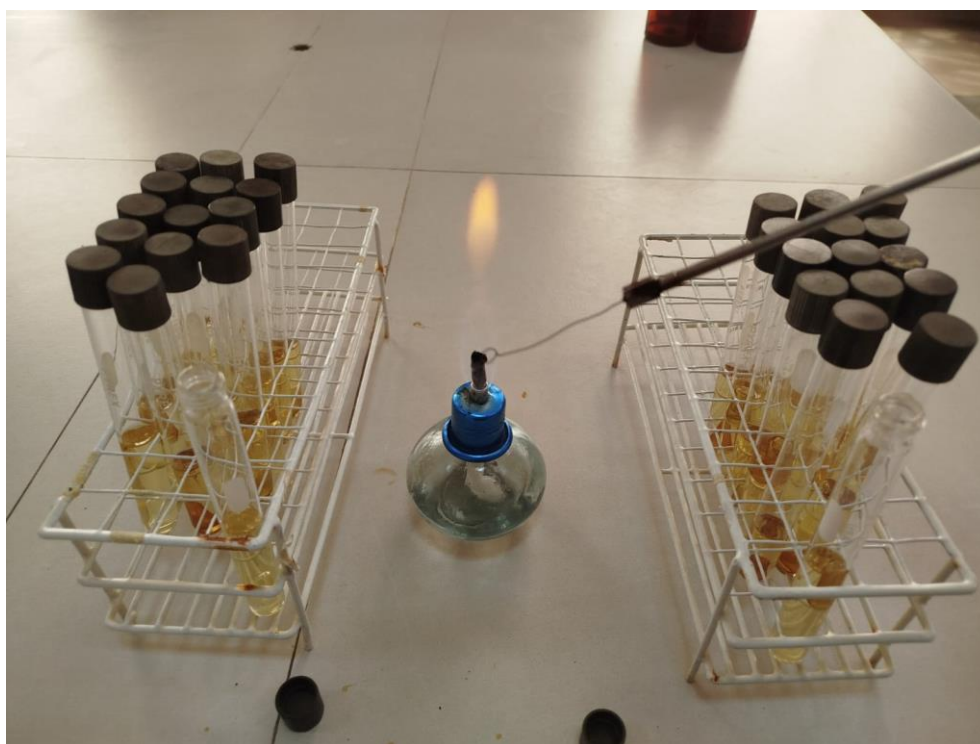


Fotografía 6. Toma de muestras 03.



Procesamiento de análisis en laboratorio

Fotografía 7. Elaboración de ensayos en laboratorio.



Fotografía 8. Proceso de elaboración en laboratorio.



Fotografía 9. Vista de muestras de agua.

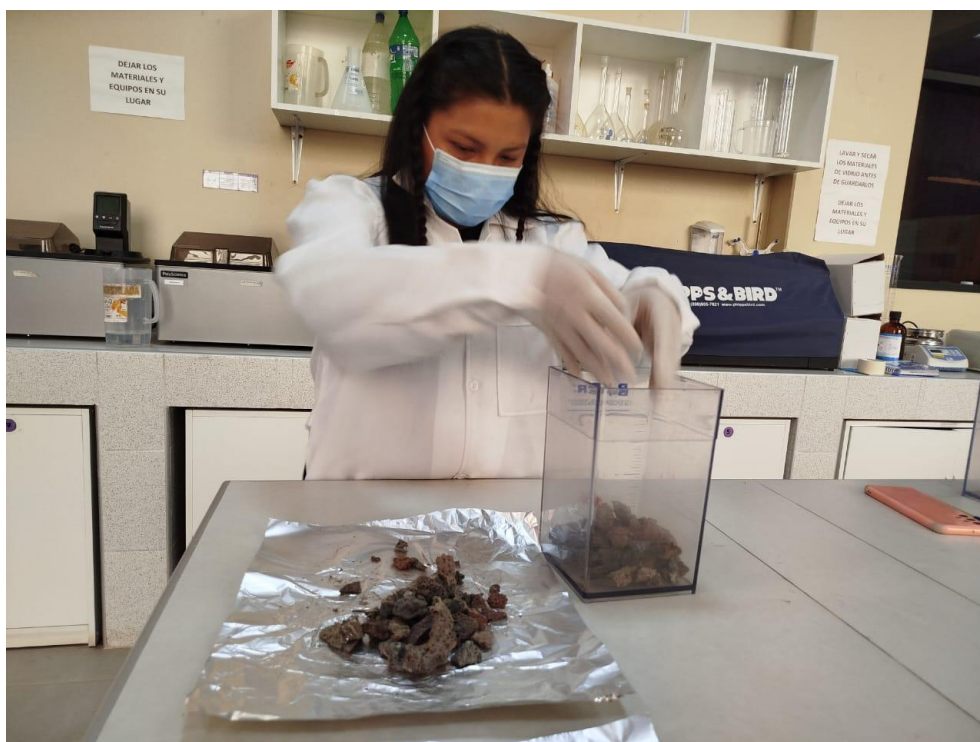


Fotografía 10. Elaboración de ensayo.



Resultados finales

Fotografía 11. Preparación de las piedras pómez para el tratamiento.



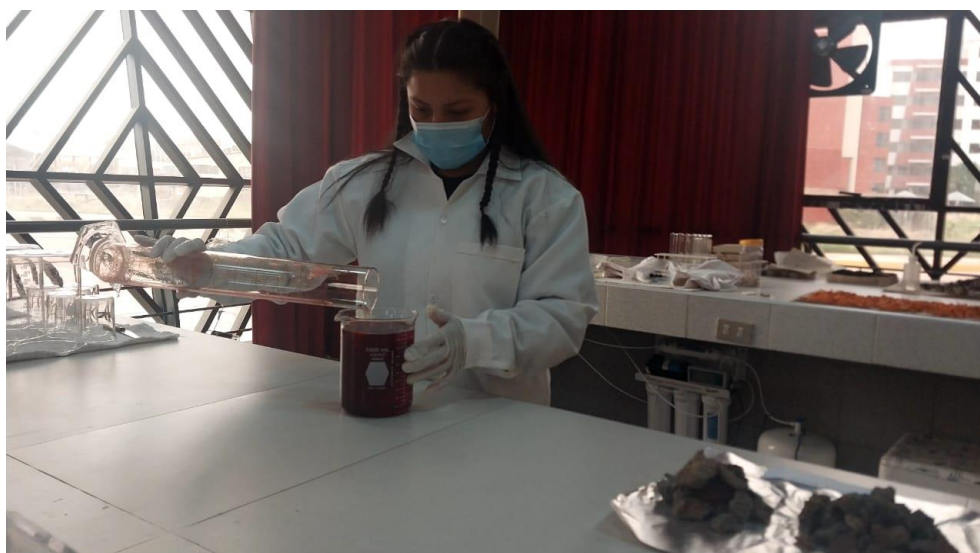
Fotografía 12. Inicio de prueba en los envases.



Fotografía 13. Observación de las reacciones.



Fotografía 14. Preparación de muestras de aguas residuales.





ANEXO 1 FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 08-06-26

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: NELIDA RAMOS GUTIERREZ

Dirección: JR. LIBERTAD 1130 / JULIACA

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 71848636

Teléfono: 938830557 email: neli62982@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____

Dirección: _____

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____

Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO SANITARIO Y AMBIENTAL

Asesor: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐

Tesis ☒

Trabajo de Suficiencia Profesional ☐

Trabajo Académico ☐

Título: EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE LA PIEDRA PÓMEZ EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL EN LA LOCALIDAD DE AYAVIRI – 2024

Palabras claves, (3 a 5 términos): piedra pómez, aguas residuales, tratamiento, coliformes termotolerantes, DQO.

¿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 ☒ Título ☐ 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: CONTAMINACIÓN Y CALIDAD AMBIENTAL – P22

Firma de Autor



huella digital

08 - Junio - 2026

Fecha