



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



**ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA
ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS
POR LETRINAS JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ELIZABETH BAUTISTA QUISPE

PARA OPTAR EL 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

**ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA
ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS
POR LETRINAS JULIACA 2024**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. ELIZABETH BAUTISTA QUISPE

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

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

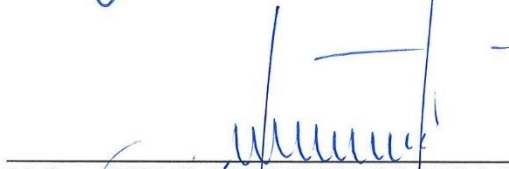
PRIMER MIEMBRO

:


Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

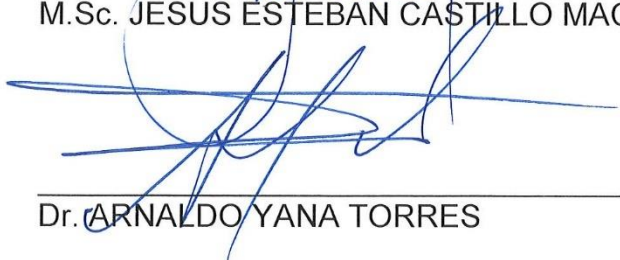
SEGUNDO MIEMBRO

:


M.Sc. JESUS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

ASESOR DE TESIS

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 925-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 27 de agosto del 2025

VISTO: El expediente N° 2025- CU-6827 presentado por el (la) Bachiller: **ELIZABETH BAUTISTA QUISPE** 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. **ELIZABETH BAUTISTA QUISPE**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024**, la misma que pertenece a la línea de investigación **SANEAMIENTO 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 mérito 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. LEONEL SUASACA PELINCO
- **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, .

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS de el (la) bachiller: **ELIZABETH BAUTISTA QUISPE**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024** para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental. de acuerdo al siguiente detalle:

- **FECHA** : miércoles 03 de setiembre del 2025
- **HORA** : 09:00 horas
- **LUGAR** : Aula 306 - 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 CIENCIAS PURASDr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Wally Mamani Aguirre
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓNCIC
Sección
Investigación

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1618-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 03 de diciembre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU - 16988 por el señor (a): **ELIZABETH BAUTISTA QUISPE** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1414- 2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 0107- 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): **ELIZABETH BAUTISTA QUISPE**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) **Titulado. ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 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° 0107- 2024 **aprobandó** el informe final de la investigación (borrador de tesis) **titulado. ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024**, Correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO 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): **ELIZABETH BAUTISTA QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema **Titulado. ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO 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



Dr. ELIZABETH BAUTISTA QUISPE HUACCA
DECANO
CIP 47790



Dr. Efraim Paredón Soto
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1250-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 09 de octubre del 2024

VISTO: El expediente N° 2024-CU- 13979, presentado el señor (a) **ELIZABETH BAUTISTA QUISPE** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el **PROVEIDO - N° 1111 -2024-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 125-2024 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): **ELIZABETH BAUTISTA QUISPE** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 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 **Mgr. 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° 125-2024- aprobando la propuesta de investigación titulado: **ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 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): **ELIZABETH BAUTISTA QUISPE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Sanitario y Ambiental, con el Tema Titulado: **ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024** correspondiente a la línea de investigación **SANEAMIENTO 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.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



[Handwritten signature]
DECANO
CIP 47790



[Handwritten signature]
Dr. Efraín...
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

CC
Archivo
Interesado (a)



ELIZABETH BAUTISTA QUISPE

ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LET...

 TESIS DE PREGRADO

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::13016:535348353

Fecha de entrega

2 dic 2025, 12:27 GMT-5

Fecha de descarga

2 dic 2025, 13:08 GMT-5

Nombre del archivo

T036_46886353_T.docx

Tamaño del archivo

20.9 MB

117 páginas

16.133 palabras

92.388 caracteres



13% 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

- 9%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 9%  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

Título de la Tesis	
ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	ELIZABETH BAUTISTA QUISPE
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46886353
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0009-8630-6732
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	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	01323821



Datos de investigación	
Línea de investigación	SANEAMIENTO AMBIENTAL – P22
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Distrito: Juliaca Coordenadas: Latitud: -15.500566 Longitud: -70.134663 URL Maps:  https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1QQ7e-99RG2Tl6STNnJxg76neRROoFjk&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre 2024 – Agosto 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 Ciencias del medio ambiente https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.08



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CERREÓN" JULIACA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS FÍSICAS
Dr. Erla Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIVERSIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo ELIZABETH BAUTISTA QUISPE, identificado con DNI
Nro. 46886353, en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL

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

ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA
ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR
LETRINAS JULIACA 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 27 de OCTUBRE del 20 25

Firma del Asesor
(obligatoria)

Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

A mi creador por otorgarme la fuerza necesaria para orientarme, dirigirme y gobernarme según los valores enseñados en la fe.

A mi hija Salomé Damián Bautista por ser el pilar primordial en mi existencia y en mi trayectoria profesional.

ELIZABETH BAUTISTA QUISPE



AGRADECIMIENTO

Manifestar mi más sincero reconocimiento a la UANCV, fundamentalmente a la EPISA, así como al cuerpo docente de la institución y al Ing. Jesús Castillo docente de mi la universidad, por sus valiosas enseñanzas, por creer en mí, por prepararme y dirigirme en el camino.

ELIZABETH BAUTISTA QUISPE



ÍNDICE DE CONTENIDO

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

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática.	1
1.2. Planteamiento del problema.	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivos de la investigación	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos	3
1.4. Justificación de la investigación	4
1.4.1. Justificación Practica.....	4
1.4.2. Justificación social.....	4
1.4.3. Justificación ambiental	5
1.4.4. Justificación económica	6
1.5. Hipótesis de la investigación.....	8



1.5.1. Hipótesis general.....	8
1.5.2. Hipótesis específicas.....	8
1.6. Variables.....	8
1.6.1. Variable independiente.....	8
1.6.2. Variable dependiente	8
1.7. Operacionalización de variables	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.....	10
2.1.1. Antecedentes internacionales	10
2.1.2. Antecedentes nacionales	11
2.1.3. Antecedentes regionales	15
2.2. Bases teóricas	17
2.2.1. Osmosis Inversa.....	17
2.2.2. Membrana de ósmosis inversa.....	18
2.2.3. Tipos de membranas de ósmosis inversa	19
2.2.4. Niveles de purificación de agua.....	21
2.2.5. Etapas de la ósmosis inversa.....	21
2.2.6. Funcionamiento de una membrana de ósmosis inversa	23
2.2.7. Ventajas y desventajas de la ósmosis inversa	24
2.2.8. Aguas subterráneas	26
2.2.9. Acuífero	28
2.2.10. Contaminación de las aguas subterráneas	29



2.2.11. Formas de propagación de la contaminación de agua subterránea	31
2.2.12. Materia orgánica en el agua	34
2.2.13. Pozo tubular	36
2.3. Marco conceptual	37
2.3.1. Agua Subterránea	37
2.3.2. DBO (Materia orgánica biológicamente oxidable)	37
2.3.3. DQO (Materia químicamente oxidable)	38
2.3.4. Carbono Orgánico Total (COT)	38
2.3.5. Letrina	38
2.3.6. Osmosis	39
2.3.7. Ósmosis inversa	39

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación	40
3.2. Tipo de investigación	40
3.3. Procedimiento metodológico	41
3.3.1. Objetivo1: Determinar la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas	41
3.3.2. Objetivo 2: Determinar las condiciones de operación del equipo de osmosis inversa para la reducción de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas	43
3.4. Técnicas e instrumentos	45
3.4.1. Técnicas	45



3.4.2. Instrumentos.....	47
3.5. Población y muestra	47
3.5.1. Población.....	47
3.5.2. Muestra	47

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados	49
4.1.1. Determinar la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.....	49
4.1.2. Determinar las condiciones de operación del equipo de osmosis inversa para la reducción de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.....	57
4.2. Análisis estadístico	71
4.3. Discusiones.....	78
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	85



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables de la investigación	9
Tabla 2: Instrumentos de recolección de datos	47
Tabla 3: Código, ubicación, fecha y hora de muestreo	48
Tabla 4: Resultados iniciales del análisis de aguas subterráneas.....	49
Tabla 5: Relación del valor de pH inicial con el DECRETO SUPREMO N° 004- 2017-MINAM	50
Tabla 6: Concentración inicial de la demanda bioquímica de oxígeno	51
Tabla 7: Concentración inicial de la demanda química de oxígeno.....	53
Tabla 8: Concentración inicial de la demanda química de oxígeno.....	55
Tabla 9: Primer tratamiento mediante osmosis inversa.....	59
Tabla 10: pH después del tratamiento relacionado con el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.	60
Tabla 11: Concentración de DBO5 primer tratamiento.....	61
Tabla 12: Concentración de DQO primer tratamiento	62
Tabla 13: Concentración de Coliformes Termotolerantes primer tratamiento ..	64
Tabla 14: Segundo tratamiento mediante osmosis inversa.....	65
Tabla 15: Porcentajes de remoción en la osmosis inversa.	70



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Osmosis Inversa.....	18
Figura 2: Elementos de una membrana de Ol.....	19
Figura 3: Niveles de purificación de agua	21
Figura 4: Etapas de la ósmosis inversa.....	22
Figura 5: Funcionamiento de la membrana de Ol	24
Figura 6: Aguas Subterráneas.....	26
Figura 7: Formación de agua subterránea	27
Figura 8: Acuífero.....	28
Figura 9: Fuentes de contaminación del agua subterránea	29
Figura 10: Contaminación de un acuífero provocada por lixiviación de contaminantes solubles situados en superficie	32
Figura 11: Contaminación difusa provocada por la actividad agrícola que son lixiviados por el agua de lluvia o de riego	32
Figura 12: Contaminación de un acuífero provocada por los efluentes de una fosa séptica.....	33
Figura 13: Contaminación de un acuífero por el flujo inducido de agua contaminada procedente de la infiltración de aguas superficiales.	34
Figura 14: Pozo tubular	36
Figura 15: pH inicial en relación a la normatividad	51
Figura 16: Comparación de la concentración inicial de DBO5 con el ECA agua..	52
Figura 17: Comparación de la concentración inicial de DQO con el ECA agua ...	54
Figura 18: Comparación de la concentración inicial de coliformes termotolerantes con el ECA agua.	56



Figura 19: Purificador de osmosis inversa	57
Figura 20: Características básicas del equipo de osmosis inversa	58
Figura 21: Variación de pH después del primer tratamiento.	60
Figura 22: Relación de la Concentración de DBO5 con el ECA agua.	61
Figura 23: Relación de la Concentración de DQO con el ECA agua.....	63
Figura 24: Variación de pH después del segundo tratamiento.	66
Figura 25: Variación de DBO5 después del segundo tratamiento.....	67
Figura 26: Variación de DQO después del segundo tratamiento	68



RESUMEN

El actual estudio poseyó como propósito principal Valorar la eliminación de materia orgánica mediante la ósmosis inversa en aguas acuíferas afectadas por letrinas, donde se seleccionaron 5 pozos acuíferos ubicados cerca de letrinas domésticas. En cada pozo se tomarán muestras representativas de 1 litro para asegurar la repetibilidad de los análisis e intencionalmente se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, los hallazgos iniciales antes del procesamiento fueron: P-1 275.3 mg/l de DBO5, 452.5 mg/l de DBO5, 1100 NMP/100ml de CT. P-2 9.3 mg/l de DBO5, 22.4 mg/l de DBO5, 43 NMP/100ml de CT. P-3 23.6 mg/l de DBO5, 68.3 mg/l de DBO5, 150 NMP/100ml de CT. P-4 180.5 mg/l de DBO5, 385.4 mg/l de DBO5, 930 NMP/100ml de CT. P-5 17.1 mg/l de DBO5, 57.2 mg/l de DBO5, 46 NMP/100ml de CT. Las condiciones de operación: Presión de operación (psi): 60, Caudal de alimentación (L/min): 1.0, Tiempo de procesamiento (min): 20 y Alimentación de corriente 100~240V. podemos concluir que el porcentaje de remoción por osmosis inversa fueron muy significantes 100 % de remoción y muy insignificante 3.76%.

Palabras claves: Remoción, Osmosis inversa, caudal, muestra, materia orgánica



ABSTRACT

The main purpose of the current study was to assess the removal of organic matter by reverse osmosis in groundwater affected by latrines, where 5 groundwater wells located near domestic latrines were selected. In each well representative samples of 1 liter will be taken to ensure repeatability of the analyses and intentionally non-probabilistic convenience sampling was performed, the initial findings before processing were: P-1 275.3 mg/l of BOD5, 452.5 mg/l of BOD5, 1100 NMP/100ml of CT. P-2 9.3 mg/l BOD5, 22.4 mg/l BOD5, 43 NMP/100ml TC. P-3 23.6 mg/l BOD5, 68.3 mg/l BOD5, 150 NMP/100ml TC. P-4 180.5 mg/l BOD5, 385.4 mg/l BOD5, 930 NMP/100ml TC. P-5 17.1 mg/l BOD5, 57.2 mg/l BOD5, 46 NMP/100ml TC. The operating conditions: Operating pressure (psi): 60, Feed flow rate (L/min): 1.0, Processing time (min): 20 and Power supply 100~240V. We can conclude that the percentage of removal by reverse osmosis were very significant 100% removal and very insignificant 3.76%.

Keywords: Removal, Reverse osmosis, flow rate, sample, organic matter



INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua segura representa una garantía primordial y un soporte vital para el avance sostenible. No obstante, en muchas ciudades del altiplano peruano, como Juliaca, este derecho se ve comprometido por la deficiente calidad de los sistemas de saneamiento básico y el uso extendido de sistemas rudimentarios como las letrinas. Estas estructuras, al carecer de condiciones técnicas adecuadas para el confinamiento de los residuos, representan un riesgo potencial de polución para los acuíferos acuíferos, fuente primordial de suministro de H₂O para gran parte de la población.

A lo largo del tiempo, varios estudios han fichado la infiltración de contaminantes orgánicos y microbiológicos en pozos y manantiales cercanos a zonas habitacionales con uso intensivo de letrinas. La existencia de compuestos orgánicos solubles en el acuífero no solamente afecta negativamente las propiedades del agua, sino que además puede generar reacciones de degradación microbiana que favorecen la proliferación de bacterias patógenas y la formación de subproductos nocivos durante procesamientos convencionales. Ante este escenario, se hace necesaria la implementación de tecnologías de procesamiento más eficientes y específicas para garantizar la disponibilidad a H₂O segura.

La ósmosis inversa, una tecnología de apartamiento por membranas ampliamente utilizada en etapas de purificación de H₂O agua, se ha consolidado como una alternativa eficaz para la separación de una amplia gama de poluciones, conteniendo materia orgánica, sales disueltas y microorganismos. Su aplicación en contextos urbanos y rurales ha demostrado un alto potencial, especialmente en zonas donde otras alternativas no son viables o resultan insuficientes.



El desarrollo de este estudio permitirá no solo validar la aplicabilidad de esta tecnología en el contexto local, sino también aportar conocimiento técnico que podría ser replicado en otras regiones con problemáticas similares, ayudando de esta forma al perfeccionamiento de la condición del H₂O y la salud pública.

La presente investigación se organiza en cuatro apartados principales, distribuidos según el siguiente esquema:

Capítulo I, Se expone la introducción, la formulación de la problemática, la enunciación del mismo, las hipótesis, la justificación y la base teórica, definiendo los propósitos tocados que comprende la investigación.

Capítulo II, Se exponen razonamientos vinculados al objeto de investigación, referencias del análisis y los fundamentos teóricos que sustentan este estudio.

Capítulo III, Se desarrolla el enfoque metodológico empleado en la investigación, especificando el tipo y diseño del estudio, las herramientas y técnicas, la elección de la población y muestreo, los procedimientos, así como las estrategias de recopilación de datos.

Capítulo IV, Se exponen los hallazgos conseguidos y su análisis correspondiente. Para concluir, se desarrollan las inferencias finales y las sugerencias derivadas del estudio.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Análisis de la situación problemática.

El suministro de agua dulce constituye un requisito esencial para garantizar la salubridad colectiva y el progreso sustentable de las poblaciones. No obstante, en diversas regiones del altiplano peruano, particularmente en Juliaca, se mantienen importantes deficiencias en los sistemas de saneamiento básico, afectando directamente la condición del recurso hídrico accesible a la urbe. A pesar de los esfuerzos por agrandar la red de alcantarillado, un número considerable de familias en áreas periurbanas y rurales continúa haciendo uso de letrinas tradicionales como método de disposición de excretas. Estas estructuras, al no contar con un confinamiento hermético ni sistemas de procesamiento adecuados, representan una fuente constante de polución de los líquidos acuíferos.

La problemática se intensifica en Juliaca debido a su geografía plana, suelos altamente permeables y un nivel freático relativamente superficial, condiciones que facilitan la infiltración de lixiviados provenientes de las letrinas hacia los acuíferos. Como resultado, se han identificado concentraciones elevadas de materia orgánica disuelta (MOD) en pozos y acuíferos acuíferos

destinados al abastecimiento poblacional, situación que genera un alto riesgo sanitario y compromete el bienestar comunitario.

La existencia de materia orgánica en el H₂O no solo deteriora su calidad estética (olor, sabor y color), sino que también puede favorecer la proliferación de bacterias patógenas, interferir en procesos de desinfección y generar subproductos potencialmente tóxicos durante el procesamiento convencional con cloro, como los trihalometanos. Asimismo, niveles elevados de DQO y COT en el agua indican una fuerte presencia de compuestos orgánicos que no pueden ser eliminados mediante métodos simples de purificación.

Ante esta situación, es urgente identificar y evaluar tecnologías de procesamiento de agua que permitan una remoción eficiente de la materia orgánica existente en líquidos acuíferas contaminadas. La ósmosis inversa surge como una alternativa viable y eficaz, capaz de retener compuestos orgánicos de menor y mayor peso molecular, así como microorganismos, sales disueltas y otros contaminantes. Esta tecnología, basada en el uso de membranas semipermeables y presión hidráulica, ha demostrado resultados positivos en diversos contextos, aunque su aplicación en zonas altoandinas aún requiere ser estudiada y adaptada a las condiciones locales.

En este marco, la presente investigación se plantea como una respuesta a la problemática identificada, con el propósito de valorar la eficacia del esquema de ósmosis inversa en la eliminación de materia orgánica en líquidos acuíferas afectadas por letrinas en Juliaca. El estudio permitirá no solo caracterizar la magnitud de la polución orgánica en el área de estudio, sino también establecer

parámetros de operación óptimos del sistema, contribuyendo así con alternativas tecnológicas aplicables al procesamiento de agua en contextos similares a nivel regional y nacional.

1.2. Planteamiento del problema.

1.2.1. Problema general

¿Cuál será el porcentaje remoción de materia orgánica mediante la ósmosis inversa en aguas subterráneas afectadas por letrinas?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál será la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas?
- b) ¿Cuáles serán las condiciones de operación del equipo de ósmosis inversa para la reducción de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la remoción de materia orgánica mediante la ósmosis inversa en aguas subterráneas afectadas por letrinas.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.
- b) Determinar las condiciones de operación del equipo de ósmosis inversa para la reducción de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.

1.4. Justificación de la investigación

1.4.1. Justificación Práctica

El actual estudio posee una relevancia práctica directa al abordar una dificultad real y persistente en la ciudad de Juliaca. En zonas periurbanas y rurales donde no existe infraestructura de alcantarillado, las letrinas representan la única alternativa de disposición de excretas. No obstante, su mal diseño y falta de impermeabilización permiten la infiltración de lixiviados hacia los acuíferos, comprometiendo la condición del H₂O destinada al consumo de las personas.

Frente a esta situación, el desarrollo de soluciones tecnológicas accesibles, sostenibles y adaptables al contexto local se vuelve imperativo. En ese sentido, la aplicación de un esquema de ósmosis inversa representa una oportunidad concreta de procedimiento para mejorar la condición del H₂O subterránea. El presente estudio busca generar resultados que sirvan como base técnica y operativa para la ejecución de sistemas de procedimiento por ósmosis inversa en comunidades afectadas por este tipo de polución. A través de la identificación de las condiciones óptimas de operación (presión, caudal, recuperación, etc.) para maximizar la remoción de materia orgánica, se pretende establecer parámetros de diseño que puedan ser replicables y escalables.

1.4.2. Justificación social

El actual estudio adquiere una preeminencia social significativa, pues se orienta a mejorar la calidad del agua consumida por una parte importante de la población vulnerable de Juliaca, la cual se suministra de fuentes acuíferas expuestas a polución por el uso de letrinas.

En zonas periurbanas y rurales de esta ciudad, donde el sistema de alcantarillado no está disponible o no es funcional, las letrinas representan una solución común para la disposición de excretas. No obstante, estas, al carecer de sellado y confinamiento adecuado, permiten la infiltración de materia orgánica hacia los acuíferos, provocando un deterioro progresivo de la condición del H₂O subterránea. Este tipo de polución, aunque poco visible, tiene consecuencias serias sobre la salud pública, pues está asociada a enfermedades gastrointestinales, infecciones bacterianas y condiciones sanitarias precarias, especialmente en niños y adultos mayores.

En conclusión, este estudio no solo aborda un problema técnico-ambiental, sino que también responde a una necesidad social urgente, vinculada a la salud, la dignidad humana y la justicia ambiental. A través de la generación de conocimiento aplicado, se busca ayudar a optimizar los contextos de vida de los habitantes de Juliaca, especialmente de aquellos que enfrentan mayores condiciones de vulnerabilidad.

1.4.3. Justificación ambiental

El valor ambiental de este estudio radica en su cabida para proponer soluciones concretas a un problema silencioso pero crítico: la degradación de las aguas acuíferas por prácticas inadecuadas de saneamiento. Así, el estudio aporta al mantenimiento del recurso acuático y al fortalecimiento de la gestión ambiental en contextos vulnerables.

La defensa de las fuentes de H₂O subterránea representa uno de los principales retos ambientales en regiones donde la expansión urbana y la

limitada cobertura de saneamiento básico generan una presión constante sobre los ecosistemas hídricos. En Juliaca, ciudad ubicada en el altiplano peruano, esta problemática se ve agravada por el uso extendido de letrinas tradicionales en áreas donde el sistema de alcantarillado no está implementado o no es funcional.

La materia orgánica disuelta en el H₂O subterránea no solo compromete su condición para el consumo de las personas, sino que también altera el equilibrio ecológico del subsuelo, afecta la biodiversidad microbiana natural y puede incidir en la acumulación de poluentes secundarios, como nitrógeno y fósforo, que a su vez generan procesos de eutrofización cuando estas aguas alcanzan cuerpos superficiales.

Frente a este panorama, la presente investigación propone una alternativa ambientalmente responsable para la mitigación de esta forma de polución, por medio de la aplicación de la ósmosis inversa como tecnología de procesamiento. Además, el estudio contribuye al conocimiento técnico sobre el procesamiento de aguas contaminadas por fuentes difusas de origen domiciliario, originando un enfoque preventivo y correctivo en la gestión ambiental del agua. De esta manera, la investigación no solo busca reducir los peligros para la salubridad humana, sino asimismo preservar la integridad ecológica de los acuíferos. Asimismo, los resultados podrán servir como insumo técnico para la formulación de políticas ambientales más eficaces en el ámbito municipal y regional.

1.4.4. Justificación económica

En el contexto actual de Juliaca, donde los dos sectores de la urbe aún dependen del uso de letrinas como sistema de disposición de excretas, la



polución de aguas acuíferas representa no solo una dificultad ambiental y sanitario, sino también un costoso desafío económico para las familias, el esquema de salud y los gobiernos locales. El desperfecto progresivo de la calidad del agua conlleva impactos indirectos sobre la economía local, a través de mayores gastos en salud, reducción de las productividades laborales y incremento en los costes para el acceso a agua segura.

Los padecimientos de origen hídrico asociadas a la ingesta de H₂O contaminada por materia orgánica y microorganismos patógenos generan un alto costo social y económico, especialmente en sectores vulnerables. Familias de bajos recursos suelen recurrir a métodos caseros o ineficientes para tratar el agua, lo que no garantiza una solución definitiva y prolonga la exposición a riesgos sanitarios. Por otro lado, las instituciones públicas asumen crecientes gastos en procesamientos médicos, campañas de prevención y atención a brotes de enfermedades gastrointestinales.

Desde esta perspectiva, la presente investigación adquiere relevancia económica al evaluar una tecnología que puede representar una inversión eficiente y sostenible para el procedimiento de aguas acuíferas contaminadas. La ósmosis inversa, si bien puede requerir una inversión inicial moderada, ofrece beneficios a largo plazo por su elevada eficacia en la remoción de compuestos orgánicos, su bajo requerimiento de productos químicos y su aplicabilidad en sistemas descentralizados o comunitarios. Su implementación adecuada puede reducir los costos relacionados con la compra de agua embotellada, el uso de combustibles para hervir agua, o la adquisición de filtros domésticos de baja eficacia.

Asimismo, los resultados de esta investigación pueden orientar futuras decisiones de inversión pública o privada en tecnologías de procesamiento de agua, asegurando que los recursos asignados a proyectos de saneamiento y abastecimiento tengan un mayor impacto técnico, sanitario y económico.

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

La remoción de materia orgánica mediante la ósmosis inversa en aguas subterráneas afectadas por letrinas es eficiente.

1.5.2. Hipótesis específicas

- a) La concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas supera los límites máximos permisibles
- b) Las condiciones de operación del equipo de ósmosis inversa permiten una reducción significativa de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

- Sistema de osmosis inversa

1.6.2. Variable dependiente

- Remoción de materia orgánica.

1.6.3. Variable interviniente

- Calidad del agua subterránea.

1.7. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables de la investigación

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD
Variable Independiente Sistema de Osmosis inversa	Presión de operación Caudal de alimentación Tiempo de tratamiento Tasa de recuperación	Nivel de presión Volumen de entrada Tiempo de funcionamiento Porcentaje de remoción	(psi) (L/min) (min) (%)
Variable Dependiente Remoción de materia orgánica	Concentración inicial Concentración final Porcentaje de remoción	DQO (mg/L) COT (mg/L) DBO5 % de eficiencia de remoción	mg/L mg/L %
Variable Interviniente Calidad de agua subterránea	pH Temperatura Conductividad eléctrica Turbidez	Nivel de acidez Temperatura ambiente Grado de salinidad Presencia de sólidos en suspensión	pH °C



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. *Antecedentes internacionales*

El informe exhibido por los autores (Céspedes Betancourt & García Gómez, 2021) titulado “Diligencia de la ósmosis inversa en la potabilización de líquidos en Colombia”, cuyo objetivo fue analizar la aplicabilidad de la tecnología de OI en la potabilización del H₂O en Colombia. Dado que consideraron las diversas evaluaciones bibliográficas y las referencias obtenidas desde múltiples perspectivas de distintos países, permitieron categorizar los criterios técnicos para el dimensionamiento en el sistema de la Tecnología de Osmosis Inversa en la potabilización del H₂O, basándose en cada una de las etapas que este sistema posee. Entre sus conclusiones mencionan que, la revisión bibliográfica mostró que la aplicación de la osmosis inversa ha ayudado a solucionar problemas de escasez por distintos factores alrededor del mundo y en Latinoamérica es una tecnología, no solo en ascenso y con resultados satisfactorios en aplicaciones a gran escala, sino también en constante desarrollo. Por lo tanto, y aunque en Colombia se ha implementado en muy pocas ocasiones y con capacidades

reducidas, esta tecnología se presenta como una solución evidente para satisfacer la necesidad de agua constante y de calidad. También, según la especificación técnica colombiana, el análisis y revisión efectuados sobre esta norma permitieron establecer los componentes técnicos y pautas aplicables de la Tecnología en el entorno nacional, lo cual ofrece un sustento suficiente para cumplir con dichos elementos desde el comienzo de la implementación, asegurando así el cumplimiento total de las exigencias normativas y presentando una solución de potabilización que, en el futuro, contribuya a extender el acceso al servicio en la comunidad. En definitiva, de manera precisa y conforme a la información obtenida, pudieron exponer la situación presente en las áreas costeras de Colombia; con base en ello, establecieron que la adopción de la tecnología de Ósmosis Inversa como alternativa al problema de cobertura en estos territorios es posible, siempre que se cumplan las condiciones y requisitos ya indicados.

2.1.2. Antecedentes nacionales

El estudio presentado por (Guevara Collori & Saavedra Vera, 2025) titulada "Evaluación de la efectividad de métodos de ósmosis inversa para la remoción de Ar en acuíferos de Pacora, Lambayeque. El estudio buscó cuantificar la eficacia del proceso osmótico en la exclusión de As en aguas acuíferas, utilizando procesamiento previo con filtros de carbón activado en tres etapas secuenciales (1, 2 y 3). Los análisis comparativos incluyeron: (a) procesamiento combinado (carbón activado + ósmosis) y (b) solo ósmosis, por medio de espectrometría de masas con plasma conectado inductivamente (ICP-MS) en el Recinto Regional del Agua de Cajamarca. El diseño experimental con estímulo creciente reveló que la muestra control presentaba condiciones críticas:

(a) microbiológicamente excedía los LMP en coliformes totales (X UFC/100mL) y termotolerantes (Y UFC/100mL); (b) físico-químicamente incumplía en dureza total (Z mg/L CaCO_3), conductividad (W $\mu\text{S/cm}$) y turbidez (V NTU); y (c) contenía As (0.018 mg/L), superando en 80% el límite de la OMS (0.01 mg/L). El sistema híbrido (ósmosis + 3 etapas de carbón activado) mostró eficiencias del 72.78% (prueba inicial) y 99% (réplica), alcanzando la remoción óptima a los 30 minutos de contacto. La variación que se obtuvo en torno a la concentración de Arsénico con la instalación del sistema de OI en el caserío Las Juntas fue de 0.0131mg/L de la concentración presente de Arsénico en Pacora. El agua procesada mediante el sistema de ósmosis inversa en la localidad de Las Juntas exhibe una pureza mayor que la del agua sin tratamiento; en consecuencia, luego del proceso, posee una elevada probabilidad de ser segura y utilizable tanto para beber como para riego por los pobladores del lugar. En comparación con lo obtenido en los resultados el arsénico fue encontrado en una concentración de 0.018 mg/dl y después del procesamiento 0.0049, mientras que el límite permisible según el decreto supremo 031 -2010 –SA es 0.010 mg/dl; lo cual demuestra que esta agua tratada, tiene una calidad óptima y por debajo de los límites permisibles.

Según el estudio realizado por Romero Fuchs & Burillo Mori (2023), denominado "Evaluación de la condición del agua acuífera para ingesta humana y detección de focos de polución en el Asentamiento Humano Señor de los Milagros, Yarinacocha – Ucayali", se buscó analizar la aptitud del H_2O para la ingesta en dicha zona. El estudio afilió un enfoque descriptivo y transversal, con un diseño no experimental, enfocándose en reconocer las causas de polución, como las letrinas cercanas a las fuentes de agua. Se midieron indicadores

fisicoquímicos (pH, turbidez, conductividad, etc.) y microbiológicos (coliformes), comparándolos con los estándares del D.S. N° 031-2010-SA. Las derivaciones expusieron cloro remanente ausente y presencia de coliformes, incumpliendo los límites legales, atribuido a la proximidad de letrinas.

El estudio realizado por Condor Luna (2022), denominado *"Evaluación de la condición del agua acuífera tratada por OI en la PTAP Tunshuruco (Chinalco Perú S.A.) por medio de análisis fisicoquímicos y microbiológicos, Morococha-2022"*, poseyó como propósito examinar la aptitud del H₂O para ingesta humana. El estudio apadrinó un enfoque correlacional, de nivel explicativo, con un diseño transversal no experimental, centrándose en los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del H₂O procesada en dicha planta. El estudio consideró tres puntos de muestreo, siguiendo las directrices del Protocolo Nacional para el Control de Condición de los Recursos Hídricos (R.J. N° 010-2016-ANA). La evaluación de la condición del H₂O se basó en los LMP determinados en el D.S. N° 031-2010-SA para parámetros químicos, físicos inorgánicos y microbiológicos. Los datos in situ, recolectados diariamente en marzo, junio y septiembre, incluyeron turbiedad, cloro remanente libre, pH y conductividad, cuyos valores se promediaron. Las derivaciones señalaron que el sistema de ósmosis inversa mejoró significativamente la calidad del agua, reduciendo eficazmente los niveles de contaminantes microbiológicos y fisicoquímicos, lo que confirma su eficacia para el procesamiento de aguas contaminadas.

La investigación desarrollada por Ramos Pérez (2021), denominada *"Estudios de la calidad del agua procesada mediante ósmosis inversa para uso*

escolar en Manantay, coronel Portillo, Ucayali", poseyó como fin principal valorar la potabilidad del agua purificada destinada al consumo estudiantil en dos instituciones educativas: la I.E. My. EP. Marko E. Jara Schenone (N° 64912) y la I.E. Integrada Ivonis Mazzarolo (N° 65102). El análisis usó una metodología de campo con enfoque cuantitativo y nivel descriptivo, analizando múltiples indicadores microbiológicos (Coliformes Totales, Termotolerantes, bacterias heterotróficas, parásitos) y fisicoquímicos (metales sólidos, parámetros organolépticos) en agua tratada por ósmosis inversa. Los resultados pre-procesamiento mostraron polución crítica: en la I.E. Marko E. Jara S. se registraron 91,000 UFC/100 mL de Coliformes Totales y 29,667 UFC/100 mL de Termotolerantes, mientras que en la I.E. Ivonis Mazzarolo fueron 36,333 UFC/100 mL y 10,667 UFC/100 mL respectivamente, superando generosamente los LMP determinados. En cuanto a la turbiedad, el valor registrado para la IE My. EP. Marko E. Jara S. fue de 7,14 UNT, mientras que para la IEI Ivonis Mazzarolo fue de 0,30 UNT, lo cual indica que solo en esta última el agua para ingesta humana desempeña con el LMP. Respecto al pH, en la primera institución se midió 7,4 y en la segunda 7,3, demostrando que ambas cumplen con el límite establecido. En conductividad, los resultados fueron 136,5 $\mu\text{mho/cm}$ y 292,0 $\mu\text{mho/cm}$, respectivamente, cumpliendo también con la normativa. Finalmente, en sólidos totales disueltos se obtuvieron 68,333 mgL^{-1} y 146,000 mgL^{-1} , respectivamente. Esto demostró que, en las dos fundaciones, el H₂O para ingesta humana desempeña con los LMP. Los estudios microbiológicos y fisicoquímicos del H₂O, tras someterse a ósmosis inversa, confirmaron que es idónea para la ingesta, pues se ajusta a las medidas determinadas en el Reglamento de la condición del Agua para Ingesta Humana (D.S. N° 031-2010-

SA). Por ello, se considera innecesario realizar mantenimientos frecuentes del sistema, aunque es esencial garantizar un ambiente conveniente durante el transporte y envasado a las aulas, ya que estos factores podrían afectar su calidad con el tiempo. El estudio arrojó resultados altamente satisfactorios, confirmando que las muestras cumplen con los LMP vigentes para H₂O potable.

2.1.3. Antecedentes regionales

El estudio titulado "Fijación del nivel de reunión de Arsénico en aguas acuíferas en la Urb. Taparachi, Juliaca, Puno 2023", elaborado por Mestas Mora (2025), tuvo como finalidad cuantificar la existencia de Ar en las aguas acuíferas de dicha zona durante el año 2023, además de analizar las posibles causas de polución que afectan este recurso hídrico. El estudio fue de tipo aplicada con un enfoque cuantitativo, se desarrolló bajo un diseño no experimental y de nivel descriptivo. Tomó dos muestras de aguas acuíferas como parte del análisis. Obtenidos los resultados de laboratorio, concluye que, la polución por arsénico en los líquidos acuíferos de la Urb. Taparachi, en Juliaca, presenta niveles tóxicos de arsénico en los pozos ubicados en dicha urbanización. asimismo, determinó que una de las fuentes de polución es natural, proveniente de formaciones rocosas en la corteza terrestre. Entre las causas de contaminación se encuentran la quema de carbón, el uso de pesticidas arsenicales en cultivos cercanos a la cuenca de Coata, los vertimientos industriales y la refinación de metales.

En su investigación titulada "Procesamiento de aguas remanentes por medio de la combinación sinérgica de ósmosis inversa y rizofiltración en Cabanilla", Lino Paredes (2024) trazó como fin principal valorar la eficacia de este procesamiento combinado para la depuración de aguas remanentes en dicha

localidad. El análisis empleó una metodología de diseño experimental con enfoque cuantitativo y carácter aplicado. Como instrumentos de medición se utilizó la cadena de custodia y el "Protocolo para el Control de Aguas de Superficies". El muestreo consistió en 540 litros de agua remanente para procesamiento y 500 mL para estudios de laboratorio, mediante una muestra no probabilístico. Los resultados mostraron valores iniciales de 800 mg/L de DQO, 480 mg/L de DBO5, pH 6.9, 280 mL/L de SST, temperatura de 16.3°C y 150,000 NMP/100mL de coliformes totales. El procesamiento combinado demostró una eficiencia de remoción del 72.40% en el período de rizofiltración y del 91.70% en la OI.

La investigación desarrollada por Marca Añasco (2023), titulada "Fijación de los parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos del agua acuífera para la ingesta humana en la Urb. Magisterial, Zona 4 Totorani - Alto Puno - 2022", tuvo como objetivo principal analizar dichos parámetros en relación con los estándares determinados en el D.S. N° 031-2010-SA. El estudio adoptó un enfoque descriptivo-correlacional con diseño no experimental de corte transversal. Para el proceso de datos, se aplicaron tanto el Protocolo N° 160-2015/DIGESA/SA sobre procedimientos de muestreo como las disposiciones del mencionado decreto supremo. El análisis analizó cuatro muestras representativas, obteniendo los siguientes promedios: en parámetros bacteriológicos, coliformes totales (14,516 UFC/mL) superaron los LMP establecidos, en tanto que no se detectaron coliformes termotolerantes. En los parámetros físicos, los valores de turbiedad (4.71 UNT), temple (14.5°C) y conductividad eléctrica (271.74 μ S/cm) se encontraron adentro de LP. En cuanto a los parámetros químicos, el pH (6.86), STD (198.94 mg/L), dureza total (89.8 mg/L), cloruros (13.6 mg/L) y sulfatos

(31.64 mg/L) cumplieron con la normativa. La investigación ultimó que el agua no es apta para ingesta humana debido a la existencia enorme de coliformes totales, requiriendo necesariamente un proceso de potabilización.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. *Osmosis Inversa*

Según WaTeRSTATION (2020), la ósmosis inversa (OI) constituye un método de purificación hídrica que usa una membrana semipermeable para retirar sustancias minerales e iones del H₂O. Esta tecnología tiene como finalidad principal la eliminación de partículas de mayor tamaño existentes en el H₂O destinada a la ingesta humana.

La ósmosis inversa opera ejerciendo presión sobre el agua para forzar su paso por medio de una membrana semipermeable y purificarla.

Está cubierta selectiva permite el tránsito específico de determinadas partículas o iones a través de difusión. La rapidez del filtrado está influenciada por elementos como la presión osmótica, la intensidad, el potencial electroquímico, la temperatura de los solutos en cada compartimento y la eficiencia de la membrana para permitir la difusión de cada compuesto.

La OI es capaz de remover diversas moléculas e iones del agua, incluso bacterias, empleándose tanto en aplicaciones industriales como en la generación de agua apta para consumo.

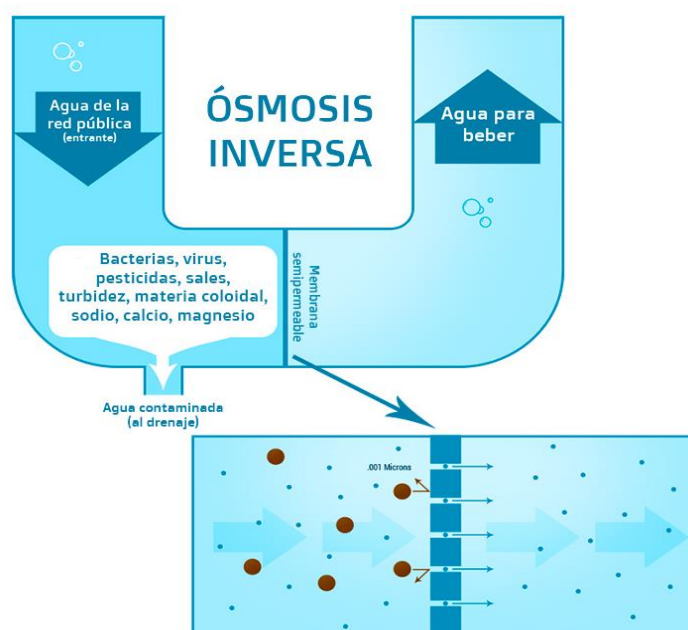
Como derivación de este proceso de purificación, los solutos quedan retenidos en el lado de mayor presión de la membrana, en tanto que el H₂O purificada atraviesa hacia el lado opuesto.

Para que el procedimiento sea "selectivo", la membrana debe impedir el tránsito de moléculas grandes por los poros, pero tiene que facilitar el libre paso de los elementos más pequeños de la solución.

La OI funciona mediante un proceso de difusión, por lo que su eficiencia en la separación está determinada por la reunión de solutos, la presión aplicada y la velocidad del flujo hídrico. Este método es ampliamente reconocido por su aplicación en la desalinización del agua marina, retirando sales y otras sustancias para obtener agua potable.

Figura 1

Osmosis Inversa



Nota: Imagen considerada de (WaTeRSTATION, 2020)

2.2.2. Membrana de ósmosis inversa

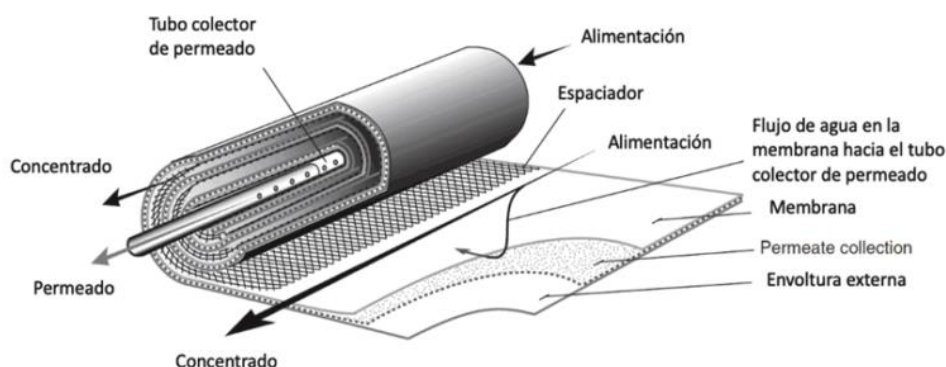
(pochteca Chile, 2024) Las membranas empleadas en ósmosis inversa actúan como filtros semipermeables en procesos de depuración de agua, donde se aplica presión como fuerza impulsora para la purificación.

La dimensión de los poros en membranas de ósmosis se cuantifica en nanómetros (nm) - equivalente a una milmillonésima parte de un metro - reteniendo la mayoría de contaminantes mientras permiten el paso limitado de moléculas de agua.

Estos filtros se producen utilizando polímeros sintéticos dotados de microporosidad a escala nanométrica, capaces de permitir el paso selectivo de iones, especies moleculares y nanopartículas.

Figura 2

Elementos de una membrana de OI



Nota: Imagen extraída de (Carbotecnia, 2024)

2.2.3. Tipos de membranas de ósmosis inversa

(ROAGUA, 2021) indica que, de acuerdo con diversos fabricantes de sistemas de ósmosis inversa, las variedades más frecuentes de membranas disponibles comercialmente son:

- membrana de ósmosis inversa antiincrustante
- membrana de ósmosis inversa de baja presión
- membrana de ósmosis inversa de agua ultrapura

- membrana de ósmosis inversa de presión ultrabaja
- membrana de ósmosis inversa de agua salobre
- película de desalinización de agua de mar, etc.

La membrana de agua salobre Se emplea mayormente en la purificación de recursos hídricos como pozos, cuerpos de agua dulce (ríos/lagos) y desechos líquidos de procesos industriales.

La membrana antipolución Permite espaciar los ciclos de mantenimiento químico y disminuye los gastos de operación en sistemas que procesan fluidos con elevada concentración de impurezas.

La membrana de presión ultrabaja es idónea para instalaciones de H₂O purificada de dimensiones reducidas e intermedias, optimizando eficazmente el gasto en bombas, cañerías y tanques presurizados, y manteniendo un elevado rendimiento en la tasa de desalinización incluso a una presión de funcionamiento menor.

La membrana de agua ultrapura se emplea principalmente en sistemas de agua de elevada pureza y H₂O ultrapura, donde su eficacia en la exclusión de micronutrientes resulta más favorable.

La membrana de desalinización de agua de mar se emplea fundamentalmente en el procesamiento de agua de mar y demás aguas con mayor grado de polución.

2.2.4. Niveles de purificación de agua

Figura 3

Niveles de purificación de agua



Nota: Imagen referenciada de (nuwa, s.f.)

2.2.5. Etapas de la ósmosis inversa

De acuerdo con (vdfteam, 2022), se tienen las siguientes etapas:

Etapas 1: Filtro de sedimento

Esta fase inicial marca el comienzo del proceso de ósmosis inversa, funcionando como etapa primaria. Durante este paso, el H₂O traspasa un filtro de sedimentos dotado de una extensa red de microporos que retiene impurezas como limo, arena, partículas de óxido y otros sólidos en suspensión.

Etapas 2: Filtro de carbón activado

El filtro, compuesto por carbón activado granular, aprovecha la estructura porosa de su superficie para adsorber eficientemente partículas causantes de olores, sabores, fenoles y cloro, así como diversos contaminantes comunes en el agua potable.

Etapas de la ósmosis inversa

Etapas 3: Filtro combinado CTO de carbón activado

Esta fase de purificación es más exhaustiva. El H₂O circula por medio de un filtro de carbón activado en polvo, cuya estructura multicámara con microcanales garantiza la eliminación remanente de cloro, además de interceptar eficazmente pesticidas y otros contaminantes persistentes.

Etapas 4: Membrana semipermeable

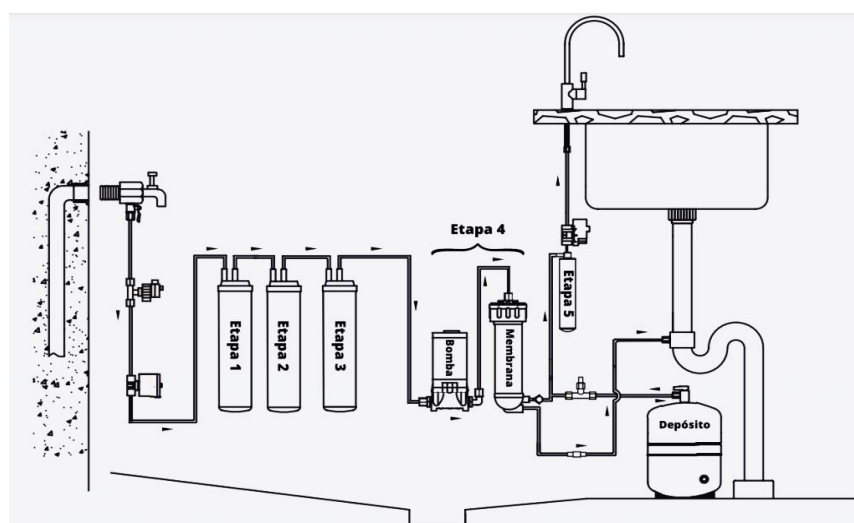
Esta fase logra separar el 97% de los sólidos disueltos presentes en el agua de red, obteniendo como resultado un agua osmotizada que conserva únicamente los componentes fundamentales para desempeñar con los más elevados estándares de condición.

Etapas 5: Post filtros de carbón

La etapa final incorpora un postfiltro de carbón activado granular que realiza un pulido final del agua, garantizando el cumplimiento de todas las medidas físico-químicas y organolépticas requeridos para H₂O potable de ingesta humana en entornos residenciales y corporativos.

Figura 4

Etapas de la ósmosis inversa



Nota: imagen referenciada de (Aqualife, 2023)

2.2.6. Funcionamiento de una membrana de ósmosis inversa

Tomando como referencia a (González, 2023), Las membranas de ósmosis inversa funcionan como filtros especializados que emplean presión hidráulica para impulsar el agua a través de una barrera semipermeable selectiva. Este mecanismo físico-químico permite la remoción efectiva del 95-99% de TDS, iones, microorganismos y otros contaminantes, generando un permeado de alta pureza.

Con mayor precisión, la OI es un método de purificación que emplea una membrana semipermeable para separar iones, moléculas u demás partículas de un líquido por medio de la aplicación de presiones, haciendo pasar el fluido por medio de la membrana.

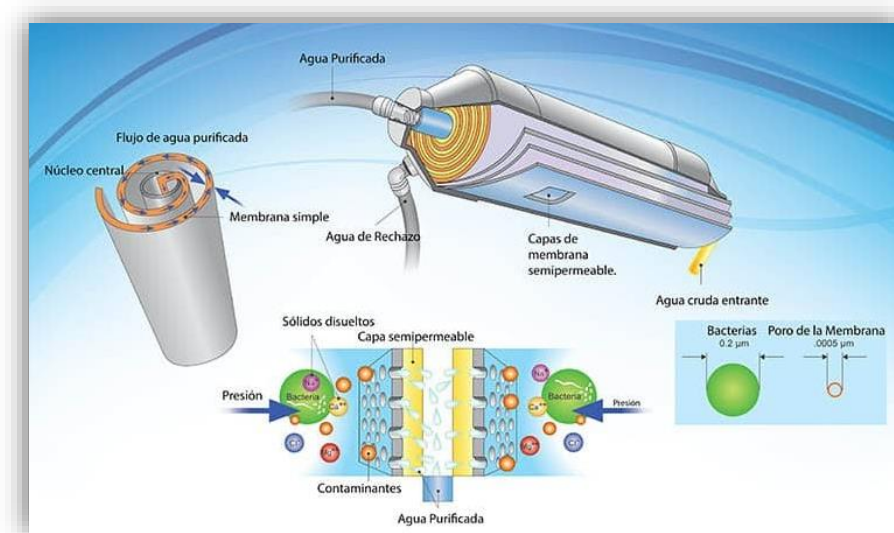
El término "inverso" alude al sentido opuesto del flujo respecto a la ósmosis convencional: mientras en esta el fluido avanza en contra del gradiente de presión, en la ósmosis inversa lo hace a favor de la presión aplicada. Específicamente, una fuerza externa impulsa el disolvente por medio de una membrana semipermeable, desplazándolo a partir de la zona de menor reunión hacia la de mayor reunión, hasta nivelar las proporciones a ambos lados. Así, se logra una solución más concentrada en uno de los compartimentos.

Las membranas de OI se fabrican con polímeros especiales dotados de microporos extremadamente pequeños, diseñados para permitir el paso selectivo de moléculas de H₂O en tanto que retienen contaminantes. La densidad de poros por unidad de superficie (generalmente medida por pulgada cuadrada) es un factor determinante en su rendimiento. La capacidad de filtrado se cuantifica en nanómetros (nm), unidad que valer por a una milmillonésima

parte de un m e indica el diámetro de los poros. Membranas con poros de menor diámetro logran mayor rechazo de impurezas, aunque con un flujo permeado más reducido.

Figura 5

Funcionamiento de la membrana de OI



Nota: Imagen extraída de (Gonzáles, 2023)

2.2.7. Ventajas y desventajas de la ósmosis inversa

(Saneamientos Ferrer, 2021) menciona las ventajas y desventajas que se tienen al usar la ósmosis inversa, siendo:

a) Ventajas

- ✗ Eliminan bacterias. El agua puede contener numerosos microorganismos patógenos, cuyo riesgo de transmisión de enfermedades se reduce significativamente mediante procesos de filtración efectivos.
- ✗ Elimina sabor y olores. Aunque el agua potable ideal no debería tener sabor ni olor, muchas veces el agua corriente presenta ambos. Los

sistemas de ósmosis son capaces de filtrar las sustancias que provocan estos sabores y aromas, especialmente aquellos procedentes del cloro utilizado en la desinfección.

- ✎ Permite el ahorro. Se garantizará el acceso al agua potable en las cantidades requeridas, optimizando su uso para prevenir excesos en la compra o el derroche.
- ✎ Ocupan muy poco espacio. Estos equipos pueden instalarse en el compartimento inferior del mobiliario de cocina, requiriendo un mínimo espacio de apenas unos centímetros cúbicos.
- ✎ Mejor sabor en la comida. El agua sometida a ósmosis inversa alcanza un grado de pureza superior, lo que potencia las cualidades organolépticas de los alimentos preparados con ella, mejorando notablemente su sabor.

b) Desventajas

- ❖ Los sistemas de ósmosis inversa producen una desmineralización completa del agua, eliminando tanto contaminantes como minerales beneficiosos. Para compensar este efecto, se recomienda incorporar una etapa adicional de remineralización que restablezca el equilibrio mineralógico del agua tratada.
- ❖ Los filtros poseen un período de duración. Los filtros de O cuentan con una fecha de caducidad, por lo cual es indispensable reemplazarlos periódicamente o tras cierto uso.

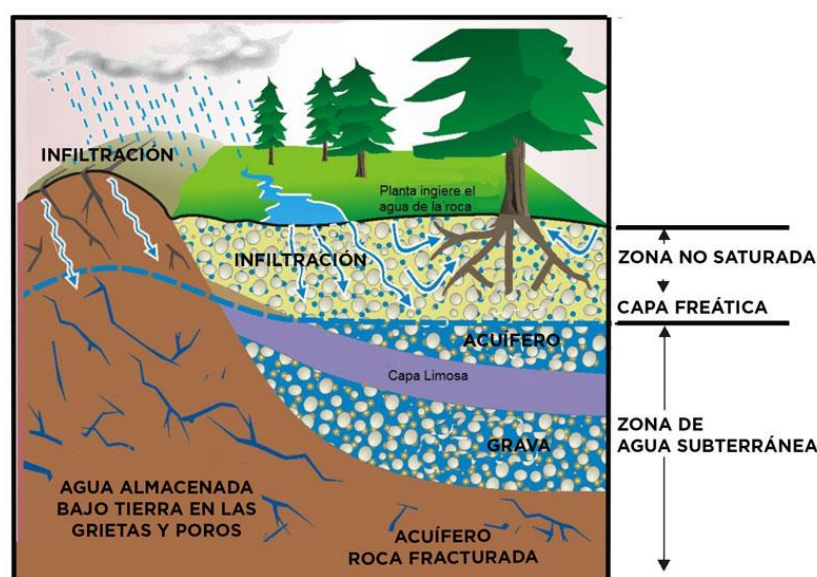
- ❖ Es un procedimiento pausado. La purificación por ósmosis avanza con lentitud, por lo que el volumen de agua generado en cada ciclo es reducido y, al agotarla, hay que aguardar a que se reponga.

2.2.8. Aguas subterráneas

(OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica, s.f.) Las aguas acuíferas representan el 30% del H₂O dulce accesible del planeta. Un 69% se encuentra retenido en los glaciares y polos, mientras que ríos y lagos apenas alcanzan un 1%. Frecuentemente, este recurso hídrico yace oculto en las profundidades de acuíferos, formaciones rocosas porosas y depósitos sedimentarios, requiriéndose pozos de extracción para su aprovechamiento. Muchos acuíferos son fuentes renovables que se recargan de manera gradual a través de la filtración de precipitaciones, proceso que puede tardar siglos o incluso milenios.

Figura 6

Aguas Subterráneas



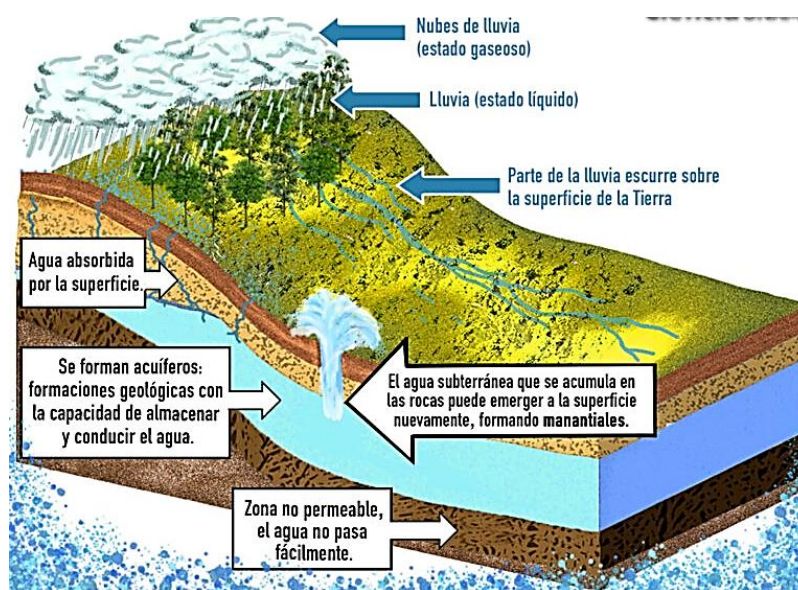
Nota: Imagen considerada de (aquabook, 2011)

(Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2019) Las aguas acuíferas se originan de las precipitaciones que se infiltran en suelos permeables. Por efecto de la gravedad, estas descienden gradualmente hasta toparse con una capa de terreno impermeable. Su acumulación forma un manto freático bajo la superficie terrestre, el cual circula constantemente en el subsuelo y puede emerger naturalmente en manantiales, humedales, ríos o desembocar directamente en el océano. Alternativamente, puede ser extraída mediante obras humanas como pozos, galerías u otros sistemas de captación.

Una propiedad clave de estas aguas es su constante renovación natural mediante el proceso de "recarga". Este mecanismo ocurre principalmente por infiltración de precipitaciones, aunque también puede darse por filtración desde cuerpos de agua superficiales, estratos acuíferos adyacentes o incluso por excedentes hídricos de actividades como el riego agrícola.

Figura 7

Formación de agua subterránea



Nota: Imagen referenciada de (Instituto del Agua, s.f.)

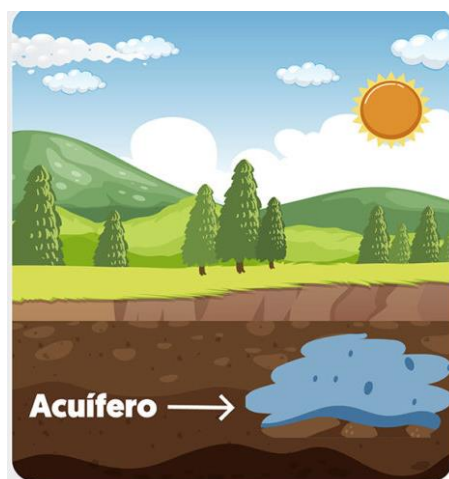
2.2.9. Acuífero

Un acuífero está constituido por una formación rocosa permeable capaz de almacenar agua subterránea en sus espacios porosos o fracturas geológicas. Estas estructuras permiten tanto el almacenamiento como el flujo del recurso hídrico a través de sus intersticios. (Issuu Inc., s.f.)

Se denominan acuíferos los estratos geológicos que albergan recursos hídricos subsuperficiales. Para fines utilitarios, deben presentar capacidad de retención y permitir el flujo de volúmenes aprovechables comercialmente. Los depósitos arcillosos, si bien poseen notable potencial de almacenamiento, ofrecen alta resistencia al tránsito hídrico, excluyéndose así de esta categoría. Hidrodinámicamente, funcionan análogamente a reservorios naturales, requiriéndose el análisis de: aportes infiltrativos, extracciones o descargas naturales, y parámetros de conservación y balance hidráulico. (Fuentes Yague)

Figura 8

Acuífero



Nota: Imagen considerada de (Profe Recursos, 2023)

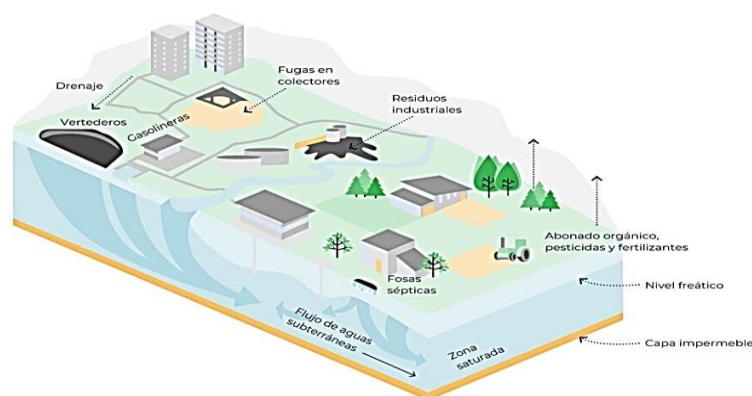
2.2.10. Contaminación de las aguas subterráneas

(Morales Casique, s.f.) El estudio analiza la problemática de la polución en acuíferos, destacando que las aguas subsuperficiales circulan a través de la matriz porosa del suelo, sedimentos y redes de fracturas en rocas. Durante su trayecto, estas aguas movilizan solutos, lo que genera efectos beneficiosos en escalas geológicas temporales mediante procesos de precipitación y disolución mineral a lo largo de eras geológicas. Paralelamente, este transporte hidroquímico facilita la distribución de nutrientes y transferencia energética entre distintos sectores de una cuenca hidrográfica.

No obstante, este mecanismo natural presenta externalidades negativas asociadas a la acción antropogénica. La elevada vulnerabilidad de los acuíferos a la polución permite la migración de contaminantes hacia el subsuelo. Vertidos accidentales o deliberados de compuestos como hidrocarburos, agroquímicos, efluentes urbanos e industriales percolan a través del suelo, degradando la calidad del agua subterránea hasta niveles incompatibles con el consumo humano y usos productivos.

Figura 9

Fuentes de contaminación del agua subterránea



Nota: Imagen recopilada de (Morales Casique, s.f.)

Estos contaminantes, una vez infiltrados, son movilizados por el flujo subterráneo hacia zonas de descarga natural como cuerpos de agua superficiales (cauces fluviales, áreas palustres, nacientes) y masas oceánicas, así como hacia puntos de extracción antropogénica (pozos de abastecimiento, sistemas de irrigación e instalaciones industriales), comprometiendo múltiples usos antrópicos del recurso hídrico.

El monitoreo de la polución en acuíferos presenta importantes desafíos metodológicos, ya que requiere perforaciones específicas para obtener muestras representativas del agua subterránea. Esta limitación operativa ocasiona que, en la mayoría de escenarios, la polución solo sea identificada cuando los contaminantes han alcanzado sistemas de descarga natural (manantiales, cauces fluviales) o puntos de captación para abastecimiento humano. Incluso entonces, muchos contaminantes permanecen indetectados hasta manifestarse a través de afectaciones a la salud pública.

La remediación de acuíferos contaminados presenta desafíos técnicos y económicos significativos. Los procesos de despolución, cuando viables, demandan inversiones cuantiosas y plazos extensos (de años a décadas). Previamente, se requiere: (1) identificar las fuentes de polución, (2) delimitar la zona afectada, y (3) caracterizar los mecanismos de transporte (sorción, degradación biótica/abiótica, intercambio catiónico). La heterogeneidad intrínseca de los medios porosos añade complejidad, ya que los contaminantes migran diferencialmente (mayor velocidad en zonas de alta permeabilidad). Sin embargo, caracterizar exhaustivamente la variabilidad espacial de las formaciones geológicas resulta prohibitivo por requerir recursos ilimitados.

Dado que la purificación del agua subterránea es un procedimiento sumamente complejo y oneroso, en ciertas ocasiones se decide depender de los mecanismos y cambios naturales que tienen lugar en el subsuelo y que descomponen ciertos contaminantes (como los hidrocarburos). Este enfoque recibe el nombre de atenuación natural y, si bien puede ser efectivo cuando se complementa con una supervisión y control exhaustivo de la degradación del contaminante, no resuelve todas las dificultades.

Debido a las razones mencionadas anteriormente, la estrategia más efectiva para enfrentar la problemática de la polución de aguas acuíferas es la prevención. Es crucial establecer restricciones a las actividades humanas que puedan generar impactos negativos en las zonas de recarga de fuentes de suministro. Además, se deben implementar sistemas de cuidado de la condición del agua acuíferas alrededor de posibles focos de polución, como vertederos, áreas de disposición de residuos, presas de relaves, estaciones de servicio, entre otros.

2.2.11. Formas de propagación de la contaminación de agua subterránea

(Fuentes Yague) La polución de las aguas acuíferas ocurre cuando su calidad natural se ve modificada hasta el punto de que se vuelve parcial o totalmente inadecuada para su uso previsto. Si el foco contaminante se encuentra muy concentrado y afecta a un área específica, hablamos de polución puntual, como sucede, por ejemplo, con un vertedero ubicado en la superficie. Gracias al proceso de depuración natural que ocurre en el suelo, la intensidad de la polución tiende a disminuir a medida que nos apartamos del foco. Por otro lado, se considera polución difusa aquella que impacta en un área extensa, como

sucede cuando un acuífero libre se ve afectado por un exceso de fertilización nitrogenada en una zona de riego.

La dispersión de los contaminantes en el acuífero ocurre de tres maneras diferentes, dependiendo de la condición en que se encuentre el agente contaminante:

- i) Propagación a partir de la superficie. - El caso más común de polución puntual es el acopio de desechos sólidos, cuyos componentes solubles son lixiviados o lavados por las precipitaciones y transportados hasta el acuífero (ver Fig. 10). La forma más frecuente de polución difusa proviene de las actividades agrícolas, especialmente por el uso de fertilizantes y pesticidas. El H₂O de lluvia o de regadío arrastra estos compuestos por lixiviación, alcanzando la zona saturada del acuífero (Fig. 11).

Figura 10

Contaminación de un acuífero provocada por lixiviación de contaminantes solubles situados en superficie

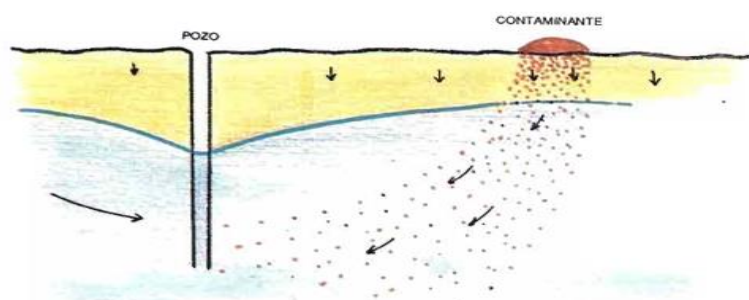
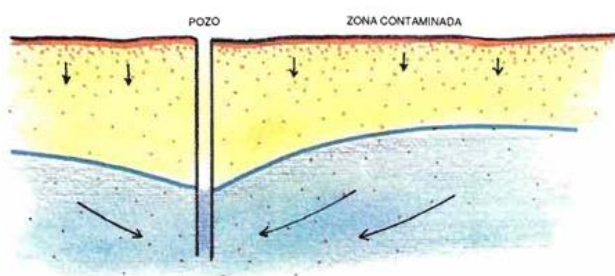


Figura 11

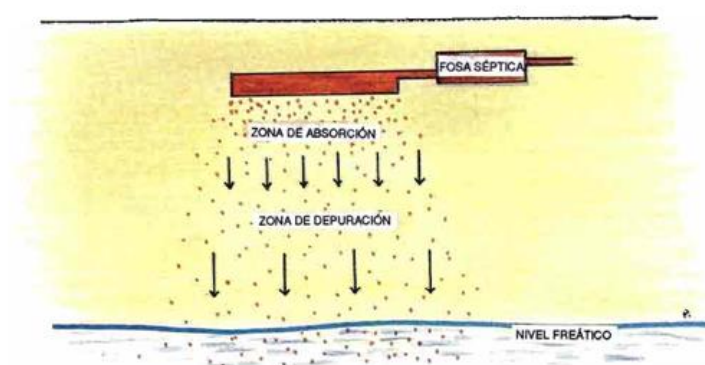
Contaminación difusa provocada por la actividad agrícola que son lixiviados por el agua de lluvia o de riego



- ii) Propagación acuífera a partir de la zona no saturada. - Uno de los ejemplos más comunes de polución de este tipo es el derivado del procesamiento de aguas remanentes domésticas (véase Fig. 12). El riesgo se incrementa cuando las instalaciones de evacuación están concentradas en una zona reducida o en suelos que ayudan la infiltración. Aunque en el suelo se produce cierto grado de depuración, es posible que algunos contaminantes alcancen la zona saciada del acuífero. Esta forma de polución también ocurre con el vertido de restos líquidos industriales que se depositan en hoyos o excavaciones del terreno. Resulta fundamentalmente riesgoso cuando estos restos se acumulan en graveras desamparadas cuyo fondo está próximo al área de saturación.

Figura 12

Contaminación de un acuífero provocada por los efluentes de una fosa séptica

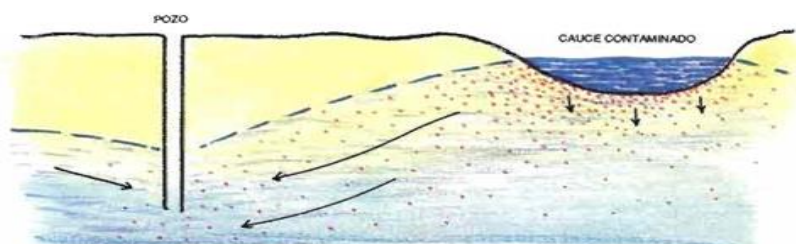


- iii) Propagación desde la zona saturada. - La forma más peligrosa y directa de polución se da cuando se esgrimen pozos de inyección profunda para dejar aguas remanentes. Este sistema de evacuación requiere extremar las precauciones y tener en cuenta sus restricciones. Además, el bombeo de H₂O desde pozos cercanos a cursos superficiales contaminados puede

inducir el flujo de agua desde estos hacia el pozo (véase Fig. 13). Con el tiempo, y tras un uso continuo, el pozo puede empezar a extraer agua contaminada.

Figura 13

Contaminación de un acuífero por el flujo inducido de agua contaminada procedente de la infiltración de aguas superficiales.



2.2.12. Materia orgánica en el agua

(AGUA org.mx, 2007) La mayoría de los compuestos orgánicos que generan polución hídrica tienen su origen en desechos alimenticios, vertidos domiciliarios y descargas de origen industrial. Estos elementos son degradados por acción bacteriana, protozoos y otros microorganismos de mayores dimensiones.

Esta degradación ocurre tanto en ambientes acuáticos como terrestres, mediante procesos químicos oxidativos que transforman moléculas ricas en energía en compuestos menos energéticos. La demanda biológica de oxígeno puede superar su reposición atmosférica, generando competencia entre los organismos acuáticos por este recurso y alterando consecuentemente los ecosistemas subacuáticos.

Un método cuantificable para analizar la polución hídrica causada por compuestos orgánicos (que funcionan como nutrientes y consumen oxígeno al degradarse) es calcular la rapidez con que estos materiales demandan oxígeno durante su desintegración bacteriana. Este indicador recibe el nombre de DBO.

La DBO depende de factores como la temperatura del entorno, los microorganismos presentes en el agua y la concentración y naturaleza de los nutrientes disponibles. Cuando estas condiciones permanecen estables, la tasa de oxidación de la materia orgánica puede cuantificarse mediante su vida media, definida como el período requerido para que se degrade el 50% del compuesto orgánico inicial.

La degradación de compuestos orgánicos en condiciones oxigenadas recibe el nombre de proceso aeróbico, constituyendo el mecanismo más eficiente para aprovechar la energía almacenada en estos materiales.

Cuando la materia orgánica contaminante del agua se ha consumido, las bacterias responsables de la desoxigenación de las aguas contaminadas comienzan a oxidar el ion amonio, en un proceso que se denomina nitrificación.

La degradación de compuestos orgánicos sin presencia de oxígeno recibe el nombre de procesos anaeróbicos. Cuando esta transformación es catalizada por enzimas generadas por microorganismos como levaduras y actúa específicamente sobre glúcidos o sacáridos, recibe el nombre de fermentación. Por su parte, la descomposición anaeróbica de las proteínas, llevada a cabo por bacterias, se denomina putrefacción.

En el proceso de descomposición anaeróbica, el metano —al ser incapaz de disolverse en agua— se emite como gas. Por otro lado, el sulfuro de hidrógeno, un gas transparente con un característico olor a huevo descompuesto, es altamente venenoso (resulta letal en concentraciones del 5%). Esto explica los fétidos olores generados durante la putrefacción y la imposibilidad de supervivencia para peces y otros organismos aeróbicos en aguas afectadas, convirtiendo este proceso en la modalidad más dañina de polución microbiana.

(adasa, s.f.) indica que los parámetros más comunes para cuantificar cargas orgánicas en el agua son:

- Materia orgánica biológicamente oxidable (DBO)
- Carbono orgánico total (COT)
- Materia químicamente oxidable (DQO)

2.2.13. Pozo tubular

Un pozo tubular es una obra hidráulica de configuración vertical y cilíndrica diseñada para extraer agua del subsuelo almacenada en acuíferos. Estos últimos son estratos geológicos formados por rocas permeables capaces de almacenar y conducir importantes volúmenes de agua, actuando como depósitos naturales bajo la superficie terrestre. La relevancia de pozos actualmente va más allá del abastecimiento humano (agua potable), ya que en muchos casos se utilizan para impulsar diversas actividades productivas como riego, uso industrial, abastecimiento público, entre otros (Julca Santacruz, 2014)

Figura 14

Pozo tubular



Nota: Imagen extraída de (Julca Santacruz, 2014)

Beneficios: (NUVACORP, s.f.)

- Captación de recursos hídricos acuíferos en volúmenes significativos.
- Excelente calidad fisicoquímica, con menor presencia de contaminantes comparado con fuentes superficiales.
- Reducción de costos operativos frente a sistemas de distribución convencionales.
- Abastecimiento continuo con alta confiabilidad hidrológica.
- Adaptabilidad geotécnica para su implementación en diversos contextos topográficos y estratigráficos.

2.3. Marco conceptual**2.3.1. Agua Subterránea**

Las aguas acuíferas son las que se hallan debajo de la superficie terrestre y representan un mecanismo fundamental del ciclo hidrológico. Cuando llueve o nieva, parte de esta agua se filtra por medio de la tierra hasta encontrar una capa impenetrable de roca, donde llena los poros y fisuras, quedando así almacenada en acuíferos. (Iberdrola, s.f.)

2.3.2. DBO (*Materia orgánica biológicamente oxidable*)

La DBO cuantifica el oxígeno requerido para la descomposición microbiana de la MO disuelta en el agua, bajo condiciones controladas. Es un método complejo de automatizar. Este parámetro refleja de manera efectiva el impacto de la MO en el equilibrio nativo y en la capacidad de autodepuración del entorno acuático. Sin embargo, requiere cinco días para obtener resultados. (adasa, s.f.)

2.3.3. DQO (Materia químicamente oxidable)

La DQO mide la cuantía de oxígeno diluido necesario para la oxidación química de la MO y de las sales minerales oxidables, tanto biodegradables como no biodegradables, presentes en el agua. Los analizadores automáticos de DQO pueden generar resultados en tan solo dos horas. Sin embargo, su funcionamiento puede verse afectado por la presencia de cloruros y utilizan diversos agentes oxidantes, como el dicromato de potasio y el permanganato. (adasa, s.f.)

2.3.4. Carbono Orgánico Total (COT)

(adasa, s.f.) Para calcular el Carbono Orgánico Total (COT), la muestra se oxida hasta transformarse en dióxido de carbono. Este proceso de oxidación puede realizarse utilizando agentes químicos como el persulfato, mediante ignición asistida por un catalizador, o bien mediante calor o radiación ionizante (UV).

El dióxido de carbono generado se determina utilizando un detector infrarrojo no dispersivo o mediante la medición de la conductividad. Los analizadores de COT en continuo son más complejos a partir del punto de vista instrumental, lo cual implica una mayor dificultad en su manejo y, normalmente, un mayor costo operativo, por ejemplo, debido al elevado precio de los repuestos.

2.3.5. Letrina

Una letrina es una instalación sanitaria elemental destinada a la recolección de desechos humanos. Su propósito es fomentar la higiene y evitar la polución del medio ambiente, incluidas las fuentes de agua. Son habituales en zonas rurales o en regiones donde no existen sistemas de saneamiento desarrollados.

Gracias a su sencillez y funcionalidad, son esenciales en situaciones de emergencia o en lugares con recursos escasos. (todoagua, 2023)

2.3.6. Osmosis

La ósmosis representa un fenómeno físico-químico donde el disolvente migra a través de una membrana selectivamente permeable, fluyendo desde la solución de menor concentración hacia la de mayor concentración, buscando alcanzar un equilibrio osmótico entre ambos compartimentos. La presión necesaria para que se produzca este fenómeno se denomina presión osmótica. (Carbotecnia, 2024)

2.3.7. Ósmosis inversa

La ósmosis inversa es un proceso de purificación hídrica que emplea una membrana semipermeable para retener sólidos suspendidos y solutos, obteniendo agua de alta calidad mediante separación molecular. Esta tecnología, que simula procesos naturales, permite el procesamiento físico-químico del agua, forzándola a atravesar membranas semipermeables para separar las impurezas. (Orozco Lab, 2023)



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño de investigación

Nivel de estudio: Experimental, pues se aplicará un procesamiento a muestras de agua para observar el efecto sobre la concentración de materia orgánica.

Diseño experimental pre-experimental de tipo pretest-posttest con un solo grupo. Se recolectarán muestras de agua contaminada con materia orgánica antes del procesamiento (pretest), se aplicará la ósmosis inversa, y luego se analizarán nuevamente las mismas muestras (posttest).

Enfoque: Cuantitativo: Se recolectarán datos numéricos sobre los niveles de materia orgánica precedentemente y posteriormente del procesamiento con ósmosis inversa.

3.2. Tipo de investigación

Tipo de estudio: Aplicada, el estudio busca generar conocimientos con aplicación práctica para optimar las condiciones del H₂O acuífera por medio de una tecnología específica: la ósmosis inversa.

3.3. Procedimiento metodológico

3.3.1. *Objetivo1: Determinar la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.*

Para cumplir con este objetivo, se desarrolló una secuencia metodológica que permite identificar y cuantificar la concentración de MO presente en muestreos de H₂O acuífera, recolectadas en zonas vulnerables de Juliaca donde se hace uso de letrinas. Este proceso se describe a continuación:

1. Identificación de puntos de muestreo

Se optaron intencionalmente y a conveniencia 05 pozos como fuentes de agua acuíferas ubicadas a menos de 30 metros de letrinas domiciliarias, en sectores donde no existe red de alcantarillado. La elección se basó en criterios de accesibilidades, seguridad, y disposiciones de los pobladores para auxiliar con el análisis.

2. Caracterización preliminar del entorno

Se realizó un registro de las condiciones inmediatas de cada punto de muestra, incluyendo:

- Tipo y hondura de la fuente de agua
- Distancia a las letrinas
- Materiales de construcción de las letrinas
- Presencia de residuos sólidos o aguas grises cercanas

3. Muestreo de agua subterránea

Se recolectaron las muestras siguiendo el protocolo del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017). El procedimiento incluyó:

- Usanza de ampollas de vidrio de 1 L, esterilizadas y herméticamente cerradas
- Extracción directa del punto de captación (sin almacenamiento previo)
- Rotulado adecuado de cada muestra con fecha, hora y ubicación
- Conservación de las muestras a 4 °C y transporte al laboratorio en menos de 6 horas

4. Análisis de laboratorio para determinar la concentración de materia orgánica

En el laboratorio se analizaron las siguientes variables, consideradas representativas de la presencia de MO disuelta:

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** utilizando el método de digestión con dicromato (reactivo cerrado) y lectura en espectrofotómetro a 600 nm.
- **Carbono Orgánico Total (COT):** mediante oxidación térmica catalítica, con detección por infrarrojo no dispersivo (NDIR).
- **pH y turbidez:** como parámetros auxiliares para evaluar condiciones físico-químicas generales del agua.
- **Temperatura:** se utilizó el potenciómetro para dicha determinación.

- **Coliformes termotolerantes:** utilizando el método del dígito más posible NMP/100 ml

5. Sistematización y procesamiento de datos

Los valores obtenidos fueron organizados en matrices de datos en Microsoft Excel. Se ejecutó:

- Estudio estadístico descriptivo (promedios, desviación estándar, rangos)
- Comparación entre puntos de muestreo para identificar niveles críticos de polución orgánica

3.3.2. Objetivo 2: Determinar las condiciones de operación del equipo de ósmosis inversa para la reducción de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.

Posteriormente, se describe el proceso metodológico adoptado:

1. Preparación del sistema de ósmosis inversa

Se instaló una sistemática de OI a escala piloto, compuesto por los siguientes elementos:

- Membrana semipermeable de poliamida tipo TFC (Thin Film Composite)
- Bomba de elevada presión con regulador de caudal
- Válvula de control de presión y flujo de rechazo
- Manómetros y caudalímetros en las líneas de entrada, permeado y rechazo
- Tanque de alimentación y recipiente de recolección

El sistema fue calibrado y probado con agua sintética antes de las pruebas reales, a fin de garantizar su correcto funcionamiento.

2. Selección de variables operativas a evaluar

Se definieron como **variables independientes** del experimento las siguientes condiciones de operación:

- **Presión de operación** (psi): 40, 60, 80
- **Caudal de alimentación** (L/min): 1.0, 1.5, 2.0
- **Tiempo de tratamiento** (min): 10, 20, 30

3. Aplicación del tratamiento y monitoreo de variables

Para cada combinación de parámetros operativos, se alimentó el sistema con una muestra homogénea de agua subterránea previamente caracterizada (alta concentración de DQO y COT). Durante cada ensayo se registraron:

- Presión real de trabajo
- Caudal de entrada y salida (permeado)
- Volumen de rechazo
- Tiempo de operación
- Temperatura del agua

4. Análisis del agua tratada

Los muestreos de agua procesada (permeado) fueron recolectadas y analizadas para determinar:

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

- **Carbono Orgánico Total (COT)**

Se compararon los valores finales e iniciales para calcular la **eficiencia porcentual de remoción** bajo cada condición de operación, según la fórmula:

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \left(\frac{C_i - C_f}{C_i} \right) * 100$$

Donde:

C_f = Concentración final

C_i = Concentración inicial

5. Procesamiento y análisis de resultados

Los datos conseguidos yacieron organizados en matrices experimentales y analizados mediante:

- Estadística descriptiva: promedios, desviaciones estándar
- Análisis comparativo entre procesamientos
- Representaciones gráficas del comportamiento de las variables

3.4. Técnicas e instrumentos

3.4.1. Técnicas

Son los instrumentos mediante los cuales el investigador obtiene y documenta la información. Por lo tanto, se usará para:

a) **Muestreo de agua subterránea:**

Se aplicará una técnica de **muestreo puntual directo**, persiguiendo los formalidades señalados por el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF). La recolección se realizará en ampollas de vidrio o polietileno de elevada

densidad, previamente esterilizadas y rotuladas. Las muestras se conservarán en condiciones de refrigeración (4°C) y serán trasladadas al laboratorio en un lapso no mayor a 6 horas para evitar la degradación de los compuestos orgánicos.

b) Caracterización de la calidad del agua:

Se esgrimirá la técnica de estudio físico-químico de laboratorio para establecer los valores finales e iniciales de las medidas más relevantes de la MO disuelta en el H_2O . Se emplearán métodos estándar para medir:

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Procedimiento de digestión cerrada con espectrofotometría.
- **Carbono Orgánico Total (COT):** Procedimiento de combustión catalítica con detección por infrarrojo no dispersivo.
- **pH, temperatura, turbidez y conductividad eléctrica,** como parámetros de apoyo y control.

c) Tratamiento experimental con ósmosis inversa:

Se empleará una sistemática de ósmosis inversa de escala piloto, con posibilidad de ajustar variables operativas como:

- Presión de operación
- Caudal de entrada
- Tiempo de procesamiento
- Tasa de recuperación del sistema

Cabe mencionar que estas variables serán registradas sistemáticamente durante cada prueba experimental para correlacionar sus efectos sobre la eficacia de eliminación de la MO.

3.4.2. Instrumentos

Los instrumentos de recopilación de datos que se usaran, a continuación, se puede ver en la tabla siguiente:

Tabla 2: Instrumentos de recolección de datos

Parámetro	Instrumento/Equipo
Presión de operación	Manómetro de glicerina calibrado (psi/bar)
Caudal de alimentación	Caudalímetro tipo rotámetro (L/min)
DQO	Espectrofotómetro multiparamétrico (HACH)
COT	Analizador de Carbono Orgánico Total (TOC)
pH	pH-metro digital de laboratorio
Temperatura	Termómetro digital con sensor de inmersión
coliformes termotolerantes	NMP/100 ml

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Aguas acuíferas de Juliaca, individualmente en zonas periurbanas donde se utilicen letrinas sin sistemas de procesamiento adecuados.

3.5.2. Muestra

Se seleccionarán intencionadamente (muestra no probabilística por conveniencia) 5 pozos acuíferos ubicados cerca de letrinas domésticas. En cada pozo se tomarán muestras representativas para asegurar la repetibilidad de los análisis.



Lugar de Muestreo

Tabla 3: Código, ubicación, fecha y hora de muestreo

Código	Tipo de pozo	Coordenadas	Fecha	Hora
P – 1	ARTESANAL	E: 379327.993 N: 8287187.977	16/10/2024	10:00
P – 2	TUBULAR	E: 378960.347 N: 8283338.99	16/10/2024	10:20
P – 3	TUBULAR	E: 379375.22 N: 8283774.97	16/10/2024	10:35
P – 4	ARTESANAL	E: 379376.62 N: 8283775.418	16/10/2024	10:50
P – 5	TUBULAR	E: 379389.304 N: 8283770.545	16/10/2024	11:10

Nota: los puntos de muestra fueron designados por conveniencia y en base a las facilidades de los propietarios.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

4.1.1. Determinar la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.

A continuación,

Tabla 4

Resultados iniciales del análisis de aguas subterráneas.

Parámetro	Unidad	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Temperatura	°C	14.5	14.3	14.4	14.3	14.5
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.3	7.6	7.7	7.5	7.6
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	275.3	9.3	23.6	180.5	17.1
Demanda química de oxígeno	mg/L	452.5	22.4	68.3	385.4	57.2
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1100	43	150	930	46

Nota: Resultados obtenidos en el laboratorio de condición ambiental de la

EPISA- UANCV

En la tabla se puede verificar que el temple en las diferentes aguas acuíferas provenientes de P-1 hasta P-5 se mantiene algo constante

Estando en un rango de 14.3 – 14.5 °C. en referencia al pH se puede ver que está en un rango de 7.3-7.7 und. de pH indicando que estas H₂O de los 5 pozos se encuentran dentro de la normatividad con una tendencia ligeramente a lo alcalino. Para la DBO los rangos para los 5 pozos son muy distantes variando entre 9.3-275.3 mg/l. la DQO de igual forma, la variación en los cinco pozos es muy distante variando entre 22.4-452.5 mg/L, indicándonos que en algunos pozos existe mayor polución por las letrinas hacia las aguas acuíferas y en otras el impacto es un poco menor. Lo mismo pasa en cuanto a los coliformes termotolerantes las variaciones son distantes de 43-1100 NMP/100ml.

En las tablas siguientes se exponen las derivaciones más detalladas y en base a la normativa que la rigen.

Tabla 5

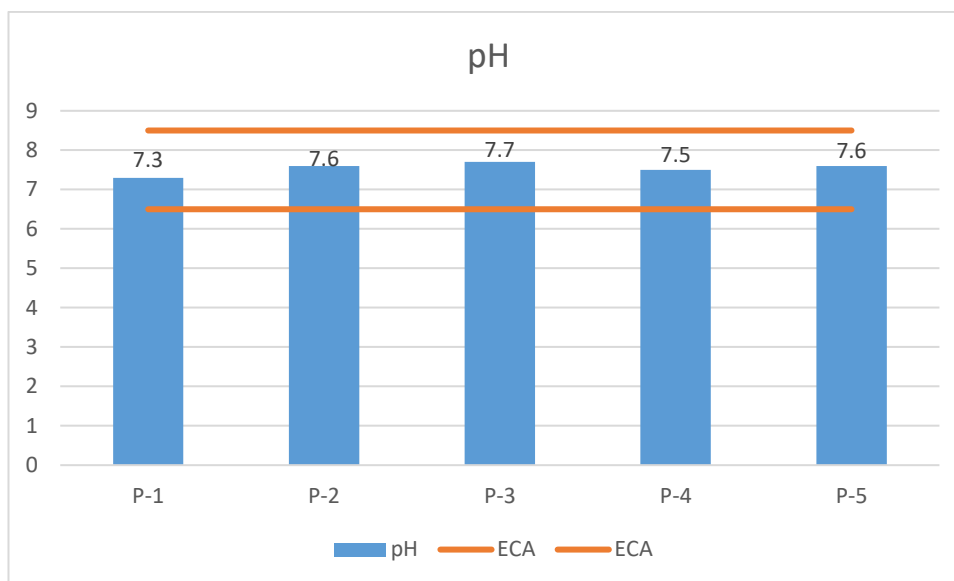
Relación del valor de pH inicial con el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM

Pozo	pH	ECA
P-1	7.3	6.5-8.5
P-2	7.6	6.5-8.5
P-3	7.7	6.5-8.5
P-4	7.5	6.5-8.5
P-5	7.6	6.5-8.5

Nota: valores de pH en los cinco pozos en el primer día de muestreo

Figura 15

pH inicial en relación a la normatividad



En la ilustración se puede ver que el ORDEN SUPREMA N° 004-2017-MINAM. Nos muestra que el H₂O que sea para consumo humano no debería de pasar el rango de 6.5-8.5 unidades de pH, en la investigación realizada podemos ver en las derivaciones que el pH en los cinco pozos se encuentra adentro de lo determinado por la orden supremo, para este parámetro el agua acuífera de los cinco pozos es idónea para ser consumida.

Tabla 6

Concentración inicial de la demanda bioquímica de oxígeno

Pozo	DBO5	ECA - A1	ECA - A2	ECA - A3
P-1	275.3	3	5	10
P-2	9.3	3	5	10
P-3	23.6	3	5	10
P-4	180.5	3	5	10
P-5	17.1	3	5	10

Nota: concentración de DBO5 antes del procesamiento por osmosis inversa.

Donde:

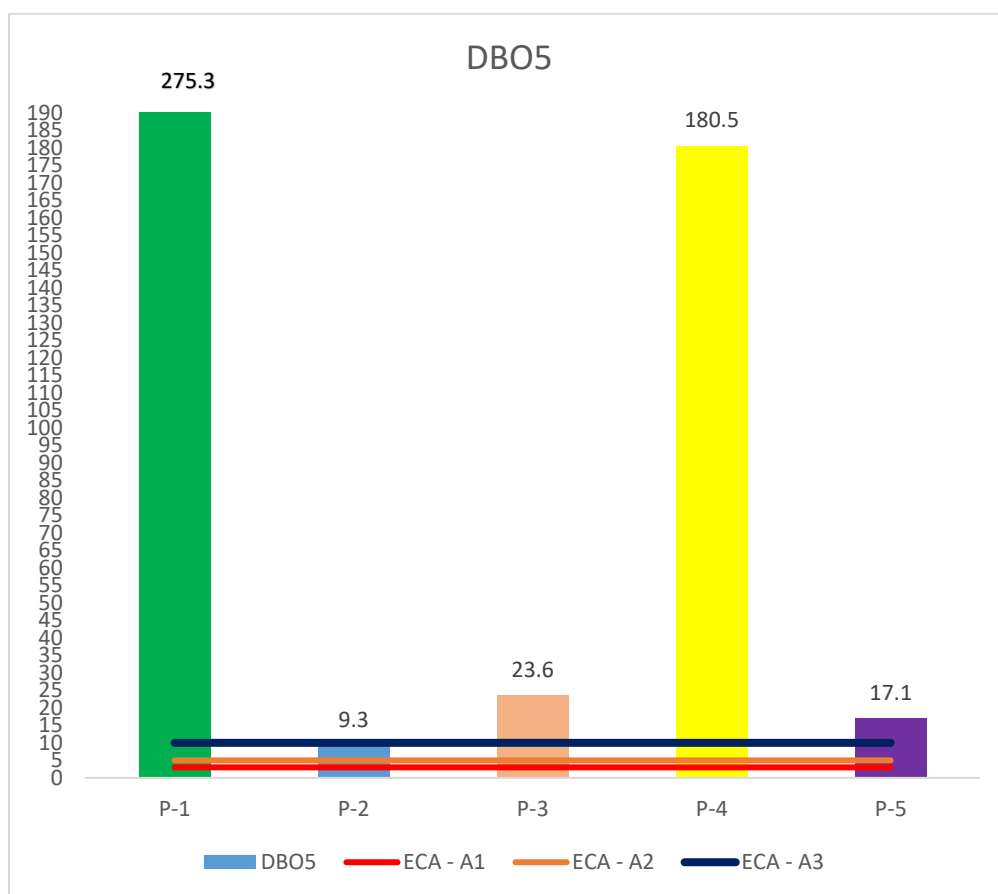
A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con procesamiento avanzado

A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con procesamiento convencional.

A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Figura 16

Comparación de la concentración inicial de DBO5 con el ECA agua



Nota: Relación de la DBO5 con la normatividad.

En la figura mostrada podemos observar que el primer pozo (P-1) la concentración de la DBO5 es elevada (275.3 mg/l) lo que indica una mayor presencia de contaminantes orgánicos y a la vez esto simboliza que el agua solicita una mayor cuantía de oxígeno para su procesamiento. Y a su vez implica que, para su potabilización se requiere procesos avanzados

como: procesos químicos y físicos avanzados como prefloración, ultra filtración, microfiltración, carbón activado, nanofiltración, ósmosis inversa o una planta de lodos activados, En referencia a los demás pozos (P-3, P-4 y P-5) también las concentraciones de DBO5 sobre pasan los estándares de calidad en sus tres categorías, indicándonos que, Cuanto más alto es el valor, más contaminada está el agua. Pero el pozo P-2 presenta una concentración de 9.3 mg/l indicándonos que sus aguas deberían ser tratadas mediante: floculación, coagulación, sedimentación, decantación, y/o filtración o procesos equivalentes; inclusive su esterilización, de aprobación con el estándar vigente para así de esa manera estas aguas puedan ser potabilizadas.

Tabla 7

Concentración inicial de la demanda química de oxígeno

Pozo	DQO	ECA - A1	ECA - A2	ECA - A3
P-1	452.5	10	20	30
P-2	22.4	10	20	30
P-3	68.3	10	20	30
P-4	385.4	10	20	30
P-5	57.2	10	20	30

Nota: concentración de DBO5 antes del procesamiento por osmosis inversa.

Donde:

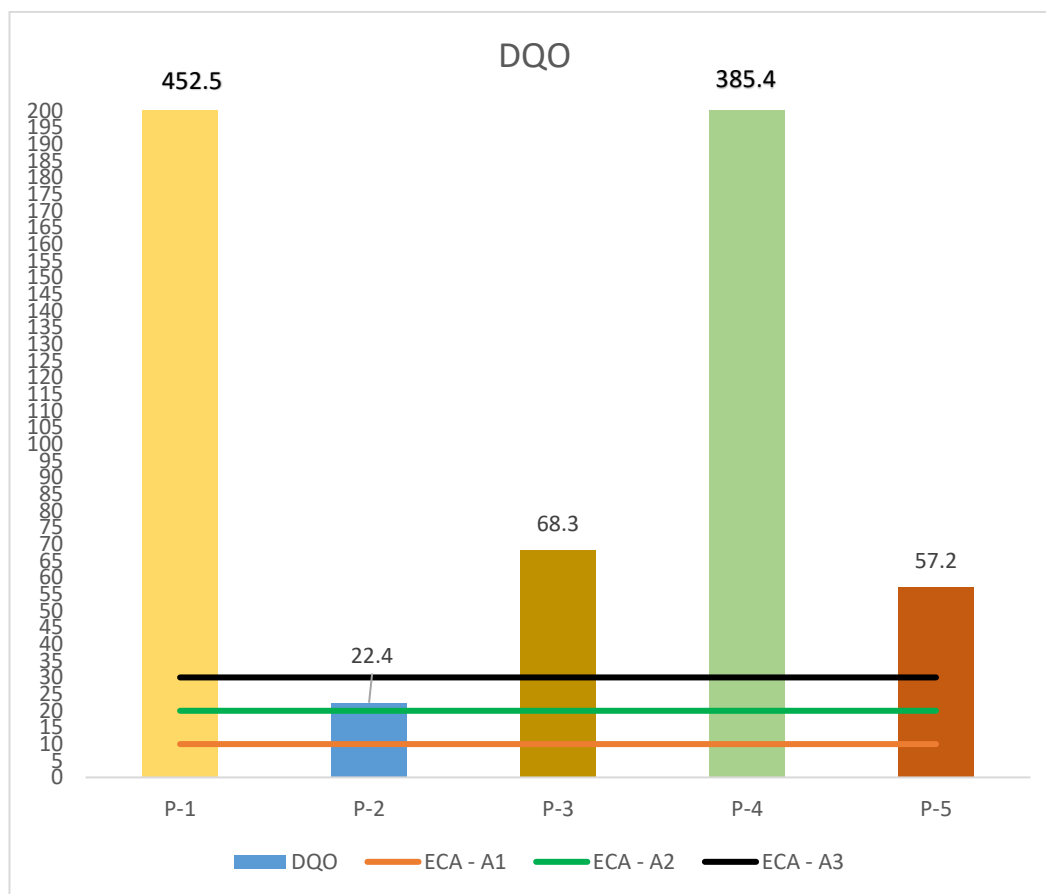
A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con procesamiento avanzado

A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con procesamiento convencional.

A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Figura 17

Comparación de la concentración inicial de DQO con el ECA agua



Nota: Relación de la DQO con la normatividad.

En la figura podemos observar que el primer pozo (P-1) la concentración de la DQO es muy elevada (452.5 mg/l) indicándonos que el H₂O sujeta una gran cuantía de poluciones orgánicos que precisan ser anulados precedentemente de que el H₂O pueda ser reusada o restituida al ambiente, esto pudiendo se debe primariamente a descargas industriales, dado que permiten identificar la presencia de sustancias que son difíciles de descomponer biológicamente. implicando que para su potabilización se requiere procesamientos avanzados como: procesos químicos y físicos evolucionados como prefloración, microfiltración, nanofiltración, ultra filtración,

ósmosis inversa, carbón activado o una planta de lodos activados, En referencia a los demás pozos (P-3, P-4 y P-5) también las concentraciones de DQO sobre pasan los estándares de calidad en sus tres categorías, indicándonos la presencia de sustancias químicas difíciles de degradar. Pero el pozo P-2 presenta una concentración de 22.4 mg/l indicándonos que sus aguas deberían ser tratadas mediante: Coagulación, sedimentación, decantación, floculación, y/o filtración o procesos equivalentes; conteniendo su desinfección, de consentimiento con el estándar vigente para así de esa manera estas aguas puedan ser potabilizadas.

Tabla 8

Concentración inicial de la demanda química de oxígeno

Pozo	Coliformes termotolerantes	ECA - A1	ECA - A2	ECA - A3
P-1	1100	20	2000	20000
P-2	43	20	2000	20000
P-3	150	20	2000	20000
P-4	930	20	2000	20000
P-5	46	20	2000	20000

Nota: Concentración de coliformes termotolerantes en unidades de NMP/100ml.

Donde:

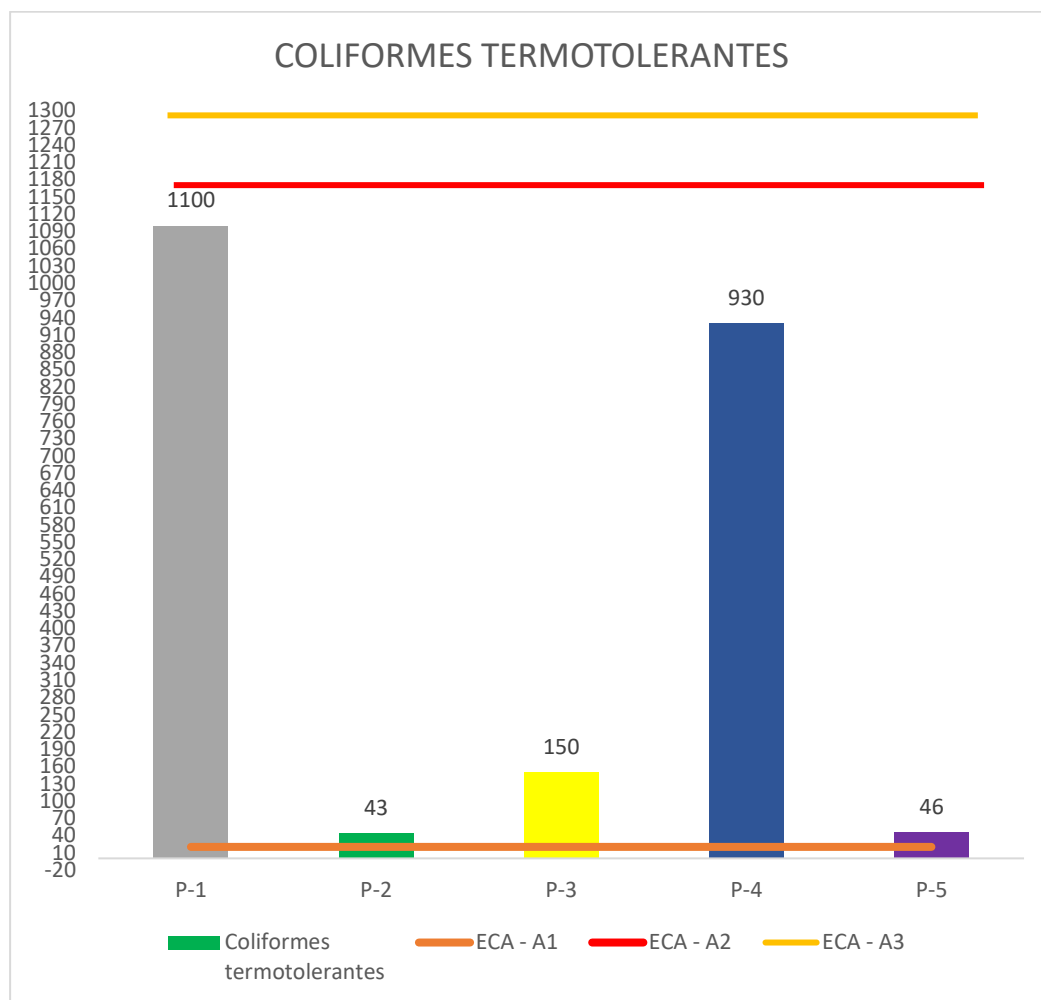
A3: Aguas que pueden ser potabilizadas con procesamiento avanzado

A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con procesamiento convencional.

A1: Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección

Figura 18

Comparación de la concentración inicial de coliformes termotolerantes con el ECA agua.



Nota: Relación de coliformes termotolerantes con la normatividad.

En referencia a la figura podemos observar que todos los pozos (P-1, P-2, P-3, P-4 y P-5) las concentraciones de coliformes termotolerantes superan la categoría uno, pero no superan la categoría dos, están en ese rango, suele indicar una polución fecal reciente o una higiene deficiente, a su vez que el abastecimiento de H₂O puede estar polucionada con H₂O brunas u otro tipo de restos en desintegración y que estas aguas deberían ser tratadas mediante: Coagulación, decantación, floculación, sedimento, y/o filtración o procesos

equivalentes; conteniendo su desinfección, de aprobación con el estándar vigente para así de esa manera estas aguas puedan ser potabilizadas.

4.1.2. Determinar las condiciones de operación del equipo de osmosis inversa para la reducción de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.

A continuación, se muestran los contextos de operación del equipo de OI instalada en el recinto de condiciones ambientales de la UANCV -FICP – EPISA

Figura 19

Purificador de osmosis inversa



Nota: Este purificador brinda un sistema de saneamiento de 5 fases que estanca virus y el 99% de bacterias. es apropiado para áreas con elevada reunión de metales solidos como arsénico, flúor, cromo y plomo, entre otros. Disminuye el contenido de sales del H₂O; excluye el sabor y olor a cloro del

H₂O. Y provee 185 L de agua purificada al día. Además, cuenta con indicador digital para cambio de cartuchos.

Figura 20

Características básicas del equipo de osmosis inversa



Nota: La marca del equipo es ROTOPLAS

- **Presión de operación** (psi): 60 en base a lo recomendado por otros autores y por las especificaciones técnicas del equipo.
- **Caudal de alimentación** (L/min): 1.0, esto se lleva a cabo mediante una válvula de alimentación automática con accionamiento eléctrico (110V) o neumático, que permite aislar la línea hidráulica de suministro de agua cruda hacia las membranas. Su propósito es evitar el ingreso de agua a las membranas mientras el equipo no está en funcionamiento y así prevenir la formación de incrustaciones.

Tiempo de tratamiento (min): 20

Alimentación de corriente 100~240V

Y en base a estas condiciones de operaciones del procesamiento de OI se tiene la tabla siguiente mostrando los resultados del **primer procesamiento** por medio de la OI para los cinco pozos.

Tabla 9*Primer tratamiento mediante osmosis inversa*

Parámetro	Unidad	TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	TP-5
Temperatura	°C	14.1	13.9	14.4	14.3	14.5
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7	7.1	7.3	7.1	7.2
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	20.4	9.6	6.5	0	0
Demanda química de oxígeno	mg/L	50.3	22.2	14.3	0	0
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

Nota: Resultados del tratamiento mediante osmosis inversa.

Donde:

TP-1: Tratamiento del pozo 1

TP-2: Tratamiento del pozo 2

TP-3: Tratamiento del pozo 3

TP-4: Tratamiento del pozo 4

TP-5: Tratamiento del pozo 5

Tabla 10

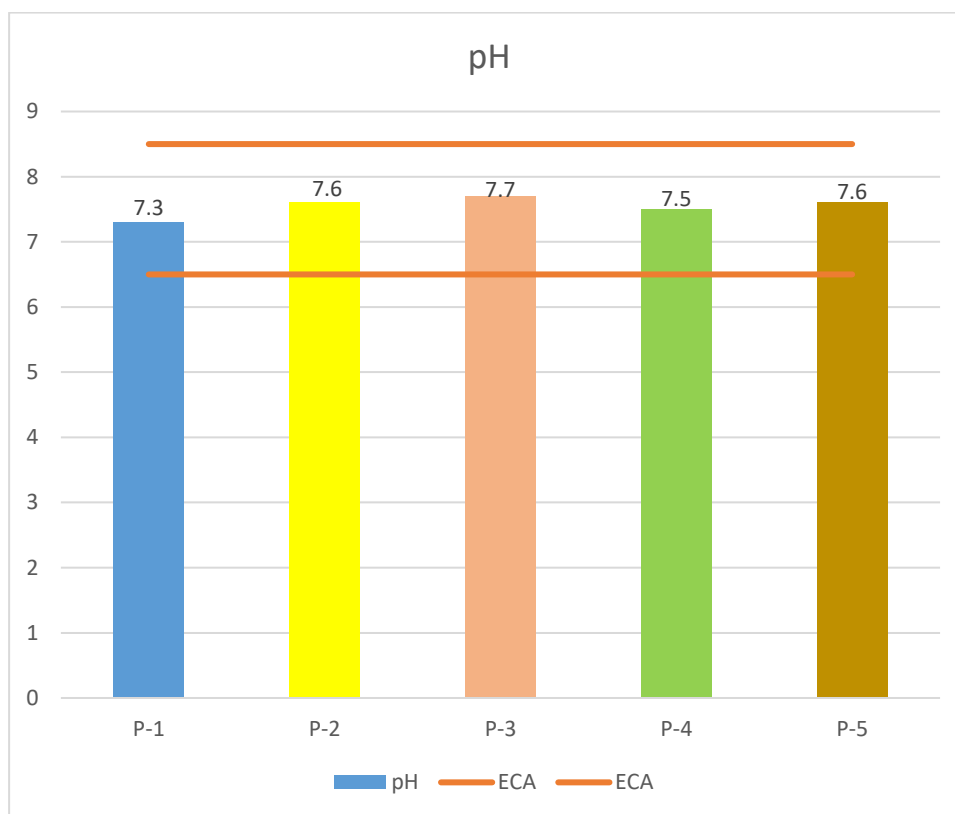
pH después del tratamiento relacionado con el DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.

Pozo	pH	ECA
P-1	7.0	6.5-8.5
P-2	7.1	6.5-8.5
P-3	7.3	6.5-8.5
P-4	7.1	6.5-8.5
P-5	7.2	6.5-8.5

Nota: pH después del primer tratamiento de los 5 pozos.

Figura 21

Variación de pH después del primer tratamiento.



Nota: Concentración del pH después del primer procesamiento.

Se puede apreciar en la figura que todos los pozos (P-5, P-4, P-3, P-2 y P-1) se hallan adentro de lo determinado por los estándares de condición del agua y en referencia a los valores iniciales estas no varían significativamente.

Tabla 11

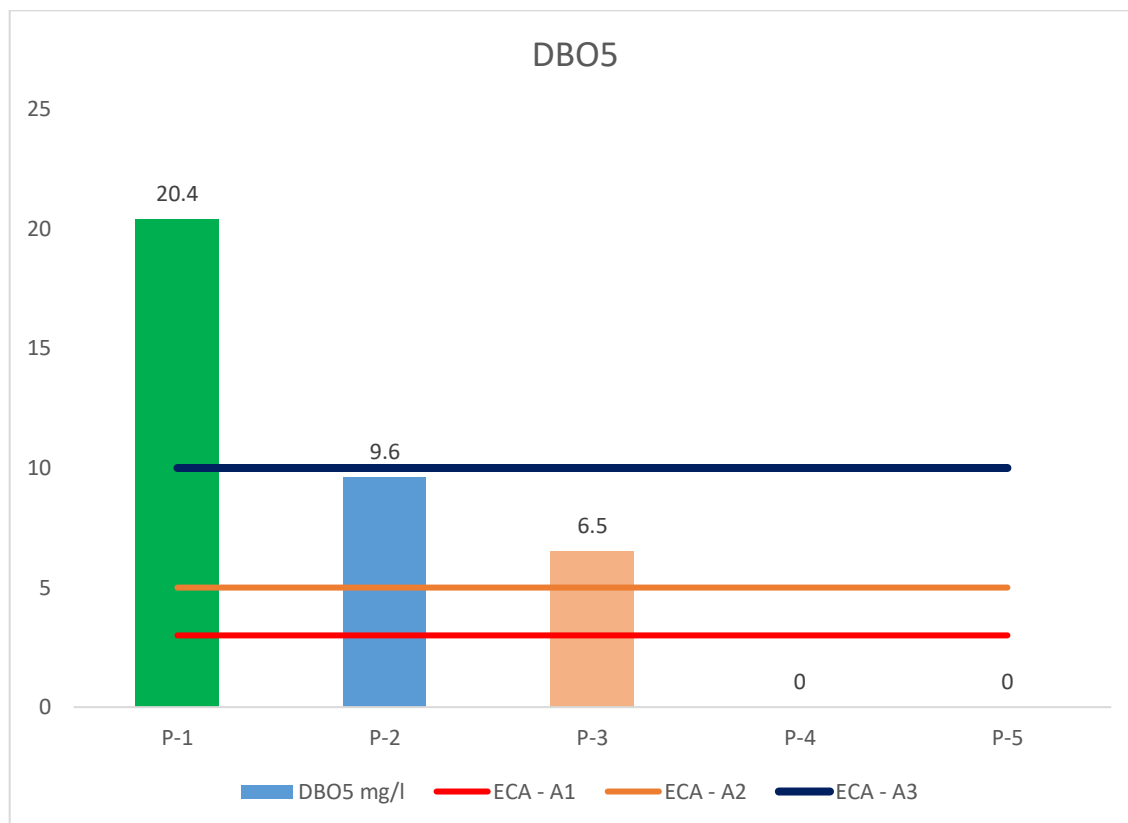
Concentración de DBO5 primer tratamiento

Pozo	DBO5 mg/l	ECA - A1	ECA - A2	ECA - A3
P-1	20.4	3	5	10
P-2	9.6	3	5	10
P-3	6.5	3	5	10
P-4	0	3	5	10
P-5	0	3	5	10

Nota: valores de DBO5 después de la osmosis inversa.

Figura 22

Relación de la Concentración de DBO5 con el ECA agua.



Nota: Reunión de la DBO después del primero procesamiento.

En base a la figura podemos observar que el primer pozo (P-1) la reunión de la DBO5 posteriormente del procesamiento por osmosis inversa se reduce de 275.3 a 20.4 mg/l, a pesar del procesamiento por osmosis inversa no se

llega a reducir suficientemente la reunión de DBO para que las aguas puedan ser potabilizadas, lo que indica que se tiene que utilizar otro método de procesamiento avanzados como podría ser, procesos químicos Y físicos avanzados como prefloración, ultra filtración, microfiltración, carbón activado, nanofiltración. Para el pozo P-2 estando en una concentración inicial de 9.3 se incrementa a 9.6 mg/l este dato es algo irreal y posiblemente durante la toma de muestra o quizá durante el análisis de haya podido cometer el error. Para el pozo P-3, de una concentración inicial de 23.6 mg/l se somete a 6.5 mg/l teniendo que estas aguas deben de ser tratadas adicionalmente por procesos químicos y físicos avanzados como prefloración, microfiltración, nanofiltración, ultra filtración, carbón activado. Para los pozos P-4, las concentraciones se reducen drásticamente llegando hasta tener cero de concentración de DBO5 indicándonos que estas aguas cumplen la normatividad y pueden ser consumidas como agua potable en referencia a este parámetro. Y para el pozo P-5 la concentración de la DBO se reduce llegando a un valor de cero de concentración e indicándonos como las normas de condición para el agua que dichas aguas pueden ser consumidas por los seres humanos como agua potable y que ya no necesitaría ningún otro procesamiento.

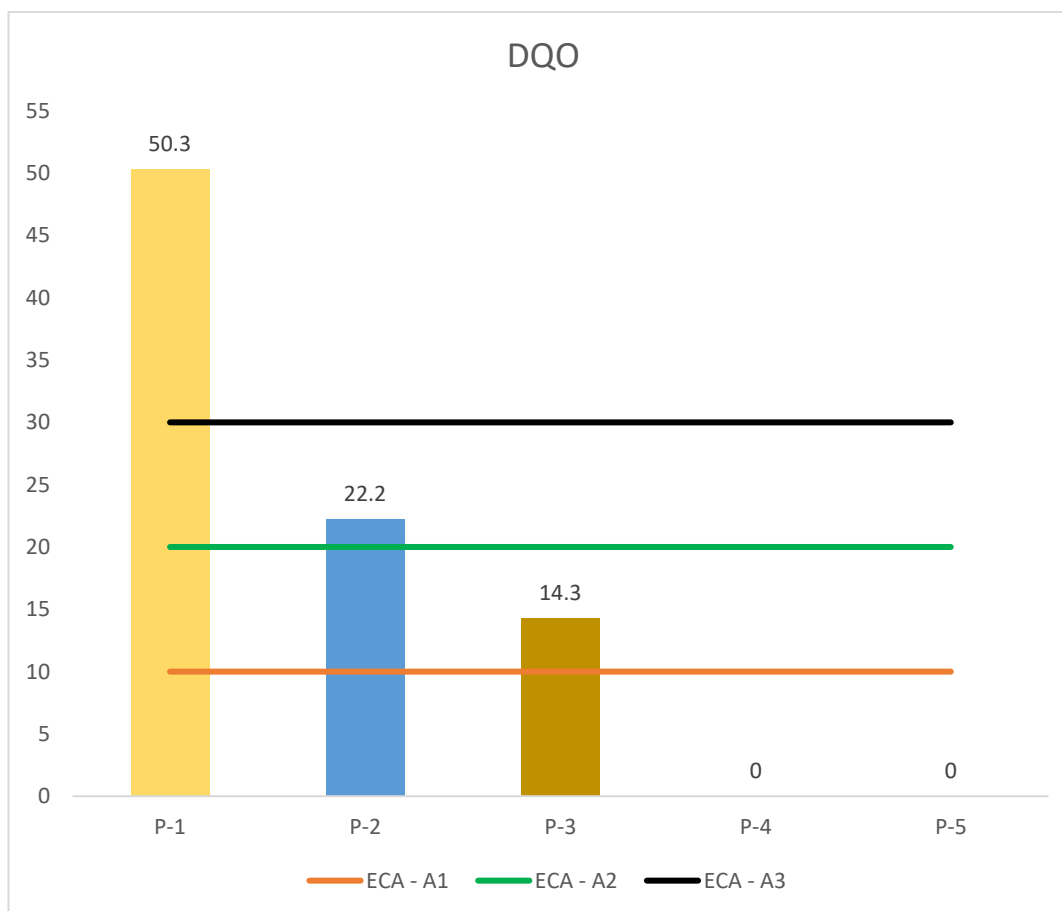
Tabla 12*Concentración de DQO primer tratamiento*

Pozo	DQO mg/l	ECA - A1	ECA - A2	ECA - A3
P-1	50.3	10	20	30
P-2	22.2	10	20	30
P-3	14.3	10	20	30
P-4	0	10	20	30
P-5	0	10	20	30

Nota: valores de DBO5 después de la osmosis inversa.

Figura 23

Relación de la Concentración de DQO con el ECA agua.



Nota: Concentración de la DQO posteriormente del primero procesamiento.

En base a la figura podemos observar que el primer pozo (P-1) la reunión de la DBO5 posteriormente del procesamiento por OI se reduce de 452.5 a 50.3 mg/l, a pesar del procesamiento por osmosis inversa no se llega a reducir suficientemente la reunión de DQO, indicándonos que aun el agua presenta una gran cuantía de poluciones orgánicos que precisan ser anulados antes de que el H₂O pueda ser reusada o devuelta al ambiente, a la vez será necesario para su potabilización agregarle otro procesamiento como procesos químicos y físicos avanzados como prefloración, ultra filtración, microfiltración, carbón

activado y nanofiltración. En el pozo P-2 partiendo de una concentración inicial de 22.4 se reduce mínimamente a 22.2 mg/l, dato que al parecer no concuerda con los demás, pueda que durante la toma de muestra o quizá durante el análisis de haya podido cometer un error. Para el pozo P-3, de un conjunto primero de 68.3 mg/l se reduce a 14.3 mg/l teniendo que estas aguas deben de ser tratadas adicionalmente por procesos químicos y físicos avanzados como microfiltración, prefloración, nanofiltración, ultra filtración, carbón activado. Para los pozos P-4, las concentraciones se reducen drásticamente llegando hasta tener cero de concentración de DQO indicándonos que estas aguas cumplen la normatividad y pueden ser consumidas como agua potable en referencia a este parámetro. Y para el pozo P-5 la reunión de la DQO se reduce llegando a un valor de cero de concentración e indicándonos como las normas de condición para el H₂O que dichas aguas pueden ser consumidas por los seres humanos como agua potable y que ya no necesitaría ningún otro procesamiento.

Tabla 13

Concentración de Coliformes Termotolerantes primer tratamiento

Pozo	Coliformes termotolerantes NMP/100ml	ECA - A1	ECA - A2	ECA - A3
P-1	<3	20	2000	20000
P-2	<3	20	2000	20000
P-3	<3	20	2000	20000
P-4	<3	20	2000	20000
P-5	<3	20	2000	20000

Nota: valores de DBO₅ después de la osmosis inversa.

En la tabla podemos visualizar en referencia a los pozos del uno al cinco que; las concentraciones de cada uno de los pozos se a reducido

significativamente hasta tener una concentración menor a 3 NMP/100ml, indicándonos que la OI si es un buen procesamiento para la mengua de los coliformes termotolerantes.

En la siguiente tabla mostraremos las derivaciones del **segundo tratamiento** mediante la osmosis inversa para los cinco pozos.

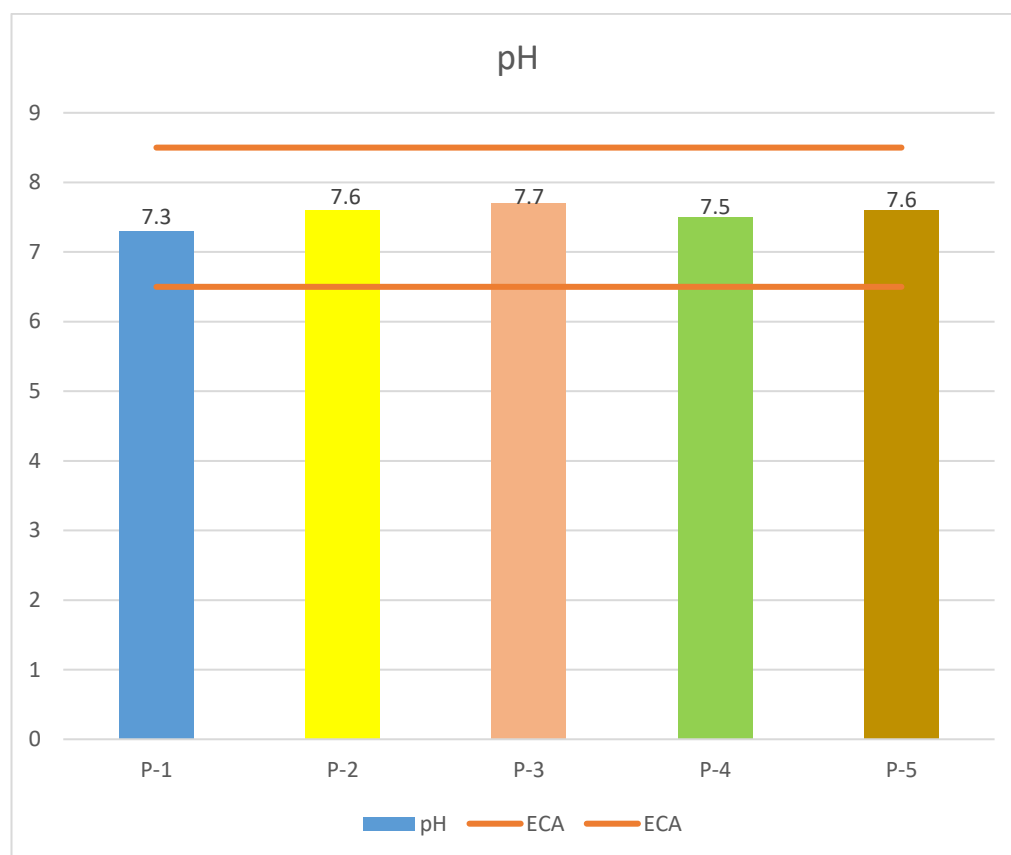
Tabla 14*Segundo tratamiento mediante osmosis inversa*

Parámetro	Unidad	TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	TP-5
Temperatura	°C	15.4	15.4	15.3	15.2	15.3
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.3	7.2	7	7.2	7.3
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	17.4	8.3	4.8	0	0
Demanda química de oxígeno	mg/L	47.2	19.7	11.6	0	0
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3

En las ilustraciones siguientes se pueden ver el estudio de esto resultados del segundo procesamiento por medio del método de osmosis inversa para la reducción de carga orgánica.

Figura 24

Variación de pH después del segundo tratamiento.



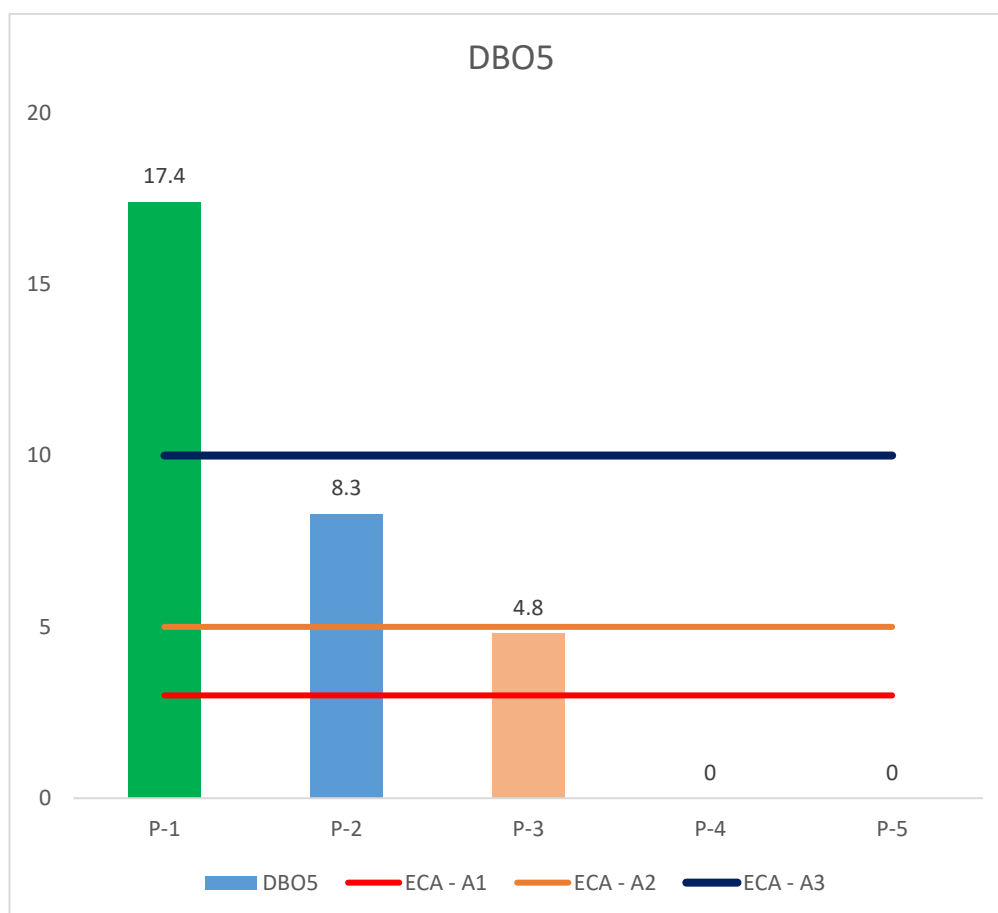
Nota: valores de pH después del procesamiento por osmosis inversa.

En la figura podemos verificar la variabilidad del pH en los distintos pozos

Como son: (P-1, P-2, P-3, P-4 y P-5), como las normativas de condición de H₂O nos muestra que el pH debe de estar en un rango de 6.5-8.5 para ser considerados aptos para consumirlos, en los cinco pozos el pH está dentro de lo que establece el ECA agua.

Figura 25

Variación de DBO5 después del segundo procesamiento.



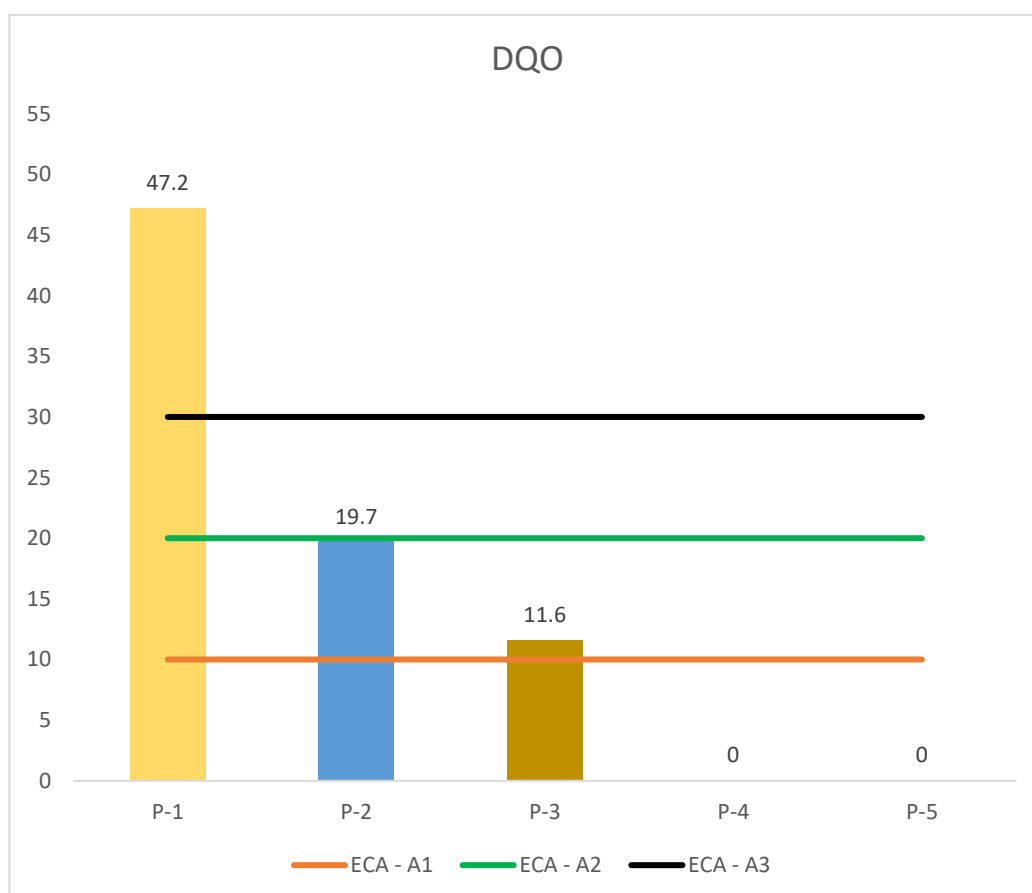
Nota: valores de la DBO5 después del procesamiento por osmosis inversa.

En la ilustración podemos observar que el primer pozo (P-1) la reunión de la DBO5 posteriormente del procesamiento por OI se reduce de 275.3 a 17.4 mg/l, a pesar del procesamiento por OI no se llega a reducir suficientemente la reunión de DBO, lo cual indica que se tiene que utilizar adicionalmente otro método de procesamiento avanzados como podría ser, procesos químicos y físicos adelantados como prefloración, ultra filtración, microfiltración, nanofiltración, carbón activado. Para el pozo P-2 estando en una concentración inicial de 9.3 se incrementa a 8.3 mg/l una reducción mínima

por parte del procesamiento de osmosis inversa. Para el pozo P-3, de una concentración inicial de 23.6 mg/l se somete a 4.8 mg/l teniendo que estas aguas deben de ser tratadas adicionalmente por procesos químicos y físicos avanzados como prefloración, ultra filtración, microfiltración, carbón activado y nanofiltración. Para los pozos P-4 y P-5, las concentraciones se reducen drásticamente llegando hasta tener cero de concentración de DBO5 indicándonos que estas aguas cumplen la normatividad y pueden ser consumidas como agua potable en referencia a este parámetro y que ya no necesitaría ningún otro procesamiento adicional.

Figura 26

Variación de DQO después del segundo tratamiento



Nota: valores de la DQO después del procesamiento por osmosis inversa.

En base a la figura podemos observar que el primer pozo (P-1) la reunión de la DBO5 posteriormente del segundo procesamiento por OI se reduce de 452.5 a 47.2 mg/l, a pesar del procesamiento por osmosis inversa no se llega a reducir suficientemente la concentración indicándonos que aun el H₂O presenta una gran cuantía de poluciones orgánicos que requieren ser anulados precedentemente de que el H₂O pueda ser reusadas o restituida al ambiente, a la vez será necesario para su potabilización agregarle otro procesamiento como procesos químicos y físicos avanzados como prefloración, ultra filtración, microfiltración, carbón activado, nanofiltración. En el pozo P-2 partiendo de una reunión inicial de 22.4 se reduce mínimamente a 19.7 mg/l, reducción mínima y al parecer posiblemente en estas aguas exista algún otro componente que no permite su reducción, Para el pozo P-3, de una concentración inicial de 68.3 mg/l se somete a 11.6 mg/l teniendo que estas aguas deben de ser tratadas adicionalmente por procesos químicos y físicos avanzados como prefloración, ultra filtración, microfiltración, carbón activado, nanofiltración. Para los pozos P-4, las concentraciones se reducen drásticamente llegando hasta tener cero de concentración de DQO indicándonos que estas aguas cumplen la normatividad y pueden ser consumidas como agua potable en referencia a este parámetro. Y para el pozo P-5 la reunión de la DQO se reduce llegando a un valor de cero de concentración e indicándonos como las normativas de condición para el H₂O que dichas aguas pueden ser consumidas por los seres humanos como agua potable y que ya no necesitaría ningún otro procesamiento.

Tabla 15*Porcentajes de remoción en la osmosis inversa.*

Parámetro	Unidad	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5
Demanda bioquímica de oxígeno	%	93.13	3.76	76.06	100.00	100.00
Demanda química de oxígeno	%	89.23	6.47	81.04	100.00	100.00
Coliformes termotolerantes	%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Nota: los porcentajes se trabajaron con el promedio de las concentraciones del primer procesamiento y segundo procesamiento.

En base a las derivaciones expresadas por el recinto de condiciones ambientales de la EPISA, se tiene que en el P-1 el porcentaje de separación para la DBO5 fue de 93.13 %, para la DQO 89.23 y para los coliformes termotolerantes 100 %. Para el pozo el P-2 el porcentaje de separación para la DBO5 fue de 3.76 %, para la DQO 6.47 y para los coliformes termotolerantes 100 %. Para el pozo, el P-3 el porcentaje de separación para la DBO5 fue de 76.06 %, para la DQO 81.04 y para los coliformes termotolerantes 100 %. Para el pozo el P-4 el porcentaje de separación para la DBO5 fue de 100 %, para la DQO 100 % y para los coliformes termotolerantes 100 %. Para el pozo P-5 el porcentaje de separación para la DBO5 fue de 100 %, para la DQO 100 % y para Col. termotolerantes 100 %.

4.2. Análisis estadístico

Planteamiento de la hipótesis estadística

H_0 : La concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas no supera los límites máximos permisibles.

H_1 : La concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas supera los límites máximos permisibles.

Tabla 16

T de Student

Parámetro	Media observada	t	gl	p-valor
pH	7.54	3.38	4	<0.044
DBO	101.16	4.92	4	<0.01
DQO	197.16	4.87	4	<0.01
Coliformes	453.8	3.45	4	<0.05

La tabla 16, evidencia lo siguiente:

pH (7.54): El valor $t = 3.38$ con $p < 0.044$ indica que existe una diferencia estadísticamente significativa respecto al valor esperado bajo H_0 . Aunque el pH parece estar en un rango aparentemente normal, la significancia estadística sugiere alteraciones en la composición química del agua.

DBO = 101.16 mg/L: Con $t = 4.92$ y $p < 0.01$, este parámetro muestra la mayor significancia estadística. Este valor indica una alta concentración de materia orgánica biodegradable que consume oxígeno, evidenciando contaminación orgánica severa.

DQO = 197.16 mg/L: El valor $t = 4.87$ con $p < 0.01$ confirma la presencia excesiva de compuestos orgánicos oxidables. La relación $DQO/DBO \approx 1.95$ sugiere una mezcla de materia orgánica biodegradable y no biodegradable.

Coliformes (453.8 UFC/100mL): Con $t = 3.45$ y $p < 0.05$, este resultado demuestra contaminación microbiológica significativa, indicando la presencia de patógenos asociados a desechos fecales.

Interpretación de la Significancia Estadística

Todos los parámetros presentan p-valores menores a 0.05, lo que significa. Los grados de libertad ($gl = 4$) indican que se trabajó con 5 observaciones por parámetro, proporcionando una base estadística sólida para las conclusiones.

La evidencia estadística es inequívoca: las aguas subterráneas en áreas con letrinas presentan concentraciones de materia orgánica que exceden significativamente los límites máximos permisibles. Los valores de DBO y DQO son particularmente alarmantes, indicando una contaminación orgánica que compromete la calidad del recurso hídrico y representa un riesgo para la salud pública.

Planteamiento de la hipótesis estadística

H_0 : Las condiciones de operación del equipo de ósmosis inversa no permiten una reducción significativa de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.

H_1 : Las condiciones de operación del equipo de ósmosis inversa permiten una reducción significativa de la concentración de materia orgánica en aguas

subterráneas afectadas por letrinas

Tabla 17

Prueba T para Muestras Apareadas

		Estadístico	gl	p
pH_Pre	pH_Post	4.82	4.00	0.008
DBO5_Pre	DBO5_Post	1.81	4.00	0.044
DQO_Pre	DQO_Post	2.05	4.00	0.009
Coliformes	Coliformes	1.95	4.00	0.023
termotolerantes_Pre	termotolerantes_Post			

La tabla 17, evidencia los hallazgos de la prueba t para muestras apareadas revelan que el equipo de ósmosis inversa sí logra una reducción significativa en la concentración de materia orgánica y contaminantes microbiológicos en aguas subterráneas afectadas por letrinas. Por tanto, se descarta la H_0 y se acepta la H_1 .

Análisis Detallado por Parámetro

pH (Pre vs Post): Con un estadístico $t = 4.82$ y $p = 0.008$, existe una diferencia altamente significativa entre las cifras de pH antes y después del tratamiento. El sistema de ósmosis inversa modifica efectivamente las características fisicoquímicas del agua, estabilizando su pH.

DBO₅ (Pre vs Post): El estadístico $t = 1.81$ con $p = 0.044$ demuestra una reducción estadísticamente significativa en la DBO₅. Esto indica que el equipo está removiendo eficientemente la materia orgánica biodegradable presente en el agua contaminada.

DQO (Pre vs Post): Con $t = 2.05$ y $p = 0.009$, se observa una reducción altamente significativa en la DQO. Este resultado confirma la capacidad del sistema para eliminar compuestos orgánicos tanto biodegradables como no biodegradables.

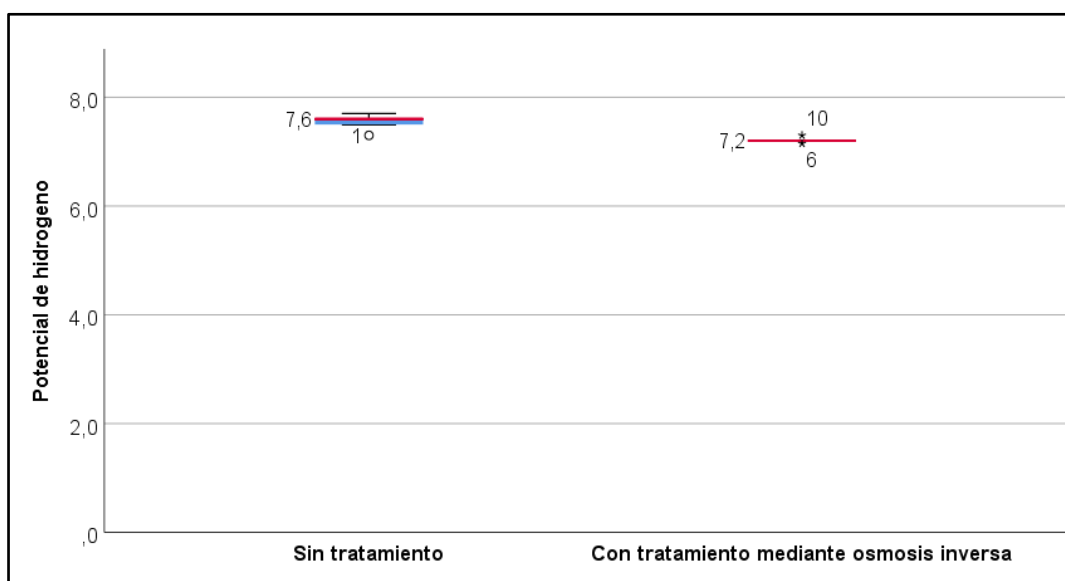
Coliformes Termotolerantes (Pre vs Post): El valor $t = 1.95$ con $p = 0.023$ evidencia una reducción significativa en la carga microbiológica. Esto es crucial desde la perspectiva de seguridad sanitaria, ya que indica la eliminación efectiva de patógenos asociados a contaminación fecal.

Interpretación de la Efectividad del Tratamiento

Todos los parámetros analizados presentan p-valores menores a 0.05, confirmando que las diferencias observadas entre las mediciones pre y post tratamiento son estadísticamente significativas. El sistema de ósmosis inversa demuestra ser efectivo para tratar aguas subterráneas altamente contaminadas por sistemas de saneamiento deficientes.

Figura 27

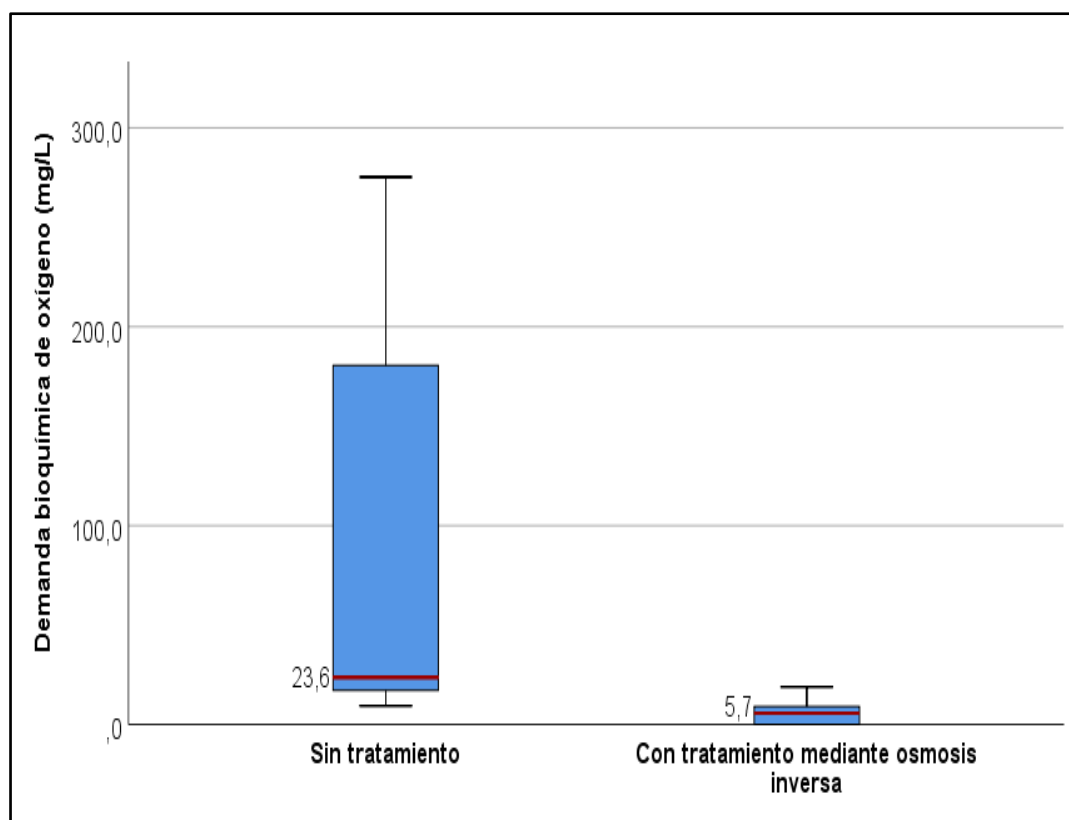
Diagrama de cajas Simple de Potencial de hidrogeno



La figura 27 evidencia, la reducción del pH desde 7.6 hasta 7.2 después del tratamiento indica que el sistema de ósmosis inversa está acidificando ligeramente el agua. Esta disminución es consistente con el comportamiento típico de los sistemas de ósmosis inversa, que tienden a remover minerales alcalinos del agua, resultando en un pH más neutro o ligeramente ácido

Figura 28

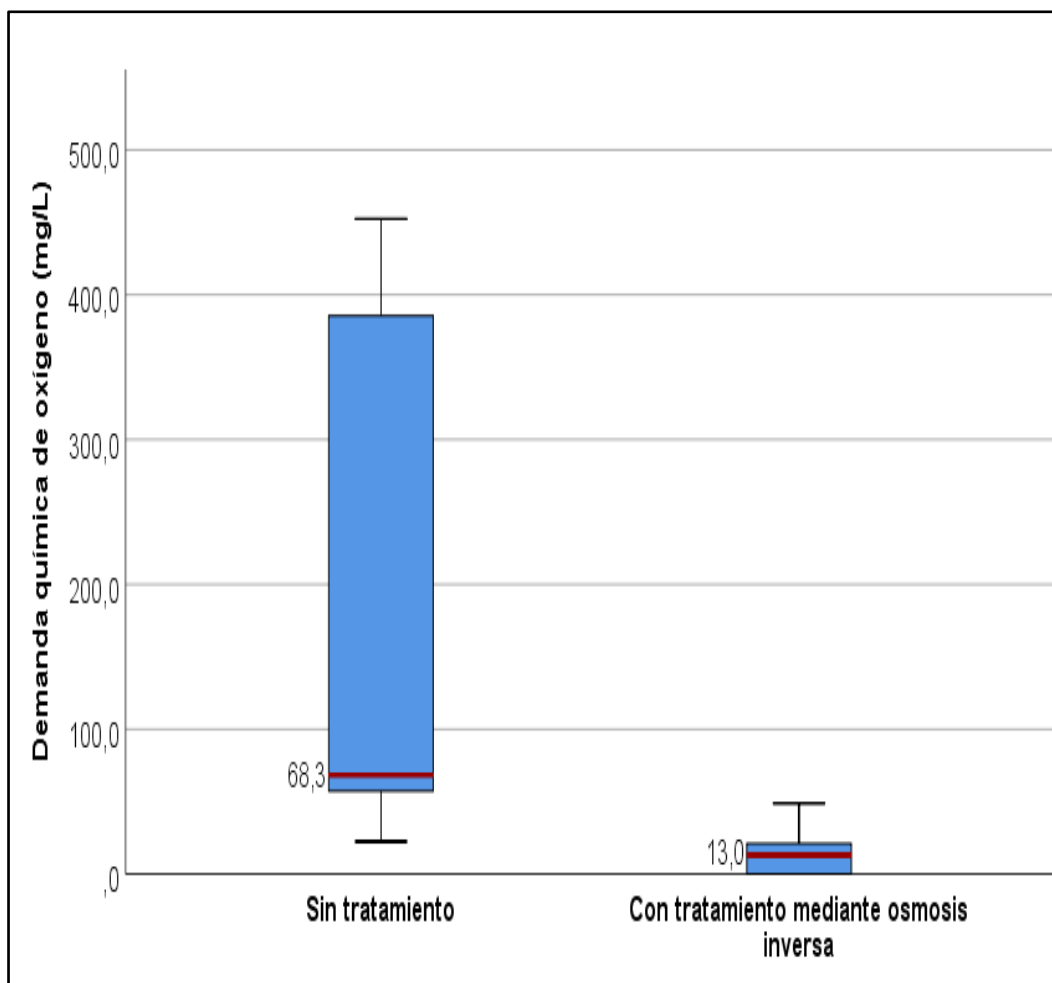
Diagrama de cajas Simple de Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)



La figura 28, evidencia la reducción de la DBO desde 23.6 mg/L hasta 5.7 mg/L representa una disminución de aproximadamente 76% en la carga de materia orgánica biodegradable. Esta reducción es estadísticamente y prácticamente significativa, confirmando la capacidad del sistema de ósmosis inversa para remover eficientemente los contaminantes orgánicos.

Figura 29

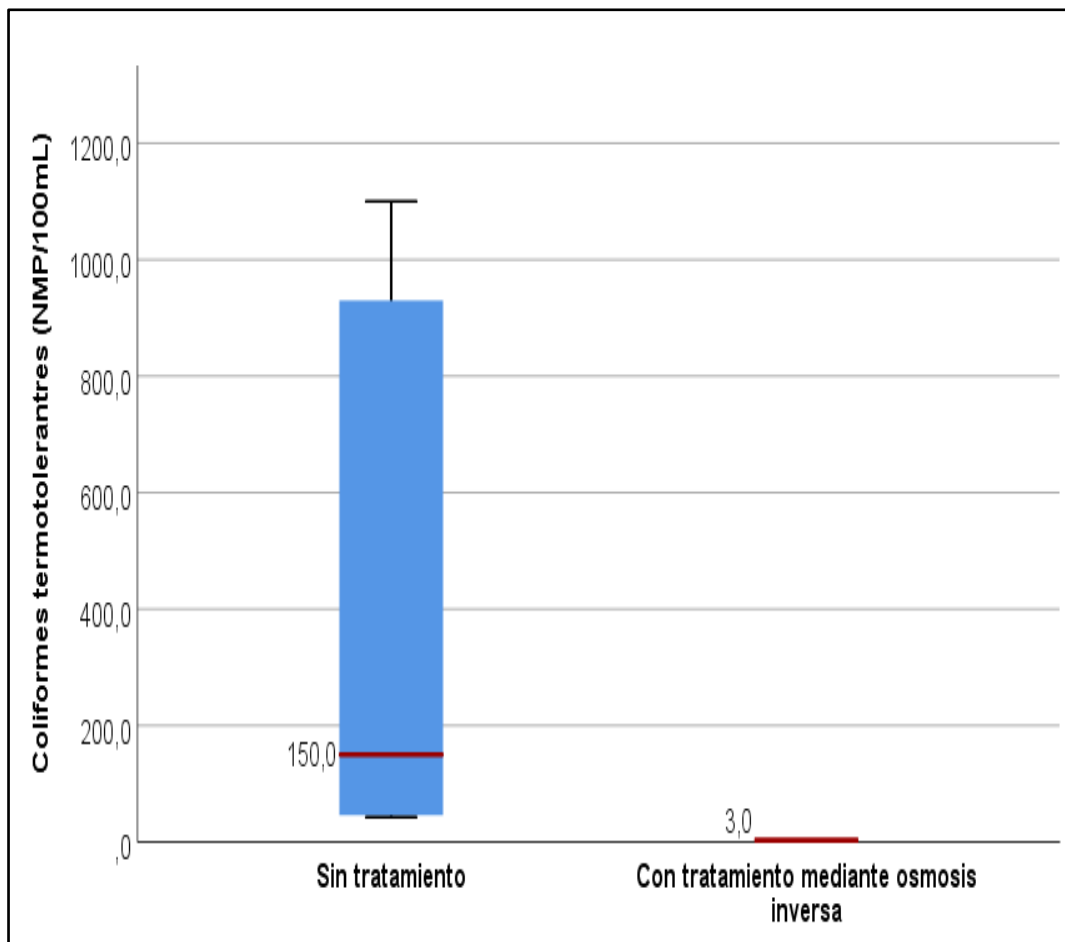
Diagrama de cajas Simple de Demanda química de oxígeno (mg/L)



La figura 29, evidencia la reducción de la DQO desde 68.3 mg/L hasta 13.0 mg/L representa una disminución de aproximadamente 81% en la carga de compuestos químicos oxidables. Esta reducción es estadísticamente y prácticamente significativa, confirmando la capacidad superior del sistema de ósmosis inversa para remover tanto materia orgánica biodegradable como no biodegradable.

Figura 30

Diagrama de cajas Simple de Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)



La figura 30 evidencia la reducción desde 150 NMP/100mL hasta 3.0 NMP/100mL representa una disminución de aproximadamente 98% en la carga microbiológica. Esta reducción es extraordinaria desde la perspectiva de seguridad sanitaria, confirmando que el sistema de ósmosis inversa es altamente efectivo para eliminar patógenos asociados a contaminación fecal.

4.3. Discusiones

Guevara Colliri y Saavedra Vera en el año 2025 en su estudio denominada "Eficacia de sistemáticas de OI en separación de Ar de H₂O acuíferas en Pacora, Región Lambayeque" obtuvo concentraciones altas de Arsénico en 0.018mg/L por encima por lo establecido por la OMS. La eficiencia del sistema osmosis inversa se obtuvo un 72,78% y en la replicación un 99% de separación de Ar en 30 min de tiempo de contacto. En nuestra investigación a diferencia de Guevara trabajamos con materia orgánica donde obtuvimos porcentajes de remoción muy bajas como 3.76% y remociones muy elevadas como el 100%, a la vez trabajamos con tiempo de procesamiento de 20 minutos.

Lino en el año 2024 realizó una investigación titulada "Procesamiento de aguas remanentes en Cabanilla mediante la aplicación sinérgica de OI y rizofiltración". Las derivaciones muestran valores de 800 mg/L de DQO y 480 mg/L de DBO. Tras aplicar el procesamiento combinado de rizofiltración y oi, se observó una separación de los parámetros físico-químicos y biológicos del agua remanente del 72.40% en la fase de rizofiltración y del 91.70% en la fase de ósmosis inversa. A diferencia de Lino nuestra investigación no trabaja con aguas remanentes y solo aplicamos la osmosis inversa obteniendo valores de remoción insignificantes y muy significantes hasta llegar a un 100 % de remoción, pero en aguas acuíferas.

CONCLUSIONES

Primera. Se ultima que la reunión de MO en aguas acuíferas afectadas por letrinas es: P-1 275.3 mg/l de DBO₅, 452.5 mg/l de DBO₅, 1100 NMP/100ml de coliformes termotolerantes. P-2 9.3 mg/l de DBO₅, 22.4 mg/l de DBO₅, 43 NMP/100ml de coliformes termotolerantes. P-3 23.6 mg/l de DBO₅, 68.3 mg/l de DBO₅, 150 NMP/100ml de coliformes termotolerantes. P-4 180.5 mg/l de DBO₅, 385.4 mg/l de DBO₅, 930 NMP/100ml de coliformes termotolerantes. P-5 17.1 mg/l de DBO₅, 57.2 mg/l de DBO₅, 46 NMP/100ml de coliformes termotolerantes.

Segunda. Se concluye que los contextos de operaciones del equipo de OI para la disminución de la reunión de MO en aguas acuíferas afectadas por letrinas son: **Presión de operación** (psi): 60, **Caudal de alimentación** (L/min): 1.0, **Tiempo de tratamiento** (min): 20 y **Alimentación de corriente** 100~240V.

Tercera. Se ultima que el porcentaje de separación de MO mediante la ósmosis inversa en aguas acuíferas afectadas por letrinas es: P-1 para la DBO₅ 93.13 %, DQO 89.23% y coliformes termotolerantes 100 %. P-2 para la DBO₅ 3.76 %, DQO 6.47% y para los coliformes termotolerantes 100 %. P-3 para la DBO₅ 76.06 %, DQO 81.04% y para los coliformes termotolerantes 100 %. Para el pozo el P-4 para la DBO₅ fue de 100 %, DQO 100 % y coliformes termotolerantes 100 %. Para el pozo P-5 para la DBO₅ fue de 100 %, para la DQO 100 % y para los coliformes termotolerantes 100 %.



RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a futuros investigadores tener en cuenta otras condiciones de operación como 80 psi de presión y ver cuál de estas condiciones es mejor para el procesamiento mediante osmosis inversa.
2. Se recomienda a futuros investigadores variar el caudal de alimentación y así poder determinar el mejor caudal de alimentación para el procesamiento mediante la osmosis inversa.
3. Se recomienda a futuros investigadores variar el tiempo de procesamiento y determinar el mejor tiempo de procesamiento

BIBLIOGRAFÍA

- adasa. (s.f.). Conseguido de <https://www.adasasystems.com/es/tecnologia/medida-de-materia-organica.html>
- AGUA org.mx. (08 de Noviembre de 2007). Obtenido de <https://shre.ink/oqel>
- aquabook. (2011). Obtenido de https://aquabook.irrigacion.gov.ar/402_0
- Aqualife. (2023). Obtenido de <https://aqualifeandalucia.es/proceso-osmosis-inversa/>
- Carbotecnia. (28 de Octubre de 2024). Obtenido de <https://shre.ink/oqxO>
- Céspedes Betancourt, C. A., & García Gómez, L. A. (2021). *Aplicación de la ósmosis inversa en la potabilización de aguas en Colombia*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Condor Luna, L. K. (2022). *Condición del agua subterránea tratada mediante ósmosis inversa en la PTAP Tunshuruco de la Minera Chinalco Perú S.A., evaluada a través de análisis fisicoquímico y microbiológico para consumo humano, Morococha-2022*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco - Perú.
- Fuentes Yague, J. L. (s.f.). *Aguas Subterráneas*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación.
- Gonzáles, X. (12 de Julio de 2023). *FiltraShop*. Obtenido de <https://shre.ink/oqxz>
- Guevara Collori, M. A., & Saavedra Vera, O. J. (2025). *ficacia de los sistemas de ósmosis inversa para eliminar arsénico del agua subterránea en Pacora,*



Región Lambayeque. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque
- Perú.

Hernández, R., & Fernández, C. (2018). *Metodología de la investigación*. Mexico:
McGRAW-HILL.

Iberdrola. (s.f.). Obtenido de [https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/aguas-](https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/aguas-subterraneas)
subterraneas

Instituto del Agua. (s.f.). Obtenido de
[https://institutodelagua.es/acuiferos/principales-acuiferos-del-](https://institutodelagua.es/acuiferos/principales-acuiferos-del-mundoacuiferos/)
mundoacuiferos/

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (24 de Setiembre de 2019). Obtenido
de <https://www.gob.mx/imta/articulos/aguas-subterraneas>

Issuu Inc. (s.f.). Obtenido de <https://shre.ink/oqxh>

Julca Santacruz, J. (09 de Noviembre de 2014). Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/246044192/Pozo-Tubular>

Lino Paredes, M. I. (2024). *Procesamiento de aguas remanentes por medio de la
combinación sinérgica de osmosis inversa y rizofiltración en el Distrito de
Cabanilla*. Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquez, Juliaca - Perú.

Marca Añasco, J. G. (2023). *Valoración de los parámetros bacteriológicos y físico-
químicos del agua subterránea destinada al consumo humano en la
Urbanización Magisterial, Zona 4 Totorani - Alto Puno – 2022*. Universidad
Privada San Carlos, Puno - Perú.

Mestas Mora, T. N. (2025). *Determinación de la reunión de arsénico en aguas
acuíferas en la Urbanización Taparachi, Juliaca, Puno, 2023*. Universidad
Privada San Carlos, Puno - Perú.



Morales Casique, E. (s.f.). *Gobierno de México*. Obtenido de <https://secihti.mx/la-contaminacion-del-agua-subterranea/>

NUVACORP. (s.f.). Obtenido de <https://nuvacorp.pe/perforacion-de-pozos-tubulares/>

nuwa. (s.f.). Obtenido de <https://nuwa.com.pe/osmosis-inversa/>

OIEA: *Organismo Internacional de Energía Atómica*. (s.f.). Obtenido de <https://www.iaea.org/es/temas/aguas-subterraneas>

Orozco Lab. (18 de Octubre de 2023). Obtenido de <https://www.orozcolab.info/que-es-la-osmosis-inversa>

pochteca Chile. (22 de Mayo de 2024). Obtenido de <https://chile.pochteca.net/membranas-osmosis-inversa/>

Profe Recursos. (31 de Mayo de 2023). Obtenido de <https://www.proferecursos.com/que-es-un-acuifero/>

Ramos Pérez, L. K. (2021). *Análisis de la calidad del agua purificada por ósmosis inversa destinada al consumo humano en instituciones educativas de Manantay, Coronel Portillo, Ucayali*. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa - Perú.

ROAGUA. (15 de Diciembre de 2021). Obtenido de <https://www.roagua.com/es/news/how-to-choose-the-right-reverse-osmosis-membrane-for-you/>

Romero Fuchs, W. D., & Burillo Mori, E. B. (2023). *Evaluación de la calidad del agua acuíferas para consumo humano y localización de fuentes de contaminación fijas en el Asentamiento Humano Señor de los Milagros, distrito de Yarinacocha – Ucayali*. Universidad Nacional de Ucayali



Saneamientos Ferrer. (20 de Diciembre de 2021). Obtenido de <https://saneamientosferrer.com/osmosis-inversa-ventajas-e-inconvenientes/todoagua>. (23 de Diciembre de 2023). Obtenido de <https://shre.ink/oqxWvdfteam>. (11 de Marzo de 2022). Obtenido de <https://vdf.es/etapas-osmosis-inversa/>

WaTeRSTATION. (24 de Setiembre de 2020). Obtenido de <https://shre.ink/oqxn>



ANEXOS



ANEXO 1

Matriz de consistencia

Título: ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
GENERAL: ¿Cuál será el porcentaje remoción de materia orgánica mediante la ósmosis inversa en aguas subterráneas afectadas por letrinas?	GENERAL: Evaluar la remoción de materia orgánica mediante la ósmosis inversa en aguas subterráneas afectadas por letrinas	GENERAL: La remoción de materia orgánica mediante la ósmosis inversa en aguas subterráneas afectadas por letrinas es eficiente.	Variable independiente Sistema de osmosis inversa	Presión de operación Caudal de alimentación Tiempo de tratamiento Tasa de recuperación	Nivel de presión Volumen de entrada Tiempo de funcionamiento Porcentaje de remoción	(psi) (L/min) (min) (%)
ESPECIFICO: a) ¿Cuál será la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas? b) ¿Cuáles serán las condiciones de operación del equipo de osmosis inversa para la reducción de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas?	ESPECIFICO: a) Determinar la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas. b) Determinar las condiciones de operación del equipo de osmosis inversa para la reducción de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas.	ESPECIFICO: a) La concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas supera los límites máximos permisibles b) Las condiciones de operación del equipo de ósmosis inversa permiten una reducción significativa de la concentración de materia orgánica en aguas subterráneas afectadas por letrinas	Variable dependiente Remoción de materia orgánica. Variable interviniente Calidad del agua subterránea.	Concentración inicial Concentración final Porcentaje de remoción pH Temperatura Conductividad eléctrica Turbidez	DQO (mg/L) COT (mg/L) DBO5 % de eficiencia de remoción Nivel de acidez Temperatura ambiente Grado de salinidad Presencia de sólidos en suspensión	mg/L mg/L % pH °C

ANEXO 2.

Panel fotográfico.



Preparativos para el procesamiento mediante la osmosis inversa.



Programación del equipo de osmosis inversa.



ANEXO 3.

Resultados del análisis en laboratorio



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° LCA149 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : ELIZABETH BAUTISTA QUISPE
1.2. Proyecto : OSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN
AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua natural – subterránea
2.2. Numero de muestras : 05
2.3. Muestreado por : Elizabeth Bautista Quispe
2.4. Fecha de ensayo : 17/10/2024
2.5. Departamento : Puno
2.6. Provincia : San Román
2.7. Distrito : Juliaca
2.8. Código, ubicación, fecha y hora de muestreo

Código	Tipo de pozo	Coordenadas	Fecha	Hora
P – 1	ARTESANAL	E: 379327.993 N: 8287187.977	16/10/2024	10:00
P – 2	TUBULAR	E: 378960.347 N: 8283338.99	16/10/2024	10:20
P – 3	TUBULAR	E: 379375.22 N: 8283774.97	16/10/2024	10:35
P – 4	ARTESANAL	E: 379376.62 N: 8283775.418	16/10/2024	10:50
P – 5	TUBULAR	E: 379389.304 N: 8283770.545	16/10/2024	11:10





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

III.RESULTADOS

Parámetro	Unidad	P - 1	P - 2	P - 3	P - 4	P - 5
Temperatura	°C	14.5	14.3	14.4	14.3	14.5
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.3	7.6	7.7	7.5	7.6
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	275.3	9.3	23.6	180.5	17.1
Demanda química de oxígeno	mg/L	452.5	22.4	68.3	385.4	57.2
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	1100	43	150	930	46.0

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, 07 noviembre del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca
CIP. 47790
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL. FICP



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° LCA150 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : ELIZABETH BAUTISTA QUISPE
1.2. Proyecto : OSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN
AGÜAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua natural – subterránea
2.2. Numero de muestras : 05
2.3. Muestreado por : Elizabeth Bautista Quispe
2.4. Fecha de ensayo : 24/10/2024
2.5. Departamento : Puno
2.6. Provincia : San Román
2.7. Distrito : Juliaca
2.8. Código, ubicación, fecha y hora de muestreo

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
P – 1	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	11:00
P – 2	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	11:10
P – 3	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	11:25
P – 4	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	12:00
P – 5	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	12:40





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

III.RESULTADOS

Parámetro	Unidad	T -1	T - 2	T - 3	T - 4	T - 5
Temperatura	°C	14.1	13.9	14.0	14.2	14.1
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.0	7.1	7.3	7.1	7.2
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	20.4	9.6	6.5	0	0
Demanda química de oxígeno	mg/L	50.3	22.2	14.3	0	0
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	<3	<3	<3	<3	<3

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, 07 noviembre del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca
CIP. 47790
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL. FICP



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° LCA151 - 2024

I. DATOS DEL SERVICIO

- 1.1. Solicitante : ELIZABETH BAUTISTA QUISPE
1.2. Proyecto : OSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN
AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024

II. DATOS DEL ENSAYO

- 2.1. Producto : Agua natural – subterránea
2.2. Numero de muestras : 05
2.3. Muestreado por : Elizabeth Bautista Quispe
2.4. Fecha de ensayo : 24/10/2024
2.5. Departamento : Puno
2.6. Provincia : San Román
2.7. Distrito : Juliaca
2.8. Código, ubicación, fecha y hora de muestreo

Código	Coordenadas	Fecha	Hora
P - 1	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	3:10
P - 2	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	3:22
P - 3	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	3:41
P - 4	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	4:10
P - 5	E: 380117.93 N: 8282287.07	24/10/2024	4:45





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

III. RESULTADOS

Parámetro	Unidad	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
Temperatura	°C	15.4	15.4	15.3	15.2	15.3
Potencial de hidrogeno	Unid. de pH	7.3	7.2	7.0	7.2	7.3
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	17.4	8.3	4.8	0	0
Demanda química de oxígeno	mg/L	47.2	19.7	11.6	0	0
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	<3	<3	<3	<3	<3

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, 07 noviembre del 2024

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

Mgtr. Ing. Milton Quispe Huanca
CIP. 47790
JEFE LABORATORIO CALIDAD AMBIENTAL FICP



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

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

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 27/10/25

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos:	ELIZABETH BAUTISTA QUISPE
Dirección:	ASENT.H. BUENA VISTA MZ. F LT. 3 - CUSCO
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:	46886353
Teléfono:	977138721
email:	triple.m.2050ely@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: <u>ÓSMOSIS INVERSA EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS SUBTERRÁNEAS AFECTADAS POR LETRINAS JULIACA 2024</u>	
Palabras claves, (3 a 5 términos): <u>Remoción, caudal, materia orgánica, muestra, ósmosis inversa,</u>	
¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2} ?	
<u>2</u>	

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: SANEAMIENTO AMBIENTAL - P22

Firma de Autor



huella digital

27/10/25

Fecha