



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS
EFICACES EN EL TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES
ORGANICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE
CABANILLAS, 2024**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LUIS ALBERTO CONDORI PARICAHUA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO - PERÚ

2025



LUIS ALBERTO CONDORI PARICAHUA

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGA...

- Tesis de pregrado
- Tesis de pregrado
- Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:544778502

138 páginas

Fecha de entrega
8 ene 2026, 9:47 a.m. GMT-5

28.044 palabras

Fecha de descarga
8 ene 2026, 9:59 a.m. GMT-5

154.635 caracteres

Nombre del archivo
EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL TRATAMIENTO DE CONTAMI...pdf

Tamaño del archivo
2,2 MB





15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes suprimidas, para esta...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 11% Fuentes de Internet
- 6% Publicaciones
- 10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Texto oculto**
781 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

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 lo revise.

Ing. Samuel Huapasa Cáceres
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2007657

Ing. Félix Rojas Chahuarez
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 2051221





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL
TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGANICOS DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CABANILLAS, 2024

TESIS PRESENTADA POR
Bach. LUIS ALBERTO CONDORI PARICAHUA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:

.....
Ing. GUILLERMO NESTOR FERNANDEZ SILA

PRIMER MIEMBRO

.....
Dra. SILVIA LEONOR INGALUQUE ARAPA

SEGUNDO MIEMBRO

.....
Dr. DANTE SALAS MERCADO

ASESOR DE TESIS

.....
Dr. SAMUEL HUAQUISTO CACERES

ÁREA: Ingeniería y tecnología

LÍNEA: Ordenamiento territorial y medio ambiente

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 17 de setiembre del 2025



.....
Lic. Asesor: *Samuel H. Caceres*
C.I. 10741000000



DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mis padres Grover y Gladys, por su sacrificio, esfuerzo incondicional y constante apoyo en cada etapa de mi vida. A mis abuelitas Juana y Julia, por sus oraciones, sabiduría y cariño que siempre me acompañaron, a mis hermanos Luisa, Jaqueline, Frank y Dayra. A toda mi familia, por creer en mí y estar presente incluso en los momentos más difíciles.

También agradezco de corazón a mis amigos, quienes, con su compañía, palabras de aliento y motivación me ayudaron a seguir adelante y a convertir este objetivo en una realidad.

A todos ustedes, gracias por ser parte de este logro.

Luis Alberto Condori Paricahua



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, por ser la casa de estudios que forjó mi formación académica y personal. A la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, y de manera especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por haberme brindado una sólida base académica y por formar en mí los principios que guían a un profesional íntegro y comprometido con el desarrollo de la sociedad.

Agradezco de manera especial a los miembros del jurado, por sus valiosas observaciones, comentarios y aportes, que enriquecieron este trabajo de investigación.

A mi asesor, por su dedicación, paciencia y guía constante a lo largo de este proceso, permitiéndome orientar adecuadamente cada etapa de este estudio.

Asimismo, extendiendo mi sincero agradecimiento a todas aquellas personas que, desde distintos espacios, hicieron posible la culminación de este trabajo. Al personal de la Universidad Nacional del Altiplano, por su permanente disposición y apoyo en la gestión de trámites y procesos que fueron fundamentales a lo largo de mi formación.

A mis compañeros de carrera, por los años compartidos, el compañerismo y el intercambio de conocimientos que enriquecieron mi aprendizaje tanto académico como personal. A los amigos que me acompañaron en los momentos más exigentes, brindándome palabras de aliento, escucha y motivación cuando más lo necesitaba.

Y de manera muy especial, a mi familia, por ser mi sostén incondicional, por su amor, confianza y apoyo constante, que fueron clave para mantenerme firme en este camino. A todos ustedes, mi eterno reconocimiento y profunda gratitud.

Luis Alberto Condori Paricahua



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	19
ABSTRACT.....	20
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.1.1. Problema general.....	24
1.1.2. Problemas específicos	24
1.2. HIPÓTESIS	24
1.2.1. Hipótesis general	24
1.2.2. Hipótesis específicas	25
1.3. JUSTIFICACIÓN	25
1.4. OBJETIVOS.....	26
1.4.1. Objetivo general	26
1.4.2. Objetivos específicos	26
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	28



2.1.1.	Internacionales	28
2.1.2.	Nacionales	32
2.1.3.	Regionales	34
2.2.	MARCO TEÓRICO	37
2.2.1.	Contaminación del agua	37
2.2.2.	Aguas residuales.....	38
2.2.2.1.	Aguas residuales domésticas en el Perú.....	39
2.2.2.2.	Composición de las aguas residuales domesticas	41
2.2.2.1.	Contaminantes orgánicos en las aguas residuales.....	44
2.2.2.2.	Ratios de los contaminantes por aguas residuales domesticas..	46
2.2.3.	Sistema de tratamiento de aguas residuales	47
2.2.3.1.	Pretratamiento	48
2.2.3.2.	Tratamiento primario	49
2.2.3.3.	Tratamiento secundario.....	50
2.2.3.4.	Tratamiento terciario.....	52
2.2.4.	Indicadores de calidad para Aguas Residuales	53
2.2.5.	Microorganismos eficaces (ME) para el tratamiento de contaminantes orgánicos de aguas residuales	53
2.2.5.1.	Tipos de microorganismos Eficaces (ME).....	55
2.2.5.2.	Microorganismos Eficaces Activados (ME-A).....	59
2.2.5.3.	Efecto de los microorganismos eficaces	61
2.3.	CONCEPTOS TEÓRICOS Y NORMATIVOS SOBRE AGUAS RESIDUALES	64
2.3.1.	Agua residual	64
2.3.2.	Agua residual domestica	64



2.3.3. Carga orgánica	64
2.3.4. Contaminantes orgánicos	64
2.3.5. Tratamiento biológico	64
2.3.6. Microorganismos Eficaces (ME)	65
2.3.7. <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	65
2.3.8. <i>Lactobacillus plantarum</i>	65
2.3.9. Tiempo de contacto	65
2.3.10. Eficiencia de tratamiento.....	65
2.3.11. Límite Máximo Permisible (LMP).....	66
2.3.12. Estándar de Calidad Ambiental (ECA).....	66

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO	67
3.1.1. Límites.....	67
3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad	68
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	68
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	69
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	69
3.3.1. Población.....	69
3.3.2. Muestra.....	69
3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO.....	70
3.4.1. Determinar la eficiencia de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas	70



- 3.4.2. Determinar la cantidad de reducción de la concentración de la DBO₅, DQO, Nitratos y fosfatos aplicando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas..... 74
- 3.4.3. Determinar el porcentaje de remoción de la DBO₅, DQO, Nitratos y fosfatos empleando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas..... 77

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- 4.1. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO₅, DQO, NITRATOS Y FOSFATOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CABANILLAS 79**
- 4.1.1. Caracterización del agua residual doméstica 79
- 4.1.2. Eficiencia de la de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas. 81
- 4.2. REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA DBO₅, DQO, NITRATOS Y FOSFATOS APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CABANILLAS 84**
- 4.2.1. Tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris* a los dos días de contacto.
..... 84
- 4.2.2. Tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris* a los cuatro días de contacto. 86
- 4.2.3. Tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris* a los seis días de contacto.
..... 88
- 4.2.4. Tratamiento con *Lactobacillus plantarum* a los dos días de contacto. 90



4.2.5.	Tratamiento con <i>Lactobacillus plantarum</i> a los cuatro días de contacto.....	92
4.2.6.	Tratamiento con <i>Lactobacillus plantarum</i> a los seis días de contacto.....	94
4.3.	PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LA DBO5, DQO, NITRATOS Y FOSFATOS EMPLEANDO MICROORGANISMOS EFICACES EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CABANILLAS	99
4.3.1.	Porcentaje de remoción la DBO5, DQO, nitratos y fosfatos a los dos días de contacto con <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	100
4.3.2.	Porcentaje de remoción la DBO5, DQO, nitratos y fosfatos a los dos días de contacto con <i>Lactobacillus plantarum</i>	105
4.4.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS	114
4.4.1.	Prueba de normalidad.....	114
4.4.2.	Prueba de hipótesis.....	115
4.4.2.1.	Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 1	115
4.4.2.2.	Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 2	116
4.4.2.3.	Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 3	117
V.	CONCLUSIONES	122
VI.	RECOMENDACIONES.....	124
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	125



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR	40
Tabla 2 Composición de las aguas residuales domésticas	41
Tabla 3 Relaciones típicas entre contaminantes en aguas residuales domesticas	46
Tabla 4 Criterios de biodegradabilidad del ratio demanda biológica de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5/DQO).....	47
Tabla 5 Contenido de Microorganismos Eficaces (ME).....	58
Tabla 6 Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio	68
Tabla 7 Parámetros a analizar	72
Tabla 8 Concentración de contaminantes orgánicos en el afluente de la PTAR Cabanillas.....	79
Tabla 9 Concentración de contaminantes orgánicos en el efluente de la PTAR Cabanillas.....	80
Tabla 10 Eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la PTAR Cabanillas.	82
Tabla 11 Reducción de concentraciones orgánicos con <i>Rhodopseudomonas palustris</i> a los dos días de contacto.....	85
Tabla 12 Reducción de concentraciones orgánicos con <i>Rhodopseudomonas palustris</i> a los cuatro días de contacto.	87
Tabla 13 Reducción de concentraciones orgánicos con <i>Rhodopseudomonas palustri</i> a los seis días de contacto.	89
Tabla 14 Reducción de concentraciones orgánicos con <i>Lactobacillus plantarum</i> a los dos días de contacto.	91



Tabla 15	Reducción de concentraciones orgánicas con <i>Lactobacillus plantarum</i> a los cuatro días de contacto.....	93
Tabla 16	Reducción de concentraciones orgánicas con <i>Lactobacillus plantarum</i> a los seis días de contacto.....	95
Tabla 17	Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	100
Tabla 18	Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	102
Tabla 19	Porcentaje de remoción de los Nitratos con <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	103
Tabla 20	Porcentaje de remoción del Nitratos con <i>Rhodopseudomonas palustris</i> ...	104
Tabla 21	Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con <i>Lactobacillus plantarum</i>	106
Tabla 22	Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con <i>Lactobacillus plantarum</i>	107
Tabla 23	Porcentaje de remoción de los nitratos con <i>Lactobacillus plantarum</i>	108
Tabla 24	Porcentaje de remoción de los fosfatos con <i>Lactobacillus plantarum</i>	109
Tabla 25	Prueba de normalidad	115
Tabla 26	Análisis de varianza (ANOVA) para la dosis óptima de microorganismos eficaces.....	117
Tabla 27	Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de contaminantes orgánicos empleando el microorganismo <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	118
Tabla 28	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos a diferentes dosis del microorganismo <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	119



Tabla 29	Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de contaminantes orgánicos empleando el microorganismo <i>Lactobacillus plantarum</i>	120
Tabla 30	Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos a diferentes dosis del microorganismo <i>Lactobacillus plantarum</i>	121



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Proceso de tratamiento de aguas residuales.....	37
Figura 2 Proceso de tratamiento de aguas residuales	48
Figura 3 Microorganismos que componen los EM	54
Figura 4 Mapa de ubicación de la zona en estudio.....	67
Figura 5 Punto de muestreo de agua residual.....	71
Figura 6 Diagrama de activación de los Microorganismos eficaces	76
Figura 7 Diagrama de tratamiento de Aguas Residuales con Microorganismos eficaces	77
Figura 8 Concentración de contaminantes orgánicos en el afluente y efluente de la PTAR de Cabanillas.....	81
Figura 9 Eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la PTAR Cabanillas	83
Figura 10 Reducción de contaminantes orgánicos con <i>Rhodopseudomonas palustris</i> a los dos días de contacto.....	86
Figura 11 Reducción de contaminantes orgánicos con <i>Rhodopseudomonas palustris</i> los 4 días de contacto.	88
Figura 12 Reducción de contaminantes orgánicos con <i>Rhodopseudomonas palustris</i> los seis días de contacto.	90
Figura 13 Reducción de contaminantes orgánicos con <i>Lactobacillus plantarum</i> a los dos días de contacto.....	92



Figura 14 Reducción de contaminantes orgánicos con <i>Lactobacillus plantarum</i> a los cuatro días de contacto.....	94
Figura 15 Reducción de contaminantes orgánicos con <i>Lactobacillus plantarum</i> a los seis días de contacto.....	96
Figura 16 Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	101
Figura 17 Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	102
Figura 18 Porcentaje de remoción de los Nitratos con <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	103
Figura 19 Porcentaje de remoción del Fosfatos con <i>Rhodopseudomonas palustris</i> . .	105
Figura 20 Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con <i>Lactobacillus plantarum</i>	106
Figura 21 Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con <i>Lactobacillus plantarum</i>	107
Figura 22 Porcentaje de remoción de los nitratos con <i>Lactobacillus plantarum</i>	109
Figura 23 Porcentaje de remoción de los fosfatos con <i>Lactobacillus plantarum</i>	110



ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1** Matriz de consistencia
- Anexo 2** Laguna facultativa - PTAR de la ciudad de Cabanillas
- Anexo 3** Certificado de análisis del afluente y efluente de la PTAR de Cabanillas
- Anexo 4** Certificado de del tratamiento de contaminantes orgánicos con *Rhodopseudomonas palustris*
- Anexo 5** Certificado de del tratamiento de contaminantes orgánicos con *Lactobacillus plantarum*
- Anexo 6** Panel fotográfico



ACRÓNIMOS

MINAM:	Ministerio del Ambiente
MVCS:	Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento
OEFA:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental
PTAR:	Planta de Tratamiento de aguas residuales
DBO₅:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
NO₃-:	Nitratos
PO₄³⁻:	Fosfatos
OD:	Oxígeno disuelto
pH:	Potencial de hidrogeno
PR:	Potencial Redox
ME:	Microorganismos eficaces
MEA:	Microorganismos eficaces activados
EMA:	Microorganismos eficaces activados
LMP:	Límite máximo permisible
ECA:	Estándar de calidad ambiental
ANOVA:	Análisis de Varianza



RESUMEN

La presente investigación surge debido a que la actual planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas se encuentra deteriorada y a su vez ya supero su vida útil de diseño; y por ende está generando una contaminación al cuerpo receptor (rio Cabanillas); ante ello se propicia la investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces en el tratamiento de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Cabanillas, 2024; Por ello primeramente se realizó el muestreo de agua residual en el afluente y efluente para el análisis de los contaminantes orgánicos (DBO₅, DQO, NO₃- y PO₄³⁻); para conocer la eficiencia de remoción actual, y posterior a ello se activó microorganismos eficaces “ME” (*Lactobacillus plantarum*” y “*Rhodopseudomonas plastrus*”), con Melaza, mezclado en sin cloro, cada una de manera separada, y seguidamente se realizó el experimento a dosis de 5, 10 y 20ml de MEA; a diferentes tiempos de retención hidráulica (2, 4 y 6 días), para determinar el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos. En los resultados se encontró un porcentaje de remoción actual de la PTAR de 14.22% en DBO₅, 40.11% en DQO, 44.34% en nitratos y 26.36% en fosfatos, además se encontró que la dosis 20 ml del microorganismo *Rhodopseudomonas palustris*, presento mejores porcentajes de remoción de los contaminantes orgánicos con 73% en DBO₅, 56% en DQO, 67% en NO₃- y 73% en PO₄³⁻, al igual que con el microorganismo *Lactobacillus plantarum*; 90% en DBO₅, 85% en DQO, 78% en NO₃- y 81% en PO₄³⁻. Concluyendo que el microorganismo *Lactobacillus plantarum* presenta un mejor efecto en el tratamiento de contaminantes orgánicos de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas.

Palabras clave: Remoción, aguas residuales, microorganismos eficaces, contaminantes orgánicos.



ABSTRACT

This research arises because the current wastewater treatment plant of the city of Cabanillas is deteriorated and has already exceeded its design life; and therefore it is generating pollution to the receiving body (Cabanillas river); therefore, the research was conducted with the objective of evaluating the effect of the application of effective microorganisms in the treatment of organic pollutants in the domestic wastewater of the city of Cabanillas, 2024; Therefore, firstly, wastewater sampling was performed in the influent and effluent for the analysis of organic pollutants (BOD₅, COD, NO₃⁻ and PO₄³⁻); After that, effective microorganisms “ME” (*Lactobacillus plantarum* and *Rhodopseudomonas plastrus*) were activated with molasses, mixed without chlorine, each one separately, and then the experiment was carried out at doses of 5, 10 and 20 ml of MEA; at different hydraulic retention times (2, 4 and 6 days), to determine the percentage of removal of organic pollutants. In the results we found a current percentage of removal of the WWTP of 14.22% in BOD₅, 40.11% in COD, 44.34% in nitrates and 26.36% in phosphates, it was also found that the 20 ml dose of the microorganism *Rhodopseudomonas palustris*, presented better removal percentages of organic pollutants with 73% in BOD₅, 56% in COD, 67% in NO₃⁻ and 73% in PO₄³⁻, as well as with the microorganism *Lactobacillus plantarum*; 90% in BOD₅, 85% in COD, 78% in NO₃⁻ and 81% in PO₄³⁻. Concluding that the microorganism *Lactobacillus plantarum* presents a better effect in the treatment of organic pollutants in the wastewater of the city of Cabanillas.

Keywords: Removal, wastewater, effective microorganisms, organic pollutants.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente las aguas residuales domésticas son consideradas, aguas cuya naturaleza fueron alteradas, esto debido a la intervención de las actividades diarias antropogénicas, que en consecuencia contienen alta carga orgánica (Quillen, 2021); como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitrógeno, fósforo; y además muestran la presencia de bacterias coliformes; parámetros que son analizados para verificar la calidad de estas aguas (Condori & Guillen, 2018).

Además existen tratamientos convencionales para tratar las aguas residuales, pero a muy elevados costos, principalmente por el costo energético, por ello es difícil de decidir por un tratamiento que garantice un tratamiento eficaz (Centeno et al., 2019), por lo tanto, es necesario investigar diferentes alternativas a las habitualmente empleadas que se adapten a las exigencias, costos mínimos, aporten ventajas por su sencillez en el funcionamiento y, sobre todo que, se ajusten a la norma (Delgado, 2018).

Ante ello surge el tratamiento con Microorganismos Eficaces (ME) conformado por bacterias fotosintéticas: *Rhodospseudomonas spp*; bacterias ácido lácticas: *Lactobacillus spp* y levaduras: *Saccharomyces spp.*, estos microorganismos desempeñan un papel esencial en la reducción de los contaminantes de los efluentes, al descomponer compuestos orgánicos principalmente, contribuyendo así a mejorar la calidad del agua residual (Huarhua, 2019), además entran en contacto con la materia orgánica presente en el agua residual y secretan sustancias secundarias, tales como ácidos orgánicos, vitaminas y minerales (Layedra, 2019), esta acción también permite disminuir la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno, cumpliendo con los parámetros



establecidos en el DS-003-2010 MINAM y permitiendo un aprovechamiento para el reúso de agua en áreas de cultivos de tallo alto (Mejía et al., 2021)

En ese contexto surge el desarrollo de la presente investigación con el objetivo de evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces en el tratamiento de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Cabanillas, 2024; y objetivos específicos: (1) Determinar la eficiencia de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas; (2) Determinar la cantidad de reducción de la concentración de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos aplicando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas; (3) Determinar el porcentaje de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos empleando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas; Del mismo modo, se divide en 4 capítulos, que se enumeran a continuación:

El **capítulo I**, introducción, establece el problema de estudio, enunciando del problema, hipótesis, justificación y definiendo los objetivos logrados que contempla el estudio.

El **capítulo II**, manifiesta argumentos relacionados al tema de estudio, referencias del estudio, bases teóricas y marco legal en los cuales se basó el presente proyecto.

El **capítulo III**, en donde se contempla la metodología del estudio el cual especifica el tipo y diseño de estudio, técnicas e instrumentos, población y muestra, métodos y procesamiento de información.

El **capítulo IV**, el cual contempla los resultados logrados, y su discusión respectivamente. Finalmente, las conclusiones con recomendaciones.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente a nivel mundial las aguas residuales generadas en las urbes, parcialmente tratadas y no tratadas son vertidas directamente hacia cuerpos receptores como las aguas superficiales y subterráneas, perjudicando a la biota que habita en estos ecosistemas (Perez et al., 2020), así mismo según la UNESCO (2020), informa que el 80% de aguas residuales generadas en el mundo, se vierten al medio ambiente sin tratamiento, lo cual ha conllevado a la muerte de ochocientas mil personas en el año 2020 en todo el mundo por causa del consumo de agua contaminada.

Así mismo en el Perú sólo el 69,65% de la población urbana está atendida por empresas EPS que prestan el servicio de alcantarillado; el resto de la población vierte las aguas residuales no tratadas al mar, ríos, lagos o quebradas, contaminando los cuerpos de agua naturales; esto, a su vez, contamina las aguas subterráneas por infiltración en el subsuelo, creando focos infecciosos que afectan tanto a la salud de la población como a la flora y fauna locales (OEFA, 2019); y principalmente según Pontaza (2014), las aguas residuales de carácter doméstico, presentan componentes de carácter orgánico.

De igual forma en la región de Puno, particularmente la ciudad de Cabanillas, no es ajena a esta problemática; debido a que la actual estructura de la laguna facultativa se encuentra deteriorada; y a su vez ya supero su vida útil de diseño; todo ello repercutiendo en las características de las aguas residuales, conllevando a que sobrepasen los LMP para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Huayta, 2019); así mismo estas aguas residuales sin un tratamiento adecuado se vierten directamente hacia el río Cabanillas; generando una severa contaminación hacia el ecosistema acuático (Mamani & Chavez, 2018); ahondando esta situación el mal tratamiento de las aguas residuales de la PTAR está conllevando a que se generen vectores como; moscas y ratas lo cual propicia



la propagación de enfermedades como: Alergias, hepatitis, enfermedades gastrointestinales y diarreas principalmente en la población (Valdez, 2016).

1.1.1. Problema general

¿Cuál es el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces en el tratamiento de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Cabanillas, 2024?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuánto es la eficiencia de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas?
- ¿Qué dosis de aplicación de microorganismos eficaces lograra reducir mejor la concentración de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas?
- ¿Cuánto es el porcentaje de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos empleando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas?

1.2. HIPÓTESIS

1.2.1. Hipótesis general

La aplicación de microorganismos eficaces, presenta un efecto positivo en el tratamiento de contaminantes orgánicos de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas, 2024



1.2.2. Hipótesis específicas

- La eficiencia de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas no supera el 30%
- La aplicación de 20ml de microorganismos eficaces lograra reducir mejor la concentración de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas
- El porcentaje de remoción de DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos empleando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas supera el 90%

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica debido a que la actual PTAR de la ciudad de Cabanillas; ya cumplió su vida útil de diseño; por lo cual ya no posee la eficiencia de remoción de contaminantes para la cual fue diseñada, debido a que se encuentran en un muy mal estado de conservación; conllevando a que se contamine el cuerpo receptor (rio Cabanillas); se trata de un problema que debe tomarse muy en serio porque, a medida que crece la población de la ciudad, se producen más aguas residuales domésticas; esto hace que el río sea incapaz de absorber y neutralizar la carga de contaminantes a la que está sometido, lo que se traduce en la pérdida de las cualidades naturales del agua y de su capacidad para sustentar la vida acuática.

Motivo por la cual, se justifica el desarrollo de la presente investigación, donde se experimentará la eficiencia de remoción de los microorganismos eficaces (bacterias ácido lácticas y fotosintéticas,) en la remoción de la DBO5, DQO, nitratos y fosfatos de las aguas residuales provenientes de la Ciudad de Cabanillas.



Justificación Social

La presente investigación favorecerá a la población de la ciudad de Cabanillas y autoridades competentes; para que tomen como referencia el presente estudio y la puedan aplicar en la reducción de la carga contaminante generadas por las aguas residuales.

Justificación Económica

Desde el punto de vista económico, esta tecnología es barata y fácil de usar; sus resultados informarán las decisiones que se tomen sobre la eliminación de contaminantes de las aguas residuales, evitando costes innecesarios asociados a la instalación de plantas de tratamiento más costosas.

Justificación ambiental

El vertido continuo de contaminantes de las aguas residuales al río está justificado desde el punto de vista medioambiental, ya que los resultados sentarán las bases de las medidas de remediación adecuadas que se adoptarán para mejorar la calidad de las aguas residuales.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de microorganismos eficaces en el tratamiento de contaminantes orgánicos de las aguas residuales domesticas de la ciudad de Cabanillas, 2024

1.4.2. Objetivos específicos



- Determinar la eficiencia de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas
- Determinar la cantidad de reducción de la concentración de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos aplicando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas
- Determinar el porcentaje de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos empleando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Internacionales

Ortiz et al. (2021), capturaron microorganismos de áreas ricas en diversidad y condiciones climáticas adecuadas; para ello se emplearon métodos como la tinción de Gram para su identificación y se construyó un biorreactor junto con el tratamiento del efluente urbano de los complejos residenciales para facilitar su reproducción masiva. Se identificaron dos cepas de bacterias Gram-positivas mediante identificación de microorganismos y se utilizaron para tratar las aguas residuales vertidas a los ríos Santa Cecilia y Pita, respectivamente. Las aguas residuales presentaban una importante carga contaminante de pH, DQO, DBO5 y sólidos sedimentables. Los porcentajes de eficiencia para la cepa 01 - jardín fueron 13,33%, 67,96% y 54,62%, respectivamente, y para la cepa 02 - Pululahua, fueron 9,33%, 69,15%, 62,52% y 48,14% para los mismos parámetros. Los resultados observados indican que estos organismos Gram-positivos pueden ser capaces de biodegradar estos contaminantes.

Carreño et al. (2020), evaluaron las características físicas de aguas para consumo humano, procedentes de las localidades de Severino, Julián y Balsa en Medio, ubicadas en la microcuenca del río Carrizal, Ecuador, tratadas por estrategias de depuración, se evaluaron cinco tratamientos diferentes: tres dosis distintas de microorganismos autóctonos (5, 10 y 15 ml/l); incubación con 5 ml/l de EM-1® y filtración en zeolita ecuatoriana; e incubación con 5 ml/l de EM-1®



y filtración en zeolita cubana. Se emplearon cuatro repeticiones de un diseño experimental de bloques al azar; además se utilizaron contrastes ortogonales para realizar las comparaciones; encontrando que la dosis de 15 ml/l de microorganismos nativos se obtenían beneficios estadísticamente significativos ($p < 0,05$) para las variables turbidez, sólidos totales y dureza, independientemente de la geografía y la fuente de agua examinadas. Cuando se empleó zeolita ecuatoriana como elemento filtrante junto con microorganismos eficaces (EM-1®), se observaron resultados similares; tanto la dosis de 5 ml/l de microorganismos autóctonos como los tratamientos con organismos eficientes (EM-1®) filtrados a través de zeolita cubana mostraron valores más altos para la variable temperatura. La variable color fue similar para todas las fuentes y lugares de muestreo. La mayoría de las características físicas de los locales Severino, Julián y Balsa en Medio están de acuerdo con las leyes que rigen las normas de calidad del agua potable del Ecuador. Los niveles de turbidez fueron superiores a los permitidos, y los remedios evaluados no lograron reducirlos.

Cardona & Garcia (2018), monitorearon algunos de los cambios fisicoquímicos y microbiológicos que se presentaron en un ARD tras aplicar 3 diferentes concentraciones de EM. evaluando su impacto, la interacción entre las métricas y su relación con la calidad del agua, y el impacto de la profundidad en la actividad del EM1. Además, se buscó una estimación aproximada de la eficacia del EM1 en este tipo de sistemas de tratamiento. Se utilizaron tanques de 1,10 x 0,56 m y 7 mm de espesor, con 110 L de ARD ($n = 3$), para evaluar tres dosis de EM1 (1/10000, 1/5000 y 1/3000 v/v); a los 0, 10, 30 y 45 días, se tomaron muestras del ARD a dos alturas (20 y 40 cm) y se analizaron las muestras para determinar los parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales,



heterótrofos totales, levaduras, lactobacilos y bacterias fototróficas) y fisicoquímicos (OD, pH, T, DQO, DBO5, ST, NO3, NO2, NH4, PO4, SO4 y S). Los parámetros del estudio no arrojaron diferencias estadísticamente significativas entre las profundidades evaluadas. Además, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de control y de tratamiento para la mayoría de los parámetros, con la excepción de un descenso notable de S2- (30 y 45 días) y coliformes fecales (10 días), así como un aumento notable de levaduras y recuentos fecales más altos (10 días), así como recuentos mayores de ambos (10 días).

Murillo (2018), evaluó la eficiencia de un consorcio de los microorganismos eficientes (*Rhodopseudomonas palustris*, *Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae*) en tres concentraciones diferentes en las aguas residuales del proceso de producción de elaboración de los quesos proveniente de la quesería artesanal de Quimiag “El Pajonal”, En cuatro unidades experimentales (recipientes de plástico con 2 L de agua residual) con tres réplicas cada una, se aplicaron tres tratamientos: el primero a una concentración de microorganismos eficientes de 0,01 (v/v), el segundo a una concentración de 0,02 (v/v), y el tercero a una concentración de 0,04 (v/v), junto con un tratamiento de control con agua residual sin inocular. Durante el experimento transcurrieron 45 días, controlándose las concentraciones de los parámetros a los 10, 30 y 45 días. Mediante la realización de un análisis estadístico multivariante y de componentes principales, pudimos identificar diferencias. En concreto, se observó que el tratamiento dos provocaba una mayor disminución de la concentración de DBO5 (61%), DQO (78%) y sólidos totales (73%). Por el contrario, el tratamiento dos no mostró diferencias en los sólidos en suspensión (54%), a pesar de tener un nivel



de significación superior a $P \leq 0,05$. A los 45 días, todas las características mencionadas disminuyeron, aunque seguían siendo superiores a lo permitido por el TULSMA, Libro VI Anexo I. demostrando que se puede conseguir fácilmente una buena eliminación de contaminantes, tal y como se refleja en los parámetros de DBO5, DQO, ST y SS, utilizando el consorcio de microbios eficaces para las aguas residuales de los fabricantes de queso. Se aconseja estudiar nuevas familias para crear un nuevo grupo de microorganismos productivos que puedan ser útiles para eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales.

Bejarano & Mauricio (2015), analizaron la eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual ubicada al norte de la ciudad de Bogotá. El estudio se llevó a cabo en tres fases: fase de diagnóstico, fase de ejecución y fase de evaluación; a partir de una muestra de lodos activados, la fase de diagnóstico consistió en clasificar las bacterias mediante tinción de Gram e identificar los hongos mediante una clave dicotómica en microscopía. Tras esta fase, las condiciones necesarias para el crecimiento de los microorganismos podrían establecerse mediante el seguimiento de los parámetros ambientales operativos y la concentración de la carga contaminante en el sistema de lodos activados. A continuación, las aguas residuales se sometieron a pruebas de control fisicoquímico y de seguimiento para conocer sus condiciones iniciales y sus cargas contaminantes. Estas pruebas también sirvieron para controlar las condiciones intermedias y finales durante la introducción de microorganismos en el reactor. Se obtuvieron los siguientes resultados comparando las concentraciones iniciales y finales de los parámetros fisicoquímicos DQO, DBO y SST, así como utilizando bacterias aerobias que se habían encontrado



previamente en el sistema de tratamiento de lodos activados; Se descubrió que el uso de estos microbios permitía al reactor eliminar el 79,8% de su carga orgánica, lo que ayudaba al buen funcionamiento del PTARD y al cumplimiento de las leyes medioambientales vigentes. Fue factible determinar que los hongos que cooperan son *Aspergillus*, *Fusarium* y *Penicillium*, y que las bacterias que realizan el proceso de eliminación son las GRAM

2.1.2. Nacionales

Acuña (2022), determino la dosis óptima de microorganismos eficientes, además del tiempo de retención hidráulica TRH que maximiza la remoción de materia orgánica, en la planta de tratamiento de aguas residuales de Yauli, Huancavelica. Con un diseño experimental y factorial que incluía 4 tratamientos- 0, 10, 20 y 30 ml/de EM-y 3 repeticiones en los tiempos de retención hidráulica- 11, 22 y 33 días-el enfoque de estudio utilizado fue a nivel explicativo. El tamaño de la muestra para cada unidad experimental fue de 20 L de aguas residuales municipales, que sirvieron como población. Se llevaron a cabo dos fases de recogida de datos: en primer lugar, se examinó la muestra estándar y, a continuación, se examinaron los parámetros de cada unidad experimental. Los principales resultados indican que la eliminación de materia orgánica puede optimizarse con una dosis de 20 ml y una vida media de 33 días; la eliminación de las demandas químicas y bioquímicas de oxígeno fue de 66,88% y 65,52%, respectivamente. Estos resultados garantizan el cumplimiento de la norma ambiental peruana.

Romero (2020), determino la influencia de los microorganismos eficaces en la remoción de coliformes termotolerantes y Demanda Bioquímica de Oxígeno



(DBO), para ello, se tomaron muestras de la matriz de aguas residuales domésticas después de caracterizar un volumen total de 216 litros (línea de base) a partir de la entrada del filtro biológico para ser utilizadas en 12 unidades experimentales (cada unidad experimental contenía 18 litros de aguas residuales). A continuación, se dividieron en 4 grupos, cada uno formado por 3 unidades codificadas según la dosis de agua activada con EM (4%, 6%, 8%), y el último grupo, denominado control, no recibió ninguna dosis. Estos fueron entonces monitoreados cada dos días (parámetros de campo: pH y temperatura) por una duración de 39 días durante las horas de trabajo del responsable del PTARD del distrito de Quilcas.

Gonzales & Quispe (2020), evaluó la influencia de los microorganismos eficaces (EM) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de Huancavelica en el 2020. Para conocer el impacto de estos microorganismos en la calidad del agua residual (pH, temperatura y DQO), se realizaron evaluaciones durante tres meses a los 0, 32, 62 y 90 días después del tratamiento. La aplicación de los microorganismos eficaces se realizó bajo la siguiente presentación en solución o EM activada. Los resultados indican que la gestión de las aguas residuales de los siguientes buques se vio afectada por los microorganismos eficaces (ME): en el primer mes, los buques n° 02 y 03 presentaron la mayor eficiencia media de eliminación de la DQO, con un 44,75% y un 39,95%, respectivamente. En última instancia, está claro que los 03 recipientes (MS) tuvieron la mejor eficiencia durante el primer mes de tratamiento debido al metabolismo de los microorganismos, que descomponen la materia orgánica (DQO) rápidamente en las primeras etapas del tratamiento. A lo largo del periodo de seguimiento, el comportamiento de degradación de la DQO se ponderó en relación con el crecimiento del inóculo y la disminución del sustrato.



Mauri & Jheyson (2019), evaluó el efecto del tiempo y dosis de microorganismos eficaces previa activación en la DBO₅, coliformes termotolerantes y turbidez presente en aguas residuales de las pozas de oxidación de Covicorti - Trujillo, 2019. Utilizando un diseño experimental con tres tratamientos y tres duplicados, y dosificaciones de 0, 10 y 50 ml/de EMA, la investigación fue aplicado-cuantitativa y se llevó a cabo durante un periodo de 33 días con mediciones realizadas cada 11 días (11, 22 y 33). El mejor impacto se mostró después de 33 días con una dosis de 10 ml de EMA; se alcanzaron reducciones porcentuales de 86,12% mg/L en DBO₅, 84,75% en CTT y 99,12% en turbidez, alcanzando los límites máximos permitidos. Los resultados mostraron disminuciones en DBO₅, CTT y turbidez.

2.1.3. Regionales

Vigo (2020), evaluó el efecto de microorganismos eficaces (ME) en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas en condiciones altoandinas. Se utilizaron diseños de investigación descriptivos y preexperimentales. Se instalaron cuatro tratamientos de 110 litros de agua; los dos primeros incluían ME (220 mL) aplicada en sistemas anaeróbicos y aeróbicos, y los dos últimos sirvieron de control; además, se añadieron colectores solares de plástico para elevar la temperatura de los tratamientos durante un periodo de 22 días de funcionamiento (10 horas al día). T°, pH, CE, OD, DBO₅, DQO, SST, N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, P-Total y turbidez fueron los parámetros que se observaron. Las proporciones de DBO, N y P de esta agua no son ideales para el crecimiento de procesos biológicos, y su relación DBO₅/DQO se degrada lentamente. La eliminación de DBO₅ (80,7%), DQO (79,9%), SST (88,9%) y P-total (81,8%) es mejor con el primer tratamiento, mientras que la eliminación de N-NH₄ (100%),



N-NO₂ (100%) y N-NO₃ (98,1%) es mejor con el segundo tratamiento. Con 502,65 KWh de energía solar proporcionada por los colectores, la eficiencia media de la radiación solar captada por los colectores 1, 2, 3 y 4 fue de 45,2, 40,7, 41,3 y 40,0%, respectivamente. Se determinó que los dos tratamientos ME tuvieron resultados positivos para la disminución de nitrógeno y materia orgánica, respectivamente.

Mamani & Chavez (2018), determinaron la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas. Este estudio constó de tres fases: diseño y construcción del sistema de tratamiento, uso de la EM y análisis de los datos de DBO₅, SST y CTT. En el experimento se utilizaron tres tratamientos (0, 3 y 4 L de EM) y se realizaron mediciones cada cinco días (5, 10 y 15) durante un total de quince días. Los resultados mostraron que el 62% de la muestra se eliminó con 0 L de EM, el 75% con 3 L y el 80% con 4 L. Los parámetros de SST y CTT, con la excepción de la DBO₅, mostraron un aumento significativo en los tratamientos 3 y 4 L en comparación con el control (0 L) ($p < 0,05$). Además, todos los tratamientos mostraron una diferencia significativa ($p < 0,05$) cuando se separó el tiempo de evaluación. En conclusión, el tratamiento con 4 L de MS y el sistema aeróbico demostraron resultados superiores alcanzando los Límites Máximos Permisibles debido a que los microorganismos efectivos en un sistema aeróbico logran una mayor eliminación de residuos orgánicos.

Valdez (2016), aplicó microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en la localidad de Chucuito. Se realizó un análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el afluente y efluente (EDAR) con y sin tratamiento para cumplir con los objetivos propuestos.



Se tomaron muestras de cubos experimentales con una capacidad de 20 litros, y se aplicaron dosis del 0% (muestra de control), 1% y 1. Durante tres meses, las dosis se administraron cada quince días en un intento de evaluar las dos modalidades de tratamiento e identificar la más eficaz y que se ajuste a las Normas Nacionales de Calidad Ambiental para la conservación del agua del ambiente (lagunas, lagos, ríos) así como a los Límites Máximos Permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias o municipales D.S N^a 003 - 2010 - MINAM. Los microorganismos efectivos (EM) inciden en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos (D. S. N^o 015 - 2015 - MINAM). Luego del tratamiento, se observó una notable disminución del pH, con una dosis de aplicación de EMa 2%, que osciló entre 6,3 y 4,28 en los sólidos suspendidos totales. A medida que transcurrió el tiempo y se elevó la dosis de aplicación, el efecto elevó la concentración del parámetro evaluado de 357,48 mg/L (1% EMa) a 535,35 mg/L (1,5% EMa) y 727 mg/L (2% EMa); tras el tratamiento, el oxígeno disuelto aumentó de 3,81 mg/L (1% EMa), 3,96 mg/L (1,5% EMa), y 4,12 mg/L (2% EMa); asimismo, la demanda bioquímica de oxígeno disminuyó de 147,07 mg/L (1% EMa), 131,07 mg/L (1,5% EMa), y finalmente 117. 33 mg/L (2% EMa); en cuanto al parámetro Demanda Química de Oxígeno, hubo una disminución de 367,67 mg/L (1% EMa), 327,27 mg/L (1,5% EMa), y 293,33 mg/L (2% EMa); los aceites y grasas tuvieron una disminución significativa, y hubo una ausencia de película visible en todos los tratamientos En conclusión, con respecto a los coliformes termotolerantes, se observó una reducción significativa de las bacterias patógenas en todos los tratamientos, y el tratamiento que utilizó una dosis de aplicación del 2% de EMa alcanzó una tasa de erradicación del 80,75%.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Contaminación del agua

La contaminación del agua es una acumulación de sustancias nocivas o tóxicas en el mismo, asimismo también el derrame de fluidos tóxicos en los ríos, mares, cuencas, entre otros, que alteran su calidad (MINAM, 2016).

Los parámetros físicos, químicos y biológicos, que es propia de una fuente de agua, al ser superados y excedidos pueden causar daños a la salud, y generar perjuicio al medio ambiente. Su cumplimiento es velada por el ministerio competente (MINAM, 2016).

La calidad de agua debe cumplir con un conjunto de criterios, físicos, químicos y microbiológicos, propias del agua encontrándose dentro de los límites máximos permisibles presentados por la normativa nacional de calidad de agua (Cama & Huasco, 2019).

Figura 1

Proceso de tratamiento de aguas residuales



Nota: Obtenido de (Caicedo, 2017)

2.2.2. Aguas residuales

Las aguas residuales se definen como las aguas recogidas en las aglomeraciones urbanas que proceden de vertidos de actividades humanas domésticas o de la combinación de estos vertidos y los procedentes de explotaciones comerciales, industriales y agrícolas integradas en la masa urbana. (Cachata, 2023).

Así mismo según Gallegos (2023), afirma que las aguas residuales son producidas por diversas actividades humanas en lugares como hogares, empresas, fábricas, etc. Es una mezcla de líquidos y desechos y se compone principalmente de agua (alrededor del 99,5%) con una pequeña cantidad de residuos que cambian sus propiedades físicas, químicas y biológicas. En la mayoría de los países, su manipulación está causando problemas medioambientales porque se vierten en masas de agua naturales como ríos, lagos, océanos, etc. sin ser tratados previamente (Pérez et al., 2021).

Según Castro (2019), las aguas residuales se componen en las siguientes categorías:

- **Aguas residuales domésticas**, se generan en los hogares por las actividades cotidianas de las personas, incluido el uso de agua potable, como la preparación de alimentos, el lavado de ropa, la higiene personal, los servicios sanitarios, etc. (Saini et al., 2023)
- **Las aguas residuales procedentes de operaciones industriales-** se denominan aguas residuales industriales; cuando se utilizan, se combinan con subproductos líquidos o sólidos. Cada sector industrial tiene propiedades físicas, químicas y biológicas diferentes (Saini et al., 2023).



- **Aguas residuales municipales**, son las aguas residuales domésticas y las aguas residuales industriales previamente tratadas se combinan y se entregan a una instalación de tratamiento de aguas residuales, el resultado son las aguas residuales municipales (Saini et al., 2023).

2.2.2.1. Aguas residuales domésticas en el Perú

La gestión de los recursos hídricos, asociados a la protección de la salud, a la tecnología y a la productividad en el Perú están en proceso de sistematización para abordar desde un enfoque integral el tratamiento y el uso eficiente del agua, identificando los factores ambientales impactados por la captación y uso del agua, la generación de aguas residuales por las actividades antropogénicas y su reúso (Flores, 2023).

El agua residual tratada tiene un valor agregado y puede ser usado en actividades que no requieren agua potable. El impacto del tratamiento se orienta a la reducción de los riesgos para la salud pública, la protección de acuíferos contra la contaminación, la preservación de la calidad original del agua en fuentes naturales superficiales y subterráneas, y una mejor utilización debido a su disponibilidad continua (Morales & Quispealaya, 2024).

En el año 2022, en Perú había 202 plantas de tratamiento de aguas residuales, de las cuales 171 estaban operativas. Esto significa que el 85 % de estas plantas cumplían su función de eliminar las partículas contaminantes de las aguas residuales provenientes del uso de servicios de agua potable y alcantarillado en las ciudades. Este proceso evita que las aguas contaminadas lleguen a fuentes naturales como ríos, lagunas y

mares, contribuyendo así a la protección del medio ambiente y la salud pública (Chumacero & Martínez, 2023), de las 171 plantas en operación, el 91 % son gestionadas por empresas prestadoras de servicios, el 7 % por municipios, y solo el 2 % por operadores privados bajo contratos de concesión o convenios. Actualmente, se están desarrollando diversos proyectos para aumentar la participación del sector privado en la gestión de las aguas residuales, mediante contratos de asociaciones público-privadas (APP), obras por impuestos o convenios específicos (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Guevara & Salas, 2022).

En el país, de un total de 143 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), solo el 14% cumple con los requisitos establecidos por la normativa vigente para operar de manera adecuada. Esto se debe, por un lado, a la visión limitada de las EPS, que no logra reconocer el potencial socioeconómico de las aguas residuales tratadas, lo cual se refleja en la percepción negativa de asignar actividades de operación y mantenimiento de las PTAR como una tarea desfavorable para los trabajadores. Por otro lado, también se debe a la falta de una cultura de protección ambiental como parte integral de la misión de las EPS (Vigo, 2020)

Tabla 1

Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR

Parámetros	Und.	LMP
Solidos Totales en suspencion	ml/l	150
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	10,000



Parámetros	Und.	LMP
DQO	mg/l	200
DBO5	mg/l	100

Nota. Obtenido del D.S N° 003-2010-MINAM (2010).

2.2.2.2. Composición de las aguas residuales domesticas

Las aguas residuales domésticas tienen materiales o componentes que se componen en tres categorías: físicos, químicos y microbiológicos. La mayoría de las instalaciones de depuración de aguas residuales diseñan procedimientos y actividades para eliminar las partículas en suspensión, los **elementos orgánicos** y los microorganismos nocivos, ya que son los parámetros de control más cruciales en las aguas residuales (Apaza, 2017). Como se observa en la Tabla 1, la investigación de caracterización de aguas servidas consiente identificar los contaminantes presentes, así como su grado de contenido.

Tabla 2

Composición de las aguas residuales domésticas

Componente	Concentración Fuerte (mg/L)	Concentración Media (mg/L)	Concentración Débil (mg/L)
Sólidos Totales	1200	720	350
Disueltos	950	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
Suspendidos	350	220	100
Sedimentables	20	10	5
DBO	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrógeno Total	85	40	20
Orgánico	35	15	8
Inorgánico	10	5	3
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0



Componente	Concentración Fuerte (mg/L)	Concentración Media (mg/L)	Concentración Débil (mg/L)
Nitratos	0	0	0
Fosforo Total	15	8	4
Cloruros	100	50	30
Grasas y Aceites	150	100	50

Nota: Obtenido de (Metcalf & Eddy, 1995)

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)**-. Es el contenido de oxígeno que requieren los microorganismos para descomponer el material orgánico biodegradable en presencia de oxígeno se mide mediante la DBO5. Es la consideración más importante a la hora de evaluar la calidad de las aguas superficiales y residuales. La DBO5 se utiliza para determinar las cantidades admisibles de carga orgánica en las masas de agua receptoras, construir sistemas de depuración biológico, controlar la eficacia de los procedimientos de tratamiento y determinar la cantidad de oxígeno necesario para la degradación biológica de la materia orgánica en el agua. La DBO suele medirse tras un periodo de incubación de cinco días. Esta prueba se basa en la idea de que los microbios que utilizan oxígeno molecular oxidarán todos los materiales orgánicos biodegradables en una muestra de agua a CO₂ y agua (Quiroz, 2019).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**-. Es el contenido de oxígeno necesario para la oxidación química de compuestos orgánicos se mide mediante la demanda química de oxígeno (DQO), que se expresa en miligramos por litro (ppm). Debido a que más sustancias químicas pueden sufrir oxidación química, este valor suele ser mayor que el DBO5 (Tanya & Leiva, 2019).



- **pH-** El grado de acidez o alcalinidad de una solución se indica por su pH. El rango de pH de las aguas servidas domésticas suele ser de 6,5 a 8,5; si el pH es mayor o menor, los microorganismos comienza a morir. Para mantener vivas a las lombrices, que son vitales para el proceso de depuración, hay que intervenir el pH antes de emplear el sistema vermífugo para depurar las aguas residuales (Agreda, 2018).
- **Conductividad eléctrica.** La cantidad de compuestos cargados iónicamente disueltos en el agua que tienen la capacidad de transportar una corriente eléctrica puede determinarse utilizando el parámetro de conductividad (Espinoza & Zambrano, 2019).
- **Sulfatos.** Los insumos químicos que incluyen iones de sulfato en polvo y sulfato de sodio son la fuente de sales de sulfato. En diversas aplicaciones, estas sales se emplean como «sales muertas» o reactivos de estandarización (Landeta, 2019).
- **Fosfatos.** Para que algunas entidades biológicas proliferen, el fósforo es un componente esencial. La calidad del agua puede sufrir eutrofización, un proceso causado por una sobreabundancia de fósforo que estimula el crecimiento de organismos fotosintéticos (Llontop, 2018).
- **Nitratos-** Los nitratos son compuestos químicos formados por nitrógeno y oxígeno combinados para producir un ion nitrato (NO_3^-). Son sales o ésteres de ácido nítrico (HNO_3) que se encuentran de manera natural en el suelo, el agua y algunos alimentos. Además,



se utilizan en conservantes alimentarios, fertilizantes y explosivos (Sánchez M. , 2014).

2.2.2.1. Contaminantes orgánicos en las aguas residuales

Son sustancias de origen biológico o químico que contienen carbono y que se encuentran en las aguas residuales, procedentes de diversas actividades humanas e industriales. Estos contaminantes pueden degradarse en el medio ambiente, pero su presencia en concentraciones elevadas puede tener efectos perjudiciales para los ecosistemas acuáticos y la salud humana (Ramos et al., 2021).

Según Bazán & Nureña (2019), entre los principales contaminantes orgánicos en las aguas servidas se encuentran:

Materia orgánica biodegradable: Se refiere a sustancias que pueden ser descompuestas por microorganismos, como restos de alimentos, grasas, aceites, y residuos vegetales o animales. El parámetro más utilizado para medir esta contaminación es la (DBO), que indica la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos descompongan el material orgánico presente; y las demás son los nitratos, sulfatos, nitritos, entre otros.

Compuestos orgánicos volátiles (COVs): Son sustancias que se evaporan fácilmente y pueden contaminar el aire y el agua. Incluyen solventes como el benceno, el tolueno, y el cloroformo, que se utilizan en procesos industriales y se pueden descargar en el agua.



Grasas y aceites: Estos contaminantes provienen de la cocina, principalmente del uso de aceites y grasas en la preparación de alimentos. Al llegar a las aguas residuales, las grasas y aceites pueden formar capas que interfieren con el tratamiento del agua, además de causar bloqueos en las tuberías y sistemas de alcantarillado.

Residuos de productos de higiene personal: Los champús, jabones, cremas y cosméticos contienen compuestos orgánicos que se disuelven o se eliminan por el desagüe. Algunos productos, como los que contienen microplásticos o ingredientes sintéticos, pueden ser difíciles de eliminar en los procesos de tratamiento convencionales.

Carbohidratos, proteínas y grasas: Estos compuestos provienen de restos de alimentos y desechos humanos. En las aguas residuales domésticas, son biodegradables, pero su descomposición consume oxígeno, lo que puede generar problemas como la **eutrofización** en masas de agua receptores si las aguas servidas no son tratadas correctamente.

Celulosa: Procedente del papel higiénico y otros materiales basados en celulosa que se eliminan por el inodoro. Aunque es biodegradable, su acumulación puede causar obstrucciones en los sistemas de alcantarillado y dificultades en la depuración de aguas.

Aunque muchos de estos contaminantes son biodegradables y pueden ser eliminados o reducidos en los sistemas de depuración de aguas servidas, su concentración elevada puede sobrecargar las plantas de tratamiento. Además, si las aguas servidas no son tratadas idoneamente,

pueden causar contaminación en cuerpos de agua naturales, afectando la calidad del agua y la biodiversidad (Vasquez, 2024).

2.2.2.2. Ratios de los contaminantes por aguas residuales domesticas

Las proporciones típicas de contaminantes en las aguas residuales municipales se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3

Relaciones típicas entre contaminantes en aguas residuales domesticas

Relación	Alto	Medio	Bajo
DQO/DBO	2.5 - 3.5	720	350
DQO/TN	12 - 16	500	250
DQO/TP	45 - 60	300	145
DBO/TN	6 - 8	200	105
DBO/TP	20 - 30	220	100

Nota: Obtenido de (Metcalf & Eddy, 1995)

Las relaciones entre los distintos contaminantes de las aguas residuales se muestran en la Tabla 3, y son significativas a la hora de elegir y poner en marcha los procesos. En particular, una alta relación DQO/DBO sugiere que alguna materia orgánica será difícil de descomponer biológicamente por el organismo (Bejarano & Escobar, 2015)

Se considera que el agua tiene efecto doméstico si la relación entre la DBO total y la DQO total es superior a 0,6, y que tiene impacto industrial si es inferior a 0,6 (Carrasco, 2022).

$$\frac{DBO_T}{DQO_T} \geq 0.6$$

Según Dipali et al. (2020), la relación ideal para el desarrollo de un proceso biológico es 100:5:1. La Tabla 4 enumera los requisitos de biodegradabilidad para la relación DBO5/DQO.

Tabla 4

Criterios de biodegradabilidad del ratio demanda biológica de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5/DQO)

DBO5/DQO	Carácter
> 0.8	Muy biodegradable
0.7 - 0.8	Biodegradable
0.3 - 0.7	Poco biodegradable
< 0.3	No biodegradable

Nota: Obtenido de (Metcalf & Eddy, 1995)

Ardila et al. (2017), calculan las relaciones de biodegradabilidad de las demandas biológicas y bioquímicas de oxígeno; cuanto menor es la relación, menos biodegradable es el material.

2.2.3. Sistema de tratamiento de aguas residuales

Dependiendo de las características del agua a tratar, la eliminación de sustancias orgánicas refractarias como detergentes, fenoles y pesticidas, la eliminación de sustancias inorgánicas disueltas y la eliminación de sólidos en encuentran entre los principales objetivos de eliminación; Koul et al. (2022), afirma que el objetivo del tratamiento de las aguas residuales es eliminar la carga de contaminantes de estas aguas en cada etapa.

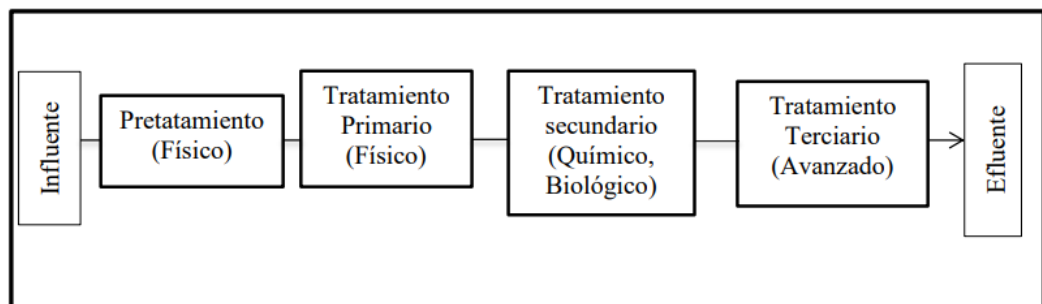
Dependiendo de la necesidad y de los objetivos propuestos se desarrolla la complejidad del sistema de tratamiento, comúnmente se habla de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (Romero & Vargas, 2017), al conjunto de estos sistemas y las estructuras requeridas se le

denominan planta de tratamiento de agua residual (PTAR). En la figura 2 se puede observar este proceso de tratamiento (Vásquez C. , 2019).

Dependiendo de la necesidad y de los objetivos propuestos se desarrolla la complejidad del sistema de tratamiento, comúnmente se habla de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (Caicedo, 2017). Al conjunto de estos sistemas y las estructuras requeridas se le denominan planta de tratamiento de agua residual (PTAR). En la figura 2 se puede observar este proceso de tratamiento.

Figura 2

Proceso de tratamiento de aguas residuales



Nota: Obtenido de (Yang et al., 2021)

2.2.3.1. Pretratamiento

Las aguas residuales deben pasar por un tratamiento preliminar antes de que comience el tratamiento como tal, con el fin de evitar obstáculos en el sistema de tratamiento y perjuicios de mantenimiento y/o funcionamiento de las instalaciones (tuberías, engranajes, etc.). En este tratamiento, los sólidos suspendidos gruesos y los sólidos en suspensión fijos se eliminan mediante rejas de barras, lavado manual o automatizada, o desintegradores, trituradores o tamices. Los desarenadores se utilizan



para eliminar los sólidos suspendidos fijos de menor tamaño, como los detritus minerales pesados (Safwat & Matta, 2021)

Así mismo según menciona Bhambri et al. (2021), los materiales más grandes son capturados por tamices y rejillas para realizar este pretratamiento, tras lo cual se extraen mecánicamente o a mano y se eliminan por cremación otros procedimientos anaeróbicos. El pretratamiento termina cuando las aguas residuales pasan por desarenadores, que son cámaras hechas para ralentizar el flujo de aguas residuales y eliminar partículas como arena u otros materiales mediante un proceso llamado sedimentación.

2.2.3.2. Tratamiento primario

Su objetivo es extraer de las aguas residuales parte de los componentes solubles y coloidales (coagulación, floculación y posterior sedimentación), así como parte de las partículas en suspensión (insolubles) que son sedimentables por gravedad. Aunque el tratamiento primario reduce una parte de la DBO ligada a las partículas en suspensión, no es especialmente eficaz para eliminar los materiales orgánicos (Geng et al., 2022)

Así mismo según menciona Bhambri et al. (2021), En esta fase, el agua se deja sedimentar en un estanque para que los restos flotantes puedan recogerse para su posterior eliminación. El lodo y otros residuos pesados también se acumulan en el fondo del estanque. La eliminación de las partículas en suspensión es el objetivo de este tratamiento.



Los tanques de asiento se facultan de remover las partículas suspendidas para realizar el tratamiento primario; este proceso sirve la variación de peso entre los sólidos y el agua (Tencio, 2016).

2.2.3.3. Tratamiento secundario

Su objetivo es reducir la mayor parte de los materiales orgánicos coloidales. Involucra principalmente actividades biológicas, que pueden dividirse en cuatro categorías: procesos anaeróbicos (que utilizan materia orgánica como aceptor de electrones), procesos aeróbicos (que utilizan oxígeno como aceptor final de electrones), procesos anóxicos (que utilizan nitrato como aceptor de electrones) y una mezcla de estos (Tom et al., 2021). La tecnología de lombricultivo de esta fase de tratamiento es un procedimiento aeróbico (Martinez, 2016).

Según Wang et al. (2021), debido al fuerte desarrollo de las bacterias en circunstancias aerobias, la presencia de oxígeno en el medio produce grandes rendimientos energéticos y, en consecuencia, una considerable formación de lodos

Según Beltrán & Campos (2016), afirma que existen varios sistemas de tratamiento secundario, entre ellos:

- **Lodos activados:** Aproximadamente entre el 60% y el 80% de los restos orgánicos solubles se eliminan con este tratamiento. Como los lodos están compuestos por sólidos inorgánicos y biomasa, se encargan de descomponer los materiales orgánicos en el reactor biológico.



- **Filtros percoladores:** El medio filtrante, formado por grava gruesa o material sintético, recibe las aguas residuales. El material filtrante será cultivado con microorganismos que descompondrán la materia orgánica. Cabe mencionar que el tamaño del filtro percolador y el desarrollo de biopelículas afectan a la eficacia del tratamiento.
- **Sistemas biológicos rotativos de contacto:** El tratamiento consiste en el cultivo de microorganismos, que se encargan de la degradación de la materia orgánica y serán cultivados en discos de soporte giratorios. De hecho, esta metodología se aplica cuando el efluente tiene bajas concentraciones de aceites y grasas, alcanzando una eficacia del 70% al 90%.
- **Filtros intermitentes de arena:** Tratamiento aplicable sólo cuando el efluente tiene baja turbidez, consiste en la eliminación de sólidos sedimentables, microorganismos y material orgánico.
- **Tratamiento anaerobio de flujo:** Dado que el tratamiento utiliza una técnica fácil de usar que funciona en entornos tropicales, allí los microorganismos crecen más fácilmente. Su eficacia en la eliminación de materias orgánicas y partículas sedimentables oscila entre el 40% y el 70%.

La digestión anaerobia, el reactor biológico y la decantación de los fangos se realizan en una sola unidad mediante esta técnica, que se inicia cuando el agua fluye de la parte superior a la inferior del manto de fangos (Huayllani, 2017).

2.2.3.4. Tratamiento terciario

El objetivo principal del tratamiento terciario u avanzado es eliminar el nitrógeno y el fósforo, pero también pretende desinfectar y eliminar algunos contaminantes y productos químicos peligrosos. Suele emplearse cuando se necesitan niveles muy bajos de DBO y SS en un efluente final con un alto grado de pulido (Romero & Campos, 2020).

Según Arora et al. (2020), se utilizan las siguientes tecnologías:

- **Desinfección:** Los gérmenes patógenos que pueden poner en peligro la salud de los seres vivos se erradican mediante un procedimiento de oxidación química. Cuando las personas van a entrar en contacto con el agua tratada, se aplica finalmente el tratamiento.
- **Osmosis inversa:** Cuando el efluente se introduce en una membrana adecuada y se filtra a través de ella el fluido con la menor cantidad de contaminantes, se utiliza. Tras esta separación, el agua limpia permanece en un compartimento mientras que los contaminantes disueltos permanecen en el otro.
- **Electrodialisis:** El proceso, que se emplea en la última fase del tratamiento de las aguas residuales, consiste en eliminar los nutrientes inorgánicos del efluente, incluidos el fosfato y el nitrógeno.
- **Adsorción:** Con el uso de la actividad del carbono, este tratamiento pretende eliminar los sabores y olores de las aguas residuales

mediante la eliminación de iones y moléculas presentes en el efluente.

2.2.4. Indicadores de calidad para Aguas Residuales

De acuerdo a los parámetros especificados y publicados en el D.S. N° 003-2010-MINAM, los indicadores que deben ser examinados para el monitoreo de efluentes provenientes de la creación de aguas residuales para una PTAR tienen establecidos Límites Máximos Permisibles. Por lo tanto, se requiere monitorear tanto el agua residual entrante (afluente) como el agua residual saliente (efluente), o agua tratada, según lo estipulado en las normas y reglamentos ambientales y sanitarios (Ticona & Ccasani, 2024) considerando los siguientes indicadores:

- La concentración de aceite y grasa en miligramos por litro.
- La concentración de coliformes termotolerantes en NMP/100 mL.
- La concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en miligramos por litro.
- La concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en miligramos por litro
- La unidad de pH
- La cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) en mililitros por litro
- El nivel de turbidez de la UNT
- La temperatura en grados centígrados

2.2.5. Microorganismos eficaces (ME) para el tratamiento de contaminantes orgánicos de aguas residuales

Ciertos cultivos mixtos de reconocidos microorganismos benéficos que

funcionan bien como inoculantes microbianos se denominan «microorganismos eficientes (EM)» o microorganismos eficientes (EM) (Valdez, 2016).

Según Vásquez (2017), afirma que el profesor Teruo Higa, de la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa (Japón), creó los microorganismos eficientes (EM) en la década de 1970. Según sus defensores, este producto comercial se compone teóricamente de tres tipos de criaturas distintas: bacterias fotosintéticas, bacterias lácticas y levaduras. Estos organismos trabajan juntos metabólicamente para crear una sinergia metabólica que permite su uso en muchos ámbitos de la ingeniería.

Figura 3

Microorganismos que componen los EM



Nota: Obtenido de (Caicedo, 2017)

Así mismo Gonzales & Quispe (2020), afirman que los tratamientos que emplean microorganismos eficaces tendrán como resultado principal una reducción de la contaminación orgánica (DBO) y química (DQO), así como una reducción del volumen de lodo producido. Si los resultados no son los esperados, el tratamiento debe repetirse porque se necesitan microorganismos más eficaces



para resolver el problema. Si, por el contrario, se obtuvo éxito, en el futuro se puede utilizar una dosis menor de mantenimiento, por ejemplo, 1 litro de EM activado por cada 10.000 litros de agua a tratar. Tras la aplicación, es necesario esperar un tiempo para ver los resultados, y en ocasiones el agua puede incluso estar más turbia al principio debido al tratamiento.

Dado que aumenta las densidades de microorganismos que pueden utilizar los compuestos presentes en el agua como fuente de carbono y energía para su metabolismo y crecimiento, la tecnología de productos EM (microorganismos eficientes) -que se basa en la actividad sinérgica de consorcios de microorganismos eficientes- se ha señalado como alternativa para el tratamiento del agua contaminada. De este modo se reducen las concentraciones de los compuestos. Además, el número y la diversidad de sustancias que pueden descomponerse aumentarán y los procesos serán más eficaces si se utiliza una combinación de muchos microorganismos con rasgos metabólicos distintos y complementarios (Vásque, 2017).

2.2.5.1. Tipos de microorganismos Eficaces (ME)

Las bacterias fotosintéticas, las bacterias lácticas y las levaduras son los tres tipos principales de microorganismos eficientes. Los microorganismos que componen esta tecnología no han sido sintetizados químicamente ni modificados genéticamente, sino que se han elegido de la misma especie por sus rasgos ventajosos y se han puesto a trabajar juntos. Estos microorganismos son bien conocidos porque se han utilizado en medicina y producción de alimentos desde la antigüedad y son altamente beneficiosos para los suelos, el agua, las plantas, los animales y,



por supuesto, los seres humanos (Canales, 2016).

- **Bacterias fotosintéticas (*Rhodospseudomonas palustris*)**

Según Canales (2016), estos microbios tienen la capacidad de producir ácidos orgánicos, aminoácidos y compuestos bioactivos como hormonas, vitaminas y carbohidratos que otros microorganismos, como los heterótrofos, utilizan como sustratos para hacer crecer sus poblaciones.

Todos los componentes del suelo, incluidos el arroz y las algas verdes, contienen bacterias fototróficas o fotosintéticas. Son microbios independientes que crean compuestos útiles a partir de materiales orgánicos, secreciones de las raíces o gases nocivos (como el sulfuro de hidrógeno) utilizando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Azúcares, compuestos bioactivos, aminoácidos y ácidos nucleicos son algunos de los compuestos beneficiosos que producen las bacterias fototróficas. Según Pontaza (2014), la planta absorbe inmediatamente estos metabolitos o compuestos creados durante el metabolismo, lo que ayuda a su desarrollo.

Además, al servir como sustratos, permiten que las bacterias fototróficas proliferen en los suelos, favoreciendo el desarrollo de otros microbios beneficiosos. La secreción de sustratos por bacterias fotosintéticas o fototróficas, por ejemplo, aumenta las reservas de sustancias nitrogenadas o aminoácidos, lo que a su vez incrementa la cantidad de micorrizas VA (vesiculares/arbusculares). Debido a que puede cohabitar con *Azotobacter* como bacterias fijadoras de nitrógeno, la micorriza VA proporciona fósforo a las plantas, aumenta la solubilidad de



los fosfatos en los suelos y aumenta el deseo de asentar nitrógeno (Vásquez, 2017).

- **Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus plantarum*)**

Dado que las bacterias lácticas producen ácidos a partir de azúcares y carbohidratos derivados de bacterias fototróficas y levaduras, se han utilizado durante mucho tiempo para producir alimentos y bebidas como queso, yogur y encurtidos. El ácido láctico producido por estas bacterias es un eficaz esterilizante que también puede atacar a microorganismos nocivos y favorecer la descomposición de la materia orgánica (Lara & Santillán, 2018), Además, al favorecer la fermentación de sustancias como la celulosa, las protegen de los daños causados por la putrefacción. Eliminar el crecimiento de *fusarium*, un microbio patógeno que causa problemas en los cultivos, es otra capacidad crucial de las bacterias lácticas. Los nematodos surgen como resultado del debilitamiento de la planta debido al crecimiento de colonias de *fusarium*. Las bacterias lácticas se utilizan para erradicar el *fusarium* y los nematodos que lo acompañan (Gonzales & Quispe, 2020).

- **Levaduras (*Saccharomyces*)**

El vino, la cerveza, el pan y otros productos se elaboran con levaduras. Son hongos unicelulares diminutos que pueden fermentar materiales orgánicos, en particular azúcares o carbohidratos, para producir una variedad de compuestos (Mamani & Havez, 2018). Las levaduras utilizan azúcares y aminoácidos producidos por bacterias fotosintéticas, así como los procedentes de materiales orgánicos y raíces de plantas, para

crear y utilizar compuestos antimicrobianos que ayudan al desarrollo de las plantas. Las levaduras producen compuestos bioactivos, como hormonas y enzimas, que potencian la actividad celular y el número de raíces. Además, liberan sustratos que son beneficiosos para ciertos microorganismos eficientes, incluidas las bacterias que producen ácido láctico y los actinomicetos (Vigo, 2020).

Tabla 5

Contenido de Microorganismos Eficaces (ME)

Tipos	Especie	Sustrato	Parámetros de trabajo	Tiempos de vida	Función
Bacterias Ácido Láctico	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Azúcares y otros carbohidratos	la materia orgánica en suspensión o disueltos en agua, DBO		La degradación de la lignina y la celulosa. Descomposición de la materia orgánica.
Levaduras	<i>Saccharomyces cerevisiae.</i>	fuentes de carbono y energía	temperatura óptima 28.5°C azúcares o hidratos de carbono	Los microorganismos contenidos en el producto activado. Tiempo de vida de la EM activada son de 6 meses, es viable durante 180 días a temperatura ambiente. Su duración es de aproximadamente 6 meses. El EM se puede	Sintetizan sustancias útiles para el crecimiento de las plantas y sustancias antimicrobiales: Vitaminas A y D, enzimas como invertasas y galactosidasas, hormonas que Bacterias fotosintéticas
Bacterias fotosintéticas	<i>Rhodospseudomonas plastrus</i>	Elaboran su propio alimento a partir de sustancias	DBO Y EL DQO		Rhodospseudomonas plastrus. Rhodobacter



Tipos	Especie	Sustrato	Parámetros de trabajo	Tiempos de vida	Función
		inorgánicas		mantener almacenado hasta un año aproximadamente	esporoides. Elaboran su propio alimento a partir de sustancias inorgánicas DBO Y EL DQO Sintetizan azúcares de cadenas simples que sirven de alimento a otros microorganismos (entre otros las Levaduras y las bacterias Ácido Lácticas).

Nota: Obtenido de (Canales, 2016).

2.2.5.2. Microorganismos Eficaces Activados (ME-A)

Los Microorganismos Eficaces (ME) necesitan ser activados, y dependiendo de cómo vayan a ser utilizados posteriormente, se pueden hacer una variedad de preparaciones. Microorganismos Eficaces Activados, o ME-A, fue el preparado para el tratamiento de aguas residuales utilizado en este caso (Gonzales & Quispe, 2020).

Según Pontaza (2014), señala que la activación de las bacterias se realiza de la siguiente manera:

- Un (1) litro de Microorganismos Eficaces (ME) rendirá veinte (20) litros de Microorganismos Eficaces Activados (ME-A) para aplicar



a la planta de tratamiento de aguas residuales. Esta proporción se consigue combinando una (1) parte de Microorganismos Eficaces (5%), una (1) parte de melaza (5%) de caña o azúcar, y dieciocho (18) partes de agua (90%) limpia (sin cloro).

- Durante una o dos semanas, la mezcla debe combinarse mientras se mantiene en un recipiente sellado a una temperatura constante de unos treinta grados centígrados (30 °C).
- A continuación, debe medirse el pH del ME-A. El proceso de fermentación de los Microorganismos Eficaces está terminado si el pH es inferior a 3,5 y el olor es agridulce.
- Para la activación deben utilizarse recipientes de plástico limpios con tapas que permitan un cierre hermético para evitar la entrada de aire.

a) Proceso de activación

El procedimiento para activar Microorganismos Eficaces (EM) para su uso en el tratamiento de aguas residuales:

- Verter 90% de agua en el recipiente de plástico.
- Microorganismos beneficiosos (5%)
- Melaza de azúcar o caña (5%).
- (solución homogénea) Agitar
- Para evitar la entrada de aire, cerrar
- 25 a 40 grados Celsius es la temperatura.
- Fermentación de 7 a 15 días; extracción del gas; utilización durante los 35 días siguientes



2.2.5.3. Efecto de los microorganismos eficaces

Dado que los MEa son degradadores de materia orgánica, acelerando la descomposición natural de los compuestos orgánicos que contaminan el agua, lo que los convierten en una alternativa para el tratamiento del agua contaminados con altas cargas orgánicas y pueden ser utilizados para restaurar la calidad del agua de ríos y lagos (Paredes, 2017). Los MEa producen sustancias bioactivas que actúan sobre los agentes patógenos de la putrefacción y la producción de gases nocivos que contaminan el agua y provocan malos olores. Estos organismos pueden actuar en la fijación del nitrógeno, ayudando a controlar compuestos cuando están en exceso. Inhiben el desarrollo de patógenos en el ecosistema y degradan residuos de pesticidas, además de ser eficaces en la solubilización de fosfatos, lo que también es relevante para su uso en la biorremediación de ambientes acuáticos degradados. Las investigaciones que utilizan EM en el tratamiento de aguas residuales sanitarias han demostrado una reducción significativa de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) presente en los efluentes (Sánchez et al., 2017).

a) Biodegradación

La biodegradabilidad es la capacidad que tienen las sustancias y los materiales orgánicos de descomponerse en sustancias más sencillas debido a la actividad enzimática de microorganismos (Santillán & Paredes, 2018).

La biodegradación es el proceso mediante el cual los microorganismos descomponen la materia orgánica. Según el material,



esto puede tardar días, semanas o incluso siglos. Los productos que se biodegradan rápidamente son preferibles a los que no lo hacen; sus contenidos nocivos se pueden descomponer en un período de tiempo más corto (Huarhua, 2019).

b) Etapas de biodegradación en agua

- Descomposición primaria: Los microorganismos (bacterias, algas, hongos) descomponen la materia orgánica en compuestos más simples.
- Hidrólisis: Las enzimas descomponen proteínas, carbohidratos y grasas en aminoácidos, azúcares y ácidos grasos.
- Fermentación: Los microorganismos anaeróbicos (sin oxígeno) convierten los compuestos en dióxido de carbono, metano y otros gases.
- Nitrificación: Las bacterias oxidan amoníaco (NH_3) en nitratos (NO_3^-).
- Denitrificación: Las bacterias reducen nitratos (NO_3^-) en nitrógeno gas (N_2).
- Mineralización: Los nutrientes se convierten en compuestos inorgánicos (nitrógeno, fósforo, potasio).
- Asimilación: Los nutrientes son absorbidos por organismos acuáticos, como algas y plantas. Factores que influyen en la biodegradación en agua:

Factores que influyen en la biodegradación en agua:

- Oxígeno disponible



- Temperatura
- pH
- Presencia de nutrientes
- Tipo de microorganismos
- Tiempo de retención del agua

Estas etapas y factores aseguran la eliminación eficiente de contaminantes orgánicos en el agua.

Según Pontaza (2014), los microorganismos eficaces son benéficos para el tratamiento de aguas residuales, así mismo afirmando lo siguiente

- Mejora las propiedades del suelo
- Suprime los patógenos y las plagas que venden dolencias
- Aumenta la efectividad de la dependencia orgánica como fertilizante
- Descuento de olores terribles y, en consecuencia, descuento en el uso de desinfectantes
- Aumenta la efectividad de la dependencia orgánica como fertilizante
- Mejora la multa y aumentará la velocidad en la elaboración del fertilizante
- Reincorpora las aguas residuales como agua de riego
- Disminuye los valores de DBO y DQO principalmente con respecto a otros componentes peligrosos de las aguas residuales.
- Reduce la fabricación de lodos en estructuras de remedio convencionales



2.3. CONCEPTOS TEÓRICOS Y NORMATIVOS SOBRE AGUAS RESIDUALES

2.3.1. Agua residual

Las aguas residuales son descargas líquidas generadas por actividades humanas en contextos residenciales, comerciales e industriales, que contienen materia orgánica e inorgánica en disolución o suspensión (Elshafei & Abad, 2017).

2.3.2. Agua residual domestica

En particular, las aguas residuales domésticas provienen de viviendas, comercios e instituciones, e incorporan residuos fisiológicos, restos alimenticios y detergentes derivados de las actividades cotidianas (Cayoja & Ballester, 2021).

2.3.3. Carga orgánica

La carga orgánica de las aguas residuales está constituida por compuestos de origen vegetal o animal, principalmente carbohidratos, proteínas, grasas y aceites, así como productos de su descomposición (Chumacero & Martínez, 2023).

2.3.4. Contaminantes orgánicos

Definidos como sustancias químicas que alteran la composición de materiales con base en carbono, incluyendo papel, madera, restos vegetales y animales, cuero, entre otros (Kumar & Ghosh, 2019).

2.3.5. Tratamiento biológico



El tratamiento biológico constituye la etapa central en la depuración de aguas residuales, ya que aprovecha la actividad microbiana para transformar la materia orgánica en compuestos más estables e inertes (Lara & Santillán, 2018)

2.3.6. Microorganismos Eficaces (ME)

Entendidos como cultivos mixtos de bacterias, levaduras y fototróficas no modificadas genéticamente, que actúan de manera sinérgica en la degradación de contaminantes (Sanchez, 2014).

2.3.7. Rhodopseudomonas palustris

La especie *Rhodopseudomonas palustris* es un tipo de microorganismo eficaz que utiliza la luz solar para sintetizar las sustancias beneficiosas principalmente la materia orgánica (DBO5), en su metabolismo fomentando su crecimiento (Gonzales & Quispe, 2020).

2.3.8. Lactobacillus plantarum

La especie *Lactobacillus plantarum* es un tipo de microorganismo eficaz; que estimula la descomposición de la materia orgánica DBO5 y química DQO principalmente entre otros componentes (Gonzales & Quispe, 2020).

2.3.9. Tiempo de contacto

Entendido como el periodo que el agua permanece en la unidad de proceso antes de su descarga o análisis. Este parámetro determina la extensión de la interacción entre contaminantes y microorganismos, influyendo directamente en la eficiencia del proceso (Gonzales & Quispe, 2020).

2.3.10. Eficiencia de tratamiento



Se expresa como la relación entre la masa o concentración de contaminantes eliminados y la carga inicial presente en el afluente. Puede representarse en porcentajes y constituye un indicador clave para evaluar el rendimiento de las tecnologías implementadas (Kumar & Ghosh, 2019).

2.3.11. Límite Máximo Permisible (LMP)

Se definen como las concentraciones máximas de contaminantes físicos, químicos y biológicos que pueden estar presentes en un efluente industrial o doméstico, sin poner en riesgo la salud ni el ambiente. Estos valores son evaluados en el punto de descarga (D.S N° 003-2010-MINAM, 2010).

2.3.12. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

Establecen los niveles de contaminantes permitidos en los cuerpos receptores —aire, agua o suelo— garantizando que su presencia no represente un riesgo significativo para la salud humana ni para el equilibrio ecológico (OEFA, 2014).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona en estudio es la laguna facultativa, donde se vierten las aguas residuales procedentes del distrito de Cabanillas, Provincia de San Román, departamento de Puno, en las coordenadas geográficas latitud: $15^{\circ}38'29.66''S$, Longitud $70^{\circ}21'1.64''O$ a una altitud de 3892 m.s.n.m.

Figura 4

Mapa de ubicación de la zona en estudio



Nota: Obtenido de Google Earth

3.1.1. Límites.

La laguna facultativa pertenece a la ciudad de Ilave, del distrito del mismo nombre, viene limitando por el norte con el distrito de Acora de la provincia de

Puno; mientras que por el sur con el con el distrito de Juli; además por el este con el Lago Titicaca y por el Oeste con el distrito de Conduriri.

3.1.2. Vías de comunicación y accesibilidad

La principal vía de acceso y comunicación desde la ciudad de Puno, hacia el área en estudio es la terrestre, tal cual se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Vías de comunicación y accesibilidad al área en estudio

Partida	Fin	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Puno	Juliaca	43.00 km	0:50 h.	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil
Juliaca	Cabanillas	29.8 km	0:34 h	Carretera asfaltada	Bus/Automóvil

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es **explicativo** ya que muestra una relación causal; además de describir o abordar un tema, también busca sus causas (Baena, 2017).

El nivel de investigación a emplear es **aplicativo** ya que se enfoca en la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos y busca desarrollar soluciones concretas para los problemas (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a que en la investigación a realizar se manipularon variables a propósito para determinar su impacto en otras variables el diseño de investigación es **experimental puro** (Hernández & Mendoza, 2018).



Además, el enfoque es **cuantitativo** por que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para describir fenómenos, establecer relaciones entre variables y, en muchos casos, probar hipótesis (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

a) Técnicas

Las técnicas para recolectar información es la observación, y la revisión bibliográfica de tesis, artículos científicos, páginas web, entre otros.

b) Instrumentos

- Ficha de observación
- Software Microsoft Office
- Software Microsoft Excel
- Instrumentos de laboratorio de análisis de aguas residuales

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

La población en estudio está representada por las aguas residuales generadas en la ciudad de Cabanillas

3.3.1. Muestra

Se ha considerado un muestreo no probabilístico a juicio del investigador; ante ello la muestra en estudio está representado por dos tratamientos (9 experimentos para el microorganismo *Rhodopseudomonas palustris* y 9 experimentos para *Lactobacillus plantarum*), cada una de ellas con 3 repeticiones,



totalizando 54 unidades experimentales para el tratamiento de aguas residuales generadas en la ciudad de Cabanillas

3.4. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

El procedimiento metodológico en el sentido de lograr los objetivos planteados en este estudio: toda la información se recogió de las tesis, libros, publicaciones académicas y sitios web, entre otras fuentes.

3.4.1. Determinar la eficiencia de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas

Actualmente según Huayta (2019), indica que la actual planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas supera los límites máximos permisibles de efluentes de PTAR; sin embargo no existen estudios actuales de ello; por ello se realizó la constatación de ello; mediante la realización de un nuevo análisis de aguas residuales en el afluente y efluente de la PTAR; tomando en consideración el **Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales**” (MVCS, 2014); el cual indica que para el conocimiento de la eficiencia de remoción de contaminantes de una planta de tratamiento deberá de tomarse dos puntos de muestreo: en el afluente (entrada) a la planta de tratamiento de aguas residuales y en el efluente (salida).

a) Consideraciones para la toma de muestra

El punto de monitoreo inicial (afluente), a la entrada de la PTAR, estuvo ubicado preferentemente en un lugar que evite la interferencia de sólidos, es por

esto que se ubicó este punto generalmente después de la cámara de rejas. Con respecto al punto de monitoreo final, a la salida de la PTAR (efluente), éste estuvo ubicado en el último buzón de salida, caja de registro u otra estructura que haga las veces de estructura de evacuación.

Figura 5

Punto de muestreo de agua residual



Nota: Obtenido de Google Earth

Además, se efectuó la toma de muestra entre las 10:00 y 11:00hrs en temporada de estiaje para prevenir el desequilibrio del sistema carbonatado por excesiva actividad fotosintética cuando la radiación solar es más intensa, según lo recomienda el MINAM (2014).

b) Toma de muestra

Dichos puntos donde se tomarán las muestras de agua residual cumplieron las siguientes características:

- Permitir que la muestra sea representativa del flujo

- Estar localizados en un punto donde exista una mejor mezcla y estar preferentemente cerca al punto del aforo
- Para la medición del afluente, el punto de muestreo deberá estar antes del ingreso de agua de recirculación, si existiera
- Deberá ser de acceso fácil y seguro, evitando caminos empinados, rocosos, vegetación densa y fangos
- Deberán contar con un rotulado para su identificación incluyendo la denominación del punto de monitoreo.

c) **Preservación de muestras**

Las muestras recolectadas del afluente y efluente se conservaron en cajas térmicas (cooler), aisladas de la influencia de la luz solar y con disponibilidad de espacio para la colocación del material refrigerante hasta su traslado al laboratorio.

d) **Parámetros a evaluar**

Con respecto a los parámetros a evaluar en el efluente y afluente de la PTAR; fueron los que representan la carga orgánica (DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos), además se analizaron parámetros complementarios que influyen en la eficiencia de remoción siendo los siguientes.

Tabla 7

Parámetros a analizar

Parámetros	Unidad	Método de análisis
pH	Valor de pH	Multiparámetro (in situ)
Potencial redox	mV	Multiparámetro
Oxígeno disuelto	mg/L	Multiparámetro
Demanda biológica de oxígeno	mg/L	Laboratorio de ing. química UNA PUNO (ex situ)
Demanda química de Oxígeno	mg/L	Laboratorio de ing. química UNA PUNO (ex situ)



Nitratos	mg/L	Laboratorio de ing. química UNA PUNO (ex situ)
Fosfatos	mg/L	Laboratorio de ing. química UNA PUNO (ex situ)

Los parámetros ex situ, se analizaron con los procedimientos establecidos por el laboratorio de ing. Química de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno

Estos parámetros se evaluaron tal como ya se ha especificado en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas; tomando en ambos casos **muestras simples** (muestras tomadas al instante).

e) **Determinación de la eficiencia de la PTAR**

Posteriormente luego de conocer las concentraciones del afluente y efluente de los contaminantes orgánicos (DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos); se aplicó la siguiente fórmula para conocer la eficiencia de remoción de dichos parámetros por parte de la planta.

$$E = \frac{C_o - C}{C_o} * 100$$

Donde:

E: Eficiencia de la PTAR

C: Cantidad de Carga contaminante de salida

Co: Cantidad de Carga contaminante de entrada



Dichos parámetros fueron comparados con los LMP de efluentes de PTAR del D.S N° 003-2010-MINAM (2010), para corroborarlos

3.4.2. Determinar la cantidad de reducción de la concentración de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos aplicando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas.

Posteriormente se determinó la dosis óptima de microorganismos eficaces donde ocurra la mejor remoción de los contaminantes orgánicos (DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos), al igual que los parámetros complementarios (OD, pH, y Potencial redox) siguiendo el procedimiento:

a) Obtención de microorganismos eficaces (*Rhodopseudomonas palustris* y *Lactobacillus plantarum*)

Se obtuvieron microorganismos eficaces las cuales fueron de dos tipos (*Lactobacillus plantarum* y *Rhodopseudomonas palustris*) en estado líquido; lo cual sirvió para el desarrollo del proceso experimental.

b) Activación de los microorganismos eficaces

Para la activación de los microorganismos eficaces se siguieron los procedimientos descritos por Valdez (2016), donde indica que la activación eficaz de los microorganismos está dada a proporciones de 1:10 (ejem: 1L de microorganismos eficaces con 10L de agua libre de cloro), siguiendo las siguientes consideraciones.

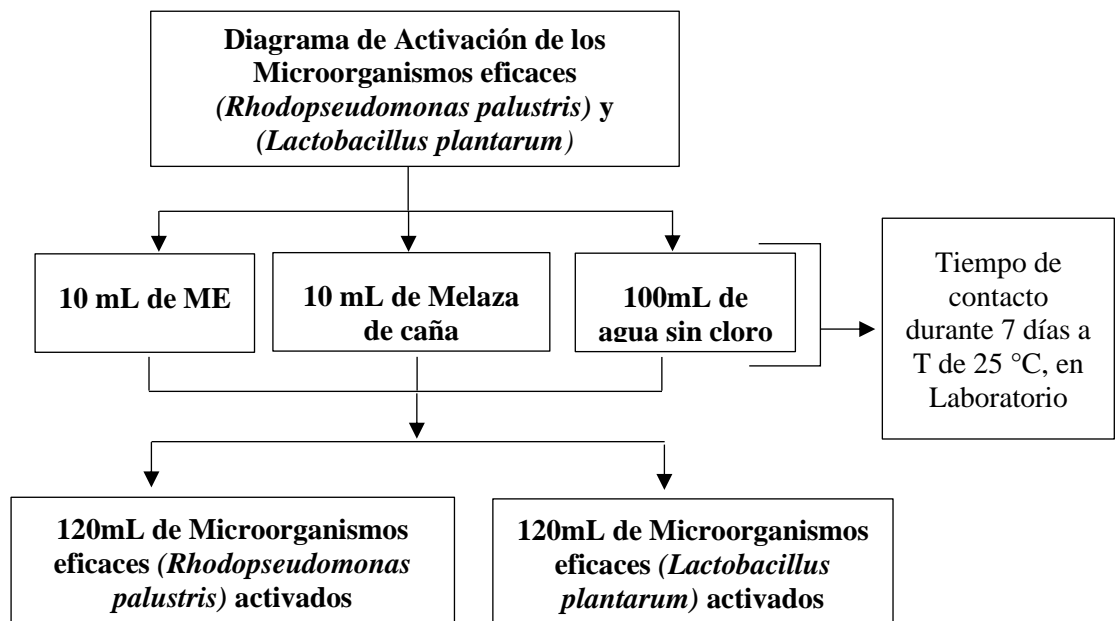
- **Agua natural-** se utilizó la dosis de 10mL para cada tipo de microorganismos eficaces; en 100 mL de agua natural libre de cloro



- **Mezclado-**. Una vez preparado el agua natural de 100 mL, con los microorganismos de 10mL se agregó un adicional de 10mL de melaza de caña de azúcar, luego se agito para que la mezcla sea homogénea. “la melaza es la fuente de alimento de los microorganismos eficaces (*Rhodopseudomonas palustris* y *Lactobacillus plantarum*)”.
- **Envasado-**. Para evitar la entrada de aire, se utilizaron envases de polipropileno de 200-300 ml con cierre hermético.
- **Fermentación-**. El experimento se llevó a cabo en circunstancias anaeróbicas durante siete días a una temperatura de 25°C en el laboratorio para permitir la proliferación de los microorganismos eficaces (*Rhodopseudomonas palustris* y *Lactobacillus plantarum*).
- **Extracción del aire-**. Para mantener el aire fuera del recipiente y detener el proceso de fermentación, se instaló una trampa de aire en la tapa del recipiente. Esta trampa de aire estuvo formada por una manguera que transfiere el gas emitido a una botella llena de agua.
- **Microorganismos eficaces activados-**. Luego de los 7 días de fermentación se verifico la calidad de los microorganismos eficaces (*Rhodopseudomonas palustris* y *Lactobacillus plantarum*), verificando que el pH este en un rango de 3.2 a 3.8, lo cual indica que los microorganismos están listos para su uso.

Figura 6

Diagrama de activación de los Microorganismos eficaces



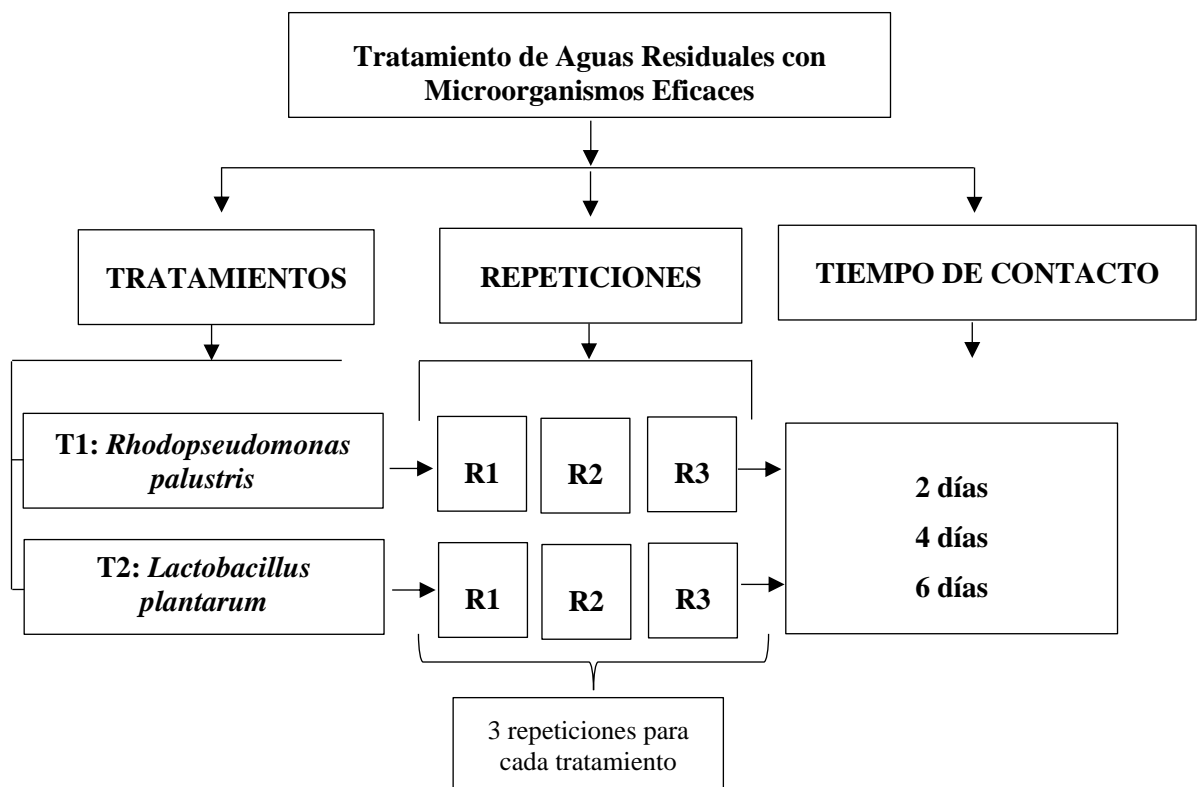
Nota: Elaboración basada en las recomendaciones de Valdez (2016)

Posteriormente a la activación de los microorganismos eficaces (*Rhodopseudomonas palustris* y *Lactobacillus plantarum*); se procedió a desarrollar la etapa experimental nombrando a cada microorganismo como T1 y T2; cada una dosis de 5ml, 10ml y 20ml; a diferentes tiempos de contacto 2días, 4días y 6días; todo ello fue desarrollado en el laboratorio.

Especificando que la aplicación de microorganismos eficaces activados (*Rhodopseudomonas palustris* y *Lactobacillus plantarum*); estuvo dada en el medio del recipiente de 500 mL para que los microorganismos se distribuyan de una manera homogénea hacia todo el recipiente.

Figura 7

Diagrama de tratamiento de Aguas Residuales con Microorganismos eficaces



Nota: Elaboración basada en las recomendaciones de Valdez (2016)

Y finalmente luego del proceso de tratamiento nuevamente las muestras fueron analizadas, para conocer cual dosis y cual microorganismo presento mejor remoción de los contaminantes orgánicos (DBO5, DQO, nitratos y fosfatos), y parámetros complementarios (OD, pH, y Potencial redox).

3.4.3. Determinar el porcentaje de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos empleando microorganismos eficaces en las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas

Finalmente, luego se determino la eficiencia de remoción de los microorganismos eficaces de estos parámetros mencionados utilizando la siguiente formula



$$\% \text{remocion} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100$$

Donde:

C_i = Concentración inicial

C_f = Concentración final

Así mismo todos los contaminantes orgánicos (DBO5, DQO, nitratos y fosfatos) y parámetros complementarios (OD, pH, y Potencial redox); posterior al tratamiento empleado con los microorganismos eficaces; fueron comparados con los límites máximos permisibles (LMP) y con los estándares de calidad ambiental (ECA), y conocer si son aptas para el vertimiento hacia el cuerpo receptor

De igual manera para conocer el efecto de los microorganismos eficaces en el tratamiento de contaminantes orgánicos de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas, fueron analizadas por una prueba de normalidad de tipo **Shapiro-Wilks**, el cual es aplicado para muestras temporales inferiores a 50 unidades y permite medir si las variables presentan una distribución normal o no normal.

Posteriormente se efectuó la prueba estadística **ANOVA** de un factor para conocer el efecto de los microorganismos eficaces en el tratamiento de contaminantes orgánicos; siendo la prueba de decisión en este análisis, el valor p-value, el cual debe ser inferior a 0.05 y esto indicará la existencia de una influencia significativa.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO₅, DQO, NITRATOS Y FOSFATOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CABANILLAS

4.1.1. Caracterización del agua residual doméstica

En la tabla 8, se aprecia la concentración de contaminantes orgánicos en el afluente de la PTAR de la ciudad de Cabanillas, indicando que el pH es de 7.11, mientras que el oxígeno disuelto es de 2.53 mg/L, el potencial redox es de -73.11 mV y la conductividad eléctrica es de 395.14 μ S/cm; asimismo, la concentración de la demanda biológica de oxígeno es de 241.96 mg/L, de igual forma, la concentración de la demanda química de oxígeno es de 466.99 mg/L; finalmente, la concentración de nitratos es de 126.99 mg/L y la concentración de fosfatos es de 7.60 mg/L, respectivamente.

Tabla 8

Concentración de contaminantes orgánicos en el afluente de la PTAR Cabanillas.

Parámetros	Unidad	Repeticiones		Promedio
		R1	R2	
pH	Unidad	6.98	7.23	7.11
OD	mg/L	2.56	2.13	2.35
Potencial redox	mV	-93.54	-52.67	-73.11
Conductividad eléctrica	μ S/cm	400.53	389.75	395.14
DBO ₅	mg/L	235.68	248.23	241.96
DQO	mg/L	458.69	475.29	466.99
Nitratos	mg/L	125.63	128.34	126.99
Fosfatos	mg/L	7.23	7.96	7.60

En la tabla 9, se aprecia la concentración de contaminantes orgánicos en el efluente de la PTAR de la ciudad de Cabanillas, indicando que el pH es de 7.20, mientras que el oxígeno disuelto es de 1.95 mg/L, el potencial redox es de -13.06 mV y la conductividad eléctrica es de 288.85 μ S/cm; asimismo, la concentración de la demanda biológica de oxígeno es de 184.39 mg/L, de igual forma, la concentración de la demanda química de oxígeno es de 259.66 mg/L; finalmente, la concentración de nitratos es de 70.67 mg/L y la concentración de fosfatos es de 5.60 mg/L, respectivamente.

Tabla 9

Concentración de contaminantes orgánicos en el efluente de la PTAR Cabanillas.

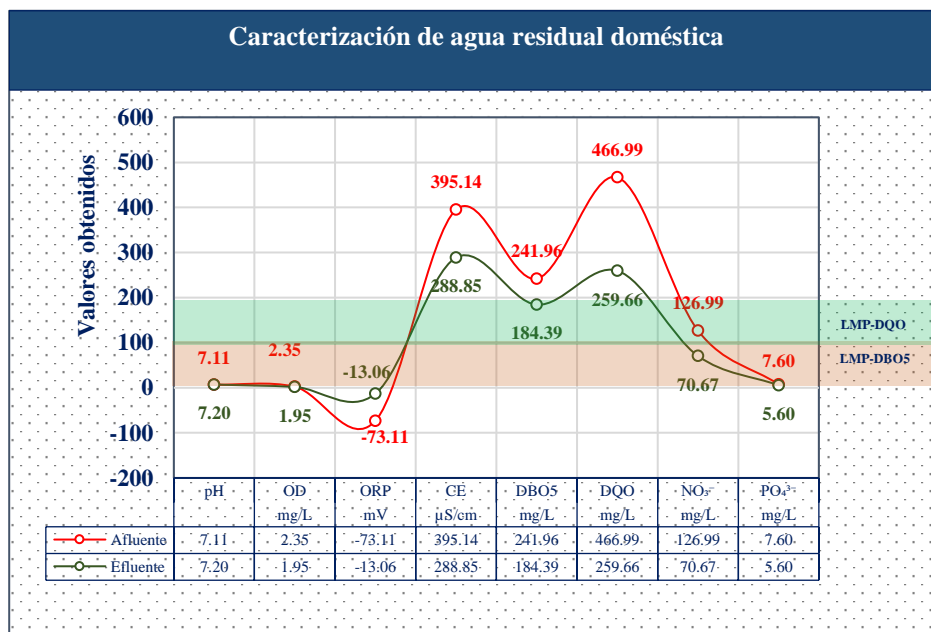
Parámetros	Unidad	Repeticiones		Promedio
		R1	R2	
pH	Unidad	7.32	7.07	7.20
OD	mg/L	2.03	1.87	1.95
Potencial redox	mV	-13.56	-12.56	-13.06
Conductividad eléctrica	μ S/cm	253.42	324.28	288.85
DBO5	mg/L	185.32	183.45	184.39
DQO	mg/L	250.85	268.46	259.66
Nitratos	mg/L	70.45	70.88	70.67
Fosfatos	mg/L	5.86	5.33	5.60

En la figura 8, se observa que el tratamiento de aguas residuales de la PTAR de la ciudad de Cabanillas, presenta un valor en el efluente de: OD de 1.95 mg/L, característico de la zona inferior de la laguna facultativa, donde predominan las condiciones anaeróbicas o de baja oxigenación; además, el potencial redox registrado es de -13.06 mV, debido a las reacciones de reducción que ocurren mediante la descomposición anaeróbica de materia orgánica; también se observa una disminución en la DBO₅, con 184.39 mg/L, en la DQO con 259.66 mg/L, en nitratos con 70.67 mg/L, y en fosfatos con 5.60 mg/L; sin embargo, el tratamiento

mediante lagunas facultativas no está logrando una remoción completa de estos contaminantes, ya que no cumple con la Directiva 003-2010-MINAM "Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales", que establece que la DBO₅ debe ser de 100 mg/L y la DQO de 200 mg/L, y no aplica para nitratos y fosfatos.

Figura 8

Concentración de contaminantes orgánicos en el afluente y efluente de la PTAR de Cabanillas.



Nota: pH: potencial de hidrógeno, OD: oxígeno disuelto, ORP: potencial redox, CE: conductividad eléctrica, DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno, DBO: demanda química de oxígeno, NO₃⁻: nitratos y PO₄³⁻: Fosfatos.

4.1.2. Eficiencia de la de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas.

En la tabla 10, se aprecia la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la PTAR de la ciudad de Cabanillas, indicando que la eficiencia de remoción de la demanda biológica de oxígeno es del 14.22%, de igual forma la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno es del 40.11%, así

también la eficiencia de remoción de los nitratos es de 44.348%, y finalmente la eficiencia de remoción de los fosfatos es de 26.31%.

Tabla 10

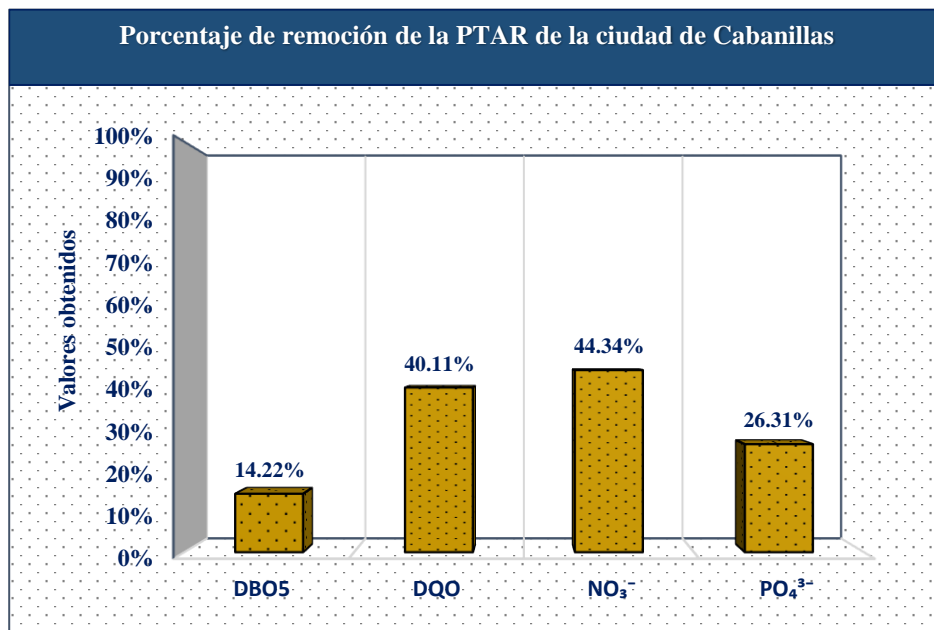
Eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la PTAR Cabanillas.

Parámetro	Unidad	LMP (Efluentes de PTAR)	Concentración de parámetros		Eficiencia de remoción
			Afluente	Efluente	
pH	Unidad	6.5 – 8.5	7.11	7.20	-
OD	mg/L	**	2.35	1.95	-
Potencial redox	mV	**	-73.11	-13.06	-
Conductividad eléctrica	μS/cm	**	395.14	288.85	-
DBO5	mg/L	100	241.96	184.39	14.22%
DQO	mg/L	200	466.99	259.66	40.11%
Nitratos	mg/L	**	126.99	70.67	44.34%
Fosfatos	mg/L	**	7.60	5.60	26.31%

En la figura 9, se aprecia la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la PTAR de la ciudad de Cabanillas, la cual muestra una remoción moderada del 31.50% de los contaminantes orgánicos y nutrientes en el efluente tratado, sin embargo, se observa que presenta limitaciones en la remoción de nutrientes como la DBO₅ y los fosfatos.

Figura 9

Eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos de la PTAR Cabanillas



De acuerdo a los datos obtenidos, la eficiencia de remoción de la planta tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas es moderada; en particular, la remoción de la DBO fue del 14.22% (148.34 mg/L), mientras que la de la DQO alcanzó un 40.11% (259.66 mg/L); además, la remoción de nitratos fue del 44.34% (70.64 mg/L) y la de fosfatos del 26.36% (5.60 mg/L).

En relación con el estudio de Romero (2020), reportó valores mucho más elevados de DBOs de 1,356.1 mg/L y DQO de 2,402.3 mg/L en la PTAR de Quilcas-Huancayo; de manera similar, Gonzales & Quispe (2020) encontraron una DQO de 259 mg/L en el desarenador de EMPA de la ciudad de Huancavelica; por su parte, Vigo (2020) analizó las aguas residuales de Villa Chullunquiani, en Juliaca, registrando una OD inicial de 0.11 mg/L, un pH de 7.15 (nivel medio) y una conductividad eléctrica (CE) de 1,340 μ S/cm (nivel alto), DBOs de 182 mg/L y DQO de 434.8 mg/L; mientras que, Mamani y Chávez (2018) en un estudio



realizado en el campus de la Universidad Peruana Unión – Juliaca, reportaron una DBO₅ de 177 mg/L, sólidos suspendidos totales (SST) de 208 mg/L y coliformes totales (CTT) de 6,766,667 NMP/100 y finalmente, Valdez (2016) caracterizó las aguas residuales de la PTAR de la localidad de Chucuito - Juli, obteniendo un pH de 6.4, sólidos disueltos totales de 0.23 g/L, sólidos suspendidos totales de 100.81 mg/L, OD de 1.30 mg/L, DBO₅ de 163.2 mg/L, DQO de 408 mg/L y nitrógeno amoniacal de 0.03 mg/L.

4.2. REDUCCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE LA DBO₅, DQO, NITRATOS Y FOSFATOS APLICANDO MICROORGANISMOS EFICACES EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CABANILLAS

4.2.1. Tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris* a los dos días de contacto.

En la tabla 11, se observa que, tras dos días de tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris*, las dosis altas (10 ml y 20 ml) mantienen el pH entre 7.33 y 7.27, lo cual está dentro del límite permisible (6.5–8.5), en cuanto al oxígeno disuelto, estos aumentan entre 4.48 y 5.53 mg/L, mientras que el potencial redox se eleva significativamente, alcanzando entre 202.55 y 227.19 mV, lo que favorece las condiciones de oxidación; por otro lado, la conductividad eléctrica disminuye hasta 193.77 μ S/cm; además en relación con los contaminantes orgánicos, la DBO₅ disminuye a 105.68 mg/L con 10 ml y a 84.17 mg/L con 20 ml del microorganismo, lo que supera el límite permisible de 100 mg/L; asimismo, la DQO también muestra una reducción significativa, hasta 162.81 mg/L, aunque

no alcanza el límite de 200 mg/L exigido por la norma; finalmente, los nitratos y fosfatos disminuyen a 41.35 mg/L, y 2.46 mg/L, respectivamente.

Tabla 11

*Reducción de concentraciones orgánicas con *Rhodopseudomonas palustris* a los dos días de contacto.*

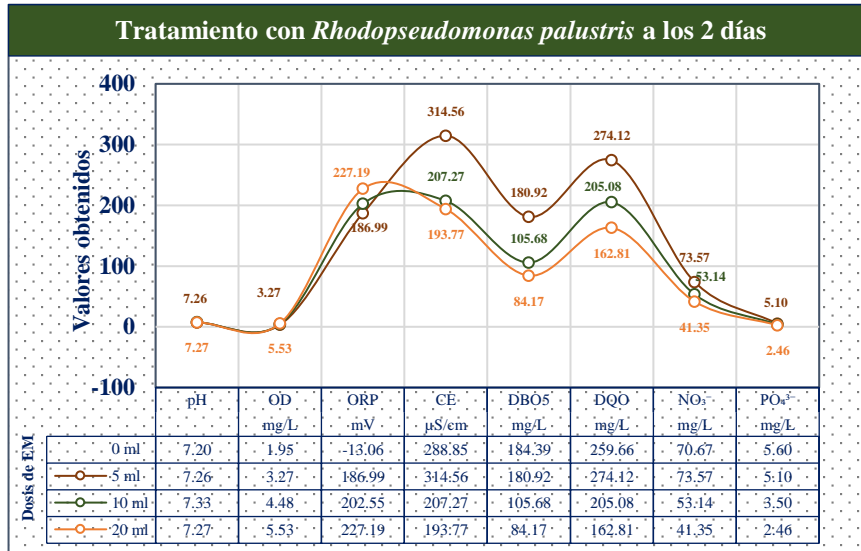
Parámetros	Unidad de medida	TRATAMIENTO 1				
		LMP (Efluentes de PTAR)	Concentración Final			
			0 ml	5 ml	10 ml	20 ml
pH	Unidad	6.5 – 8.5	7.20	7.26	7.33	7.27
OD	mg/L	**	1.95	3.27	4.48	5.53
Potencial redox	mV	**	-13.06	186.99	202.55	227.19
Conductividad eléctrica	μS/cm	**	288.85	314.56	207.27	193.77
DBO5	mg/L	100	184.39	180.92	105.68	84.17
DQO	mg/L	200	259.66	274.12	205.08	162.81
Nitratos	mg/L	**	70.67	73.57	53.14	41.35
Fosfatos	mg/L	**	5.60	5.10	3.50	2.46

Nota: El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el vertimiento de agua residual doméstica.

En la figura 10, se aprecia un descenso en las concentraciones de contaminantes orgánicos a los dos días de contacto, indicando que la dosis de 20 ml de *Rhodopseudomonas palustris* logro mejores resultados; en donde la DBO₅ disminuyó a 84.17 mg/L, la DQO a 162.81 mg/L, los nitratos a 41.35 mg/L y los fosfatos a 2.46 mg/L, estos valores están relacionados con el potencial redox registrado con 227.19 mV, lo que corrobora que las condiciones del agua están cambiando hacia un ambiente más oxidante, lo cual favorece la degradación de la materia orgánica y la remoción de contaminantes por parte de *Rhodopseudomonas palustris*.

Figura 10

Reducción de contaminantes orgánicos con Rhodopseudomonas palustris a los dos días de contacto.



4.2.2. Tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris* a los cuatro días de contacto.

En la tabla 12, se observa que, tras cuatro días de tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris*, las dosis mayores (10 ml y 20 ml) mantienen el pH entre 7.51 y 7.31, lo cual está dentro del límite permisible (6.5–8.5), en cuanto al oxígeno disuelto, estos aumentan entre 6.87 y 7.29 mg/L, mientras que el potencial redox se eleva significativamente, alcanzando entre 258.84 y 263.25 mV, lo que favorece las condiciones de oxidación; por otro lado, la conductividad eléctrica disminuye de 183.66 μS/cm a 173.36 μS/cm; además en relación con los contaminantes orgánicos, la DBO₅ disminuye a 87.27 mg/L con 10 ml y a 61.39 mg/L con 20 ml de concentración del microorganismo, lo que no supera el límite permisible de 100 mg/L exigido por la norma; asimismo, la DQO también muestra

una reducción significativa, de 161.04 mg/L a 127.45 mg/L, inferior al límite de 200 mg/L de la norma; finalmente, los nitratos y fosfatos disminuyen a 40.28 mg/L y 30.38 mg/L, y a 2.66 mg/L y 1.85 mg/L, respectivamente.

Tabla 12

*Reducción de concentraciones orgánicas con *Rhodopseudomonas palustris* a los cuatro días de contacto.*

Parámetros	Unidad de medida	TRATAMIENTO 1				
		LMP (Efluentes de PTAR)	Concentración Final			
			0 ml	5 ml	10 ml	20 ml
pH	Unidad	6.5 – 8.5	7.20	7.43	7.51	7.31
OD	mg/L	**	1.95	3.55	6.87	7.29
Potencial redox	mV	**	-13.06	194.84	258.84	263.25
Conductividad eléctrica	μS/cm	**	288.85	295.55	183.66	173.36
DBO5	mg/L	100	184.39	173.06	87.27	61.39
DQO	mg/L	200	259.66	238.73	161.04	127.45
Nitratos	mg/L	**	70.67	66.91	40.28	30.38
Fosfatos	mg/L	**	5.60	4.83	2.66	1.85

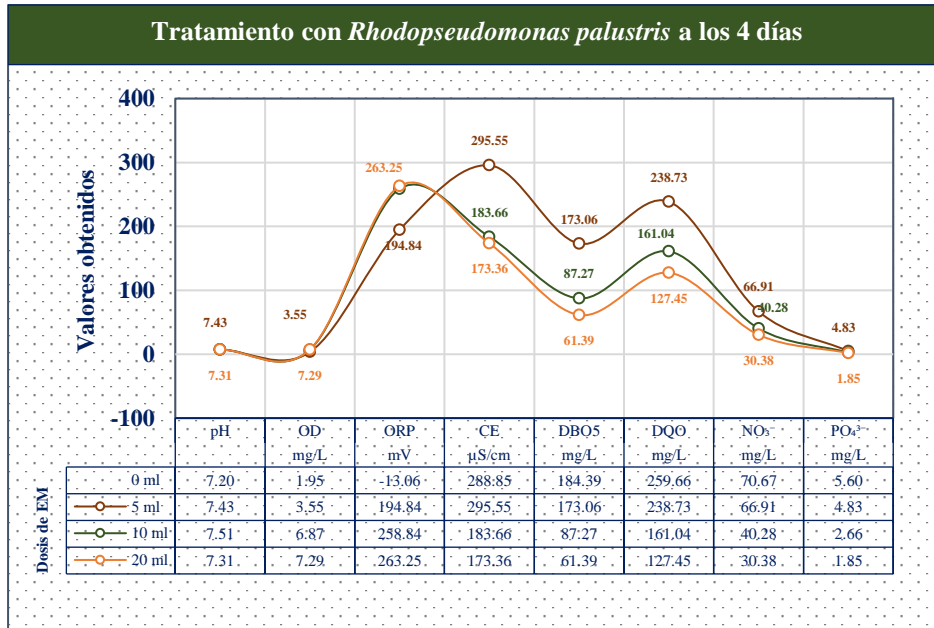
Nota: El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el vertimiento de agua residual doméstica.

En la figura 11, se aprecia un descenso en las concentraciones de contaminantes orgánicos a los cuatro días, donde la dosis de 20 ml de *Rhodopseudomonas palustris* muestra mejores resultados de remoción, en donde la DBO₅ disminuyó a 61.39 mg/L, la DQO a 127.45 mg/L, los nitratos a 30.38 mg/L y los fosfatos a 1.85 mg/L, estos valores están relacionados con el potencial redox registrado con 263.25 mV, lo que corrobora que las condiciones del agua están cambiando hacia un ambiente más oxidante, lo cual favorece la degradación

de la materia orgánica y la remoción de contaminantes por parte de *Rhodopseudomonas palustris*.

Figura 11

Reducción de contaminantes orgánicos con Rhodopseudomonas palustris a los 4 días de contacto.



4.2.3. Tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris* a los seis días de contacto.

En la tabla 13, se observa que, tras 6 días de tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris*, las dosis elevadas (10 ml y 20 ml) mantienen el pH entre 6.89 y 6.61, lo cual está dentro del límite permisible (6.5–8.5), en cuanto al oxígeno disuelto, estos aumentan entre 7.30 y 7.36 mg/L, mientras que el potencial redox se eleva significativamente, alcanzando entre 280.32 y 283.77 mV, lo que favorece las condiciones de oxidación; por otro lado, la conductividad eléctrica disminuye de 162.55 μS/cm a 151.47 μS/cm; además en relación con los contaminantes orgánicos, la DBO₅ disminuye a 72.31 mg/L con 10 ml y a 49.20

mg/L con 20 ml de concentración del microorganismo, lo que dentro del límite permisible de 100 mg/L exigido por la norma; asimismo, la DQO también muestra una reducción significativa, de 150.45 mg/L a 114.36 mg/L, inferior al límite de 200 mg/L exigido por la norma; finalmente, los nitratos y fosfatos disminuyen a 35.50 mg/L y 23.53 mg/L, y a 2.38 mg/L y 1.51 mg/L, respectivamente.

Tabla 13

Reducción de concentraciones orgánicas con Rhodopseudomonas palustris a los seis días de contacto.

Parámetros	Unidad de medida	TRATAMIENTO 1				
		LMP (Efluentes de PTAR)	Concentración Final			
			0 ml	5 ml	10 ml	20 ml
pH	Unidad	6.5 – 8.5	7.20	7.50	6.89	6.61
OD	mg/L	**	1.95	4.06	7.30	7.36
Potencial redox	mV	**	-13.06	215.55	280.32	283.77
Conductividad eléctrica	µS/cm	**	288.85	242.55	162.55	151.47
DBO5	mg/L	100	184.39	162.73	72.31	49.20
DQO	mg/L	200	259.66	218.27	150.45	114.36
Nitratos	mg/L	**	70.67	59.32	35.50	23.53
Fosfatos	mg/L	**	5.60	4.29	2.38	1.51

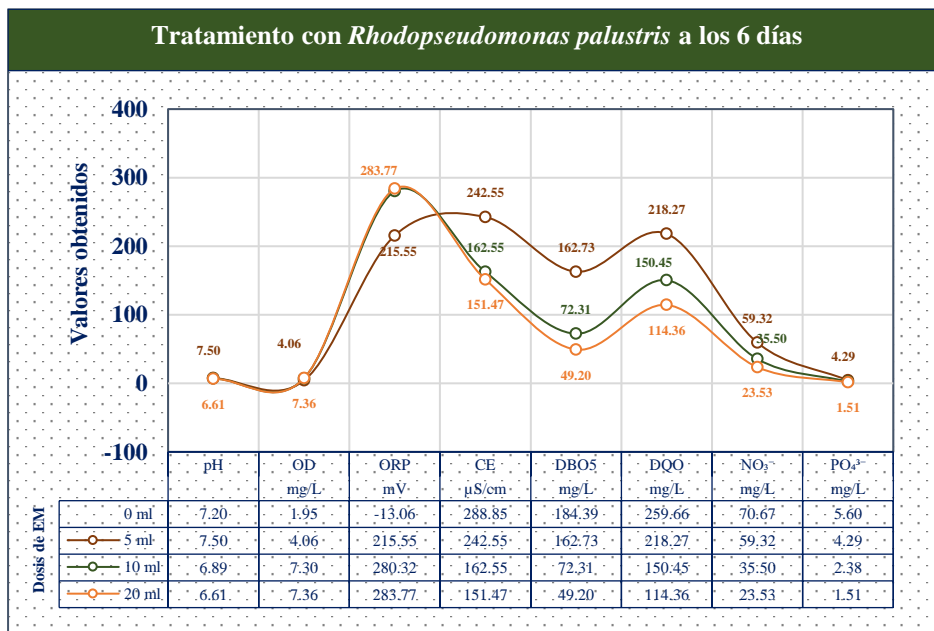
Nota: El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el vertimiento de agua residual doméstica.

En la figura 12, se aprecia un descenso en las concentraciones de contaminantes orgánicos a los seis días, donde la dosis de 20 ml de *Rhodopseudomonas palustris* muestra mejores resultados, donde la DBO₅ disminuyó a 49.20 mg/L, la DQO a 114.36 mg/L, los nitratos a 23.53 mg/L y los fosfatos a 1.51 mg/L, estos valores están relacionados con el potencial redox registrado con 283.77 mV, lo que corrobora que las condiciones del agua están

cambiando hacia un ambiente más oxidante, lo cual favorece la degradación de la materia orgánica y la remoción de contaminantes por parte de *Rhodopseudomonas palustris*.

Figura 12

Reducción de contaminantes orgánicos con *Rhodopseudomonas palustris* a los seis días de contacto.



4.2.4. Tratamiento con *Lactobacillus plantarum* a los dos días de contacto.

En la tabla 14, se observa que, tras dos días de tratamiento con *Lactobacillus plantarum*, las dosis altas (10 ml y 20 ml) mantienen el pH entre 7.48 y 7.40, lo cual está dentro del límite permisible (6.5–8.5), en cuanto al oxígeno disuelto, estos aumentan entre 4.29 y 7.26 mg/L, mientras que el potencial redox se eleva significativamente, alcanzando entre 278.75 y 301.65 mV, lo que favorece las condiciones de oxidación; por otro lado, la conductividad eléctrica disminuye de 191.90 μS/cm a 154.79 μS/cm, además en relación con los

contaminantes orgánicos, la DBO₅ disminuye a 85.07 mg/L con 10 ml y a 48.87 mg/L con 20 ml, encontrándose por debajo del límite permisible de 100 mg/L exigido por la norma; asimismo, la DQO también muestra una reducción significativa, de 151.16 mg/L a 103.68 mg/L, encontrándose por debajo del límite de 200 mg/L exigido por la norma; finalmente, los nitratos y fosfatos disminuyen a 42.97 mg/L y 23.34 mg/L, y a 2.44 mg/L y 1.46 mg/L, respectivamente.

Tabla 14

*Reducción de concentraciones orgánicos con *Lactobacillus plantarum* a los dos días de contacto.*

Parámetros	Unidad de medida	TRATAMIENTO 2				
		LMP (Efluentes de PTAR)	Concentración Final			
			0 ml	5 ml	10 ml	20 ml
pH	Unidad	6.5 – 8.5	7.20	7.26	7.48	7.40
OD	mg/L	**	1.95	3.27	4.29	7.26
Potencial redox	mV	**	-13.06	186.99	278.75	301.65
Conductividad eléctrica	μS/cm	**	288.85	314.56	191.90	154.79
DBO ₅	mg/L	100	184.39	180.92	85.07	48.87
DQO	mg/L	200	259.66	274.12	151.16	103.68
Nitratos	mg/L	**	70.67	73.57	42.97	23.34
Fosfatos	mg/L	**	5.60	5.10	2.44	1.46

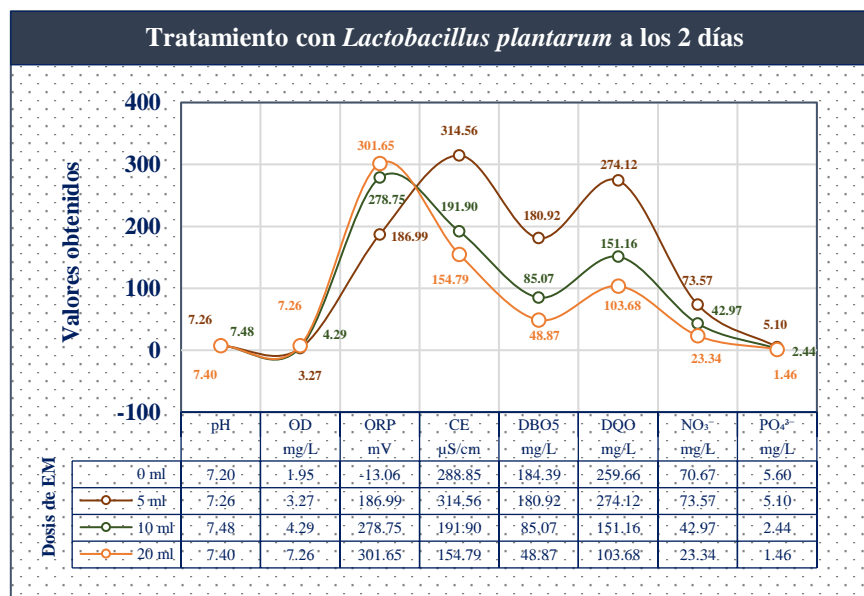
Nota: El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el vertimiento de agua residual doméstica.

En la figura 13, se observa que los mejores resultados en la reducción de contaminantes orgánicos se lograron con la dosis de 20 ml de *Lactobacillus plantarum*, donde la DBO₅ se redujo a 48.87 mg/L, la DQO a 103.68 mg/L, los nitratos a 23.34 mg/L y los fosfatos a 1.46 mg/L; además, el aumento en la concentración de oxígeno disuelto a 7.26 mg/L sugiere que el ambiente se volvió

más aeróbico, lo que favorece la oxidación de la materia orgánica, este cambio se refleja en un potencial redox de 301.61 mV, lo que indica que el ambiente se está tornando más oxidante, favoreciendo la nitrificación de los nitritos y la asimilación de fosfatos por parte de *Lactobacillus plantarum*.

Figura 13

Reducción de contaminantes orgánicos con Lactobacillus plantarum a los dos días de contacto.



4.2.5. Tratamiento con *Lactobacillus plantarum* a los cuatro días de contacto.

En la tabla 15, se observa que, tras cuatro días de tratamiento con *Lactobacillus plantarum*, las dosis altas (10 ml y 20 ml) mantienen el pH entre 7.42 y 7.43, lo cual está dentro del límite permisible (6.5–8.5), en cuanto al oxígeno disuelto, estos aumentan entre 7.60 y 8.22 mg/L, mientras que el potencial redox se eleva significativamente, alcanzando entre 302.29 y 316.60 mV, lo que favorece las condiciones de oxidación; por otro lado, la conductividad eléctrica disminuye de 153.11 μS/cm a 118.35 μS/cm, además en relación con los

contaminantes orgánicos, la DBO₅ disminuye a 50.38 mg/L con 10 ml y a 20.50 mg/L con 20 ml de concentración del microorganismo, lo indica que está dentro del límite permisible de 100 mg/L exigido por la norma; asimismo, la DQO también muestra una reducción significativa, de 62.69 mg/L con 10 ml. y 40.97 mg/L con 20 ml de concentración, inferior al límite de 200 mg/L exigido por la norma; finalmente, los nitratos y fosfatos disminuyen a 21.48 mg/L y 17.16 mg/L, y a 1.58 mg/L y 1.14 mg/L, respectivamente.

Tabla 15

*Reducción de concentraciones orgánicas con *Lactobacillus plantarum* a los cuatro días de contacto.*

Parámetros	Unidad de medida	TRATAMIENTO 2				
		LMP (Efluentes de PTAR)	Concentración Final			
			0 ml	5 ml	10 ml	20 ml
pH	Unidad	6.5 – 8.5	7.20	7.43	7.42	7.40
OD	mg/L	**	1.95	3.55	7.60	8.22
Potencial redox	mV	**	-13.06	194.84	302.29	316.60
Conductividad eléctrica	μS/cm	**	288.85	295.55	153.11	118.35
DBO ₅	mg/L	100	184.39	173.06	50.38	20.50
DQO	mg/L	200	259.66	238.73	62.69	40.97
Nitratos	mg/L	**	70.67	66.91	21.48	17.16
Fosfatos	mg/L	**	5.60	4.83	1.58	1.14

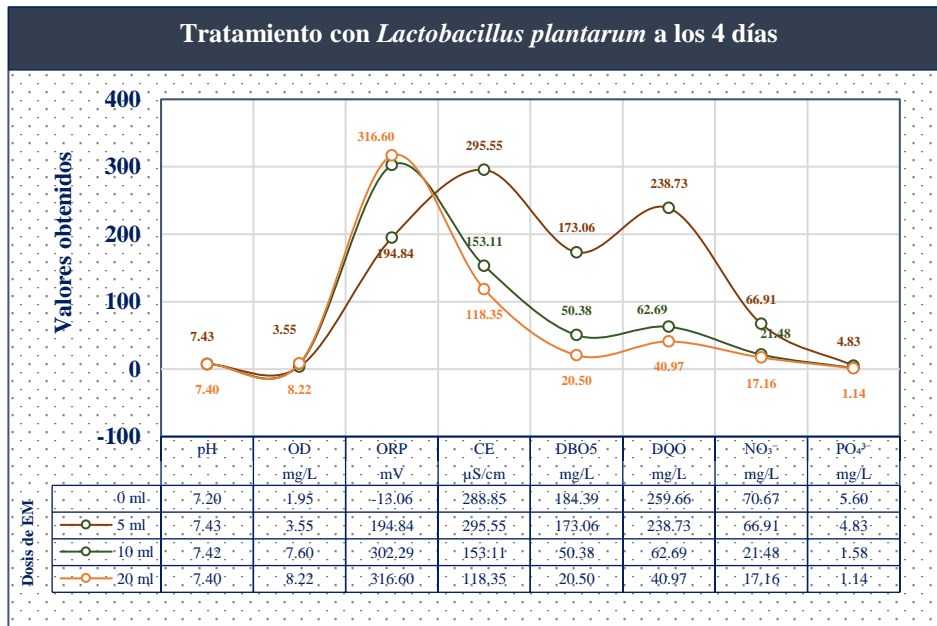
Nota: El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el vertimiento de agua residual doméstica.

En la figura 14, se observa que los mejores resultados en la reducción de contaminantes orgánicos se lograron con la dosis de 20 ml de *Lactobacillus plantarum*, donde la DBO₅ se redujo a 20.50 mg/L, la DQO a 40.97 mg/L, los nitratos a 17.16 mg/L y los fosfatos a 1.14 mg/L y el oxígeno disuelto a 8.22 mg/L

lo que sugiere que el ambiente se volvió más aeróbico, lo que favorece la oxidación de la materia orgánica, este cambio se refleja en un potencial redox de 316.60 mV, lo que indica que el ambiente se está tornando más oxidante, favoreciendo la nitrificación de los nitritos y la asimilación de fosatos por parte de *Lactobacillus plantarum*.

Figura 14

Reducción de contaminantes orgánicos con Lactobacillus plantarum a los cuatro días de contacto.



4.2.6. Tratamiento con *Lactobacillus plantarum* a los seis días de contacto.

En la tabla 16, se observa que, tras seis días de tratamiento con *Lactobacillus plantarum*, las dosis altas (10 ml y 20 ml) mantienen el pH entre 7.28 y 7.18, lo cual está dentro del límite permisible (6.5–8.5), en cuanto al oxígeno disuelto, estos aumentan entre 7.86 y 8.33 mg/L, mientras que el potencial redox se eleva significativamente, alcanzando entre 305.51 y 319.24 mV, lo que favorece las condiciones de oxidación; por otro lado, la conductividad eléctrica

disminuye de 133.40 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 95.17 $\mu\text{S}/\text{cm}$, además en relación con los contaminantes orgánicos, la DBO₅ disminuye a 41.86 mg/L con 10 ml y a 19.25 mg/L con 20 ml, encontrándose por debajo del límite permisible de 100 mg/L exigido por la norma; asimismo, la DQO también muestra una reducción significativa, de 51.87 mg/L a 37.82 mg/L, encontrándose por debajo del límite de 200 mg/L exigido por la norma; finalmente, los nitratos y fosfatos disminuyen a 19.22 mg/L y 15.34 mg/L, y a 1.28 mg/L y 1.05 mg/L, respectivamente.

Tabla 16

*Reducción de concentraciones orgánicos con *Lactobacillus plantarum* a los seis días de contacto.*

Parámetros	Unidad de medida	TRATAMIENTO 2				
		LMP (Efluentes de PTAR)	Concentración Final			
			0 ml	5 ml	10 ml	20 ml
pH	Unidad	6.5 – 8.5	7.20	7.50	7.28	7.18
OD	mg/L	**	1.95	4.06	7.86	8.33
Potencial redox	mV	**	-13.06	215.55	305.51	319.24
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S}/\text{cm}$	**	288.85	242.55	133.40	95.17
DBO ₅	mg/L	100	184.39	162.73	41.86	19.25
DQO	mg/L	200	259.66	218.27	51.87	37.82
Nitratos	mg/L	**	70.67	59.32	19.22	15.34
Fosfatos	mg/L	**	5.60	4.29	1.28	1.05

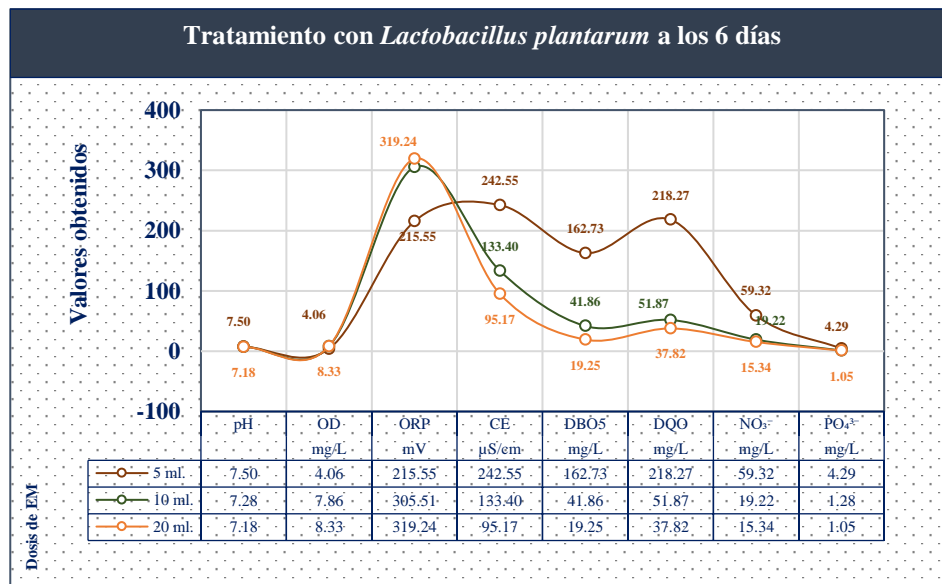
Nota: El símbolo ** dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el vertimiento de agua residual doméstica.

En la figura 15, se observa que los mejores resultados en la reducción de contaminantes orgánicos se lograron con la dosis de 20 ml de *Lactobacillus plantarum*, donde la DBO₅ se redujo a 19.25 mg/L, la DQO a 37.82 mg/L, los nitratos a 15.34 mg/L y los fosfatos a 1.05 mg/L; además, el aumento en la

concentración de oxígeno disuelto a 8.33mg/L sugiere que el ambiente se volvió más aeróbico, lo que favorece la oxidación de la materia orgánica, este cambio se refleja en un potencial redox de 319.24 mV, lo que indica que el ambiente se está tornando más oxidante, favoreciendo la nitrificación de los nitritos y la asimilación de fosfatos por parte de *Lactobacillus plantarum*.

Figura 15

Reducción de contaminantes orgánicos con Lactobacillus plantarum a los seis días de contacto.



Al comparar los resultados obtenidos con estudios previos realizados en otras localidades del país, se observan similitudes tanto en la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos como en la aplicación de diversas dosis de microorganismos eficaces y tiempos de retención hidráulica, factores que influyen directamente en los resultados del tratamiento.

En relación con el estudio de Acuña (2022), determino que la dosis de 20 ml de microorganismos eficaces con un tiempo de retención hidráulica de 33 días



se logró la disminución de la DBO con 83.2167 mg/L, DQO con 108.193 mg/L y STS con 110.896 mg/L; por su parte Gonzales & Quispe (2020), en el primer mes de tratamiento, reportaron que los buques N° 02 y 03 presentaron mayor disminución de la DQO con un 86.55 mg/L y un 86.05 mg/L, respectivamente; en el caso de Mamani y Chávez (2018), el sistema aeróbico con dosis de 4 L de microorganismos eficaces con un tiempo de retención hidráulica de 15 días logró reducir a 39 mg/L de DBO, 56 mg/L de SST, 1.027×10^3 NMP/mL de coliformes termotolerantes y finalmente Valdez (2016), observó una reducción significativa de las bacterias patógenas en todos los tratamientos, destacando que el tratamiento con una dosis del 2% de microorganismos eficaces alcanzó una reducción de la de DBO de 117.3 mg/L y una DQO de 293.00 mg/L; Así mismo Ortiz et al. (2021), evidencio en su estudio el potencial biotecnológico de estos consorcios microbianos en el tratamiento de efluentes domésticos; confirmando que los EM contribuyen significativamente a la reducción de parámetros contaminantes clave como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), y la concentración de sólidos suspendidos totales (SST), entre otros, lo cual se alinea con estudios previos que señalan la efectividad de estas comunidades microbianas en la biodegradación de materia orgánica compleja. Uno de los hallazgos más relevantes es la eficiencia con la que los microorganismos logran adaptarse a distintos entornos residuales, lo cual sugiere una versatilidad notable frente a las fluctuaciones propias de las aguas residuales urbanas (variaciones en el pH, temperatura, carga orgánica y composición química). Este aspecto es fundamental, ya que en muchas plantas de tratamiento tradicionales se observan limitaciones operativas ante dichos cambios.



Asi mismo según Ortiz et al. (2021), respalda la búsqueda de tecnologías sostenibles y biológicas que mejoren la eficiencia de los procesos de depuración. El uso de microorganismos eficientes (EM) ha demostrado ser una alternativa viable y de bajo costo frente a los métodos tradicionales, debido a su capacidad para degradar materia orgánica y reducir nutrientes mediante procesos naturales, minimizando la generación de subproductos nocivos. Además, los resultados del estudio presentan un impacto directo en la salud de la población y en la conservación de los ecosistemas acuáticos, ofreciendo información valiosa para la toma de decisiones de autoridades locales y operadores de plantas. Asimismo, fomentará la generación de conocimiento científico aplicado en el ámbito de la ingeniería sanitaria y la gestión ambiental, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente el ODS 6: *Agua limpia y saneamiento*.

De igual forma Carreño et al. (2020), indica que tambien los microorganismos eficientes (EM) y la filtración con zeolita, sirve para mejorar significativamente la calidad del agua. Estos métodos han mostrado resultados prometedores en la eliminación de contaminantes, favoreciendo la recuperación de los cuerpos de agua y ofreciendo una alternativa de bajo costo y de fácil implementación en contextos similares al de Cabanillas.

De igual forma con respecto a Cardona & Garcia (2018), al comparar los resultados con el presente estudio, se observa una correlación favorable, especialmente en la reducción de microorganismos orgánicos y patógenos y la mejora de indicadores de calidad como el pH, la turbidez y la presencia de nutrientes esenciales; sin embargo, se identifican ciertas variaciones que podrían estar relacionadas con factores externos, tales como la temperatura, el tiempo de



aplicación y la concentración de EM utilizados; esto sugiere que, aunque los EM representan una alternativa sostenible, su eficacia depende de una adecuada estandarización de los procesos.

Asimismo, el uso de EM constituye una opción ecológica que contribuye a disminuir la dependencia de productos químicos y a mitigar los impactos ambientales negativos; no obstante, es necesario continuar investigando para evaluar su efectividad en diferentes contextos y escalas, así como para establecer lineamientos que garanticen la reproducibilidad y sostenibilidad de los resultados obtenidos. En conjunto, este estudio reafirma el potencial de los EM como herramienta biotecnológica, pero resalta la importancia de realizar investigaciones complementarias que fortalezcan la evidencia científica sobre su uso.

A nivel ambiental, la aplicación de esta biotecnología se muestra prometedora para contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular el ODS 6 (Agua limpia y saneamiento), al ofrecer una solución ecoamigable para la descontaminación de cuerpos hídricos urbanos.

Finalmente, cabe destacar que, si bien los resultados son alentadores, es necesario continuar con investigaciones a mayor escala, incluyendo estudios piloto en plantas de tratamiento reales, con el fin de validar la sostenibilidad de esta tecnología en contextos urbanos diversos. También se recomienda analizar su comportamiento frente a otros tipos de contaminantes, como metales pesados o compuestos farmacéuticos emergentes.

4.3. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LA DBO₅, DQO, NITRATOS Y FOSFATOS EMPLEANDO MICROORGANISMOS EFICACES EN LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CABANILLAS



4.3.1. Porcentaje de remoción la DBO₅, DQO, nitratos y fosfatos a los dos días de contacto con *Rhodopseudomonas palustris*.

En la tabla 17 y la figura 16, se precisa los porcentajes de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno a lo largo de los 6 días de tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris*. En el día 2, la dosis de 20 ml alcanzó la mejor remoción con un 54%, seguida de la dosis de 10 ml con 43% y la dosis más baja de 5 ml con solo 2%; en el día 4, la dosis de 20 ml nuevamente mostró el mejor resultado con 67%, mientras que la dosis de 10 ml alcanzó 53% y la de 5 ml solo 6% y finalmente, en el día 6, la remoción más alta se dio con 20 ml, alcanzando un 73%, destacándose como la dosis más efectiva a largo plazo, seguida de 10 ml con 61% y 5 ml con 12%.

Tabla 17

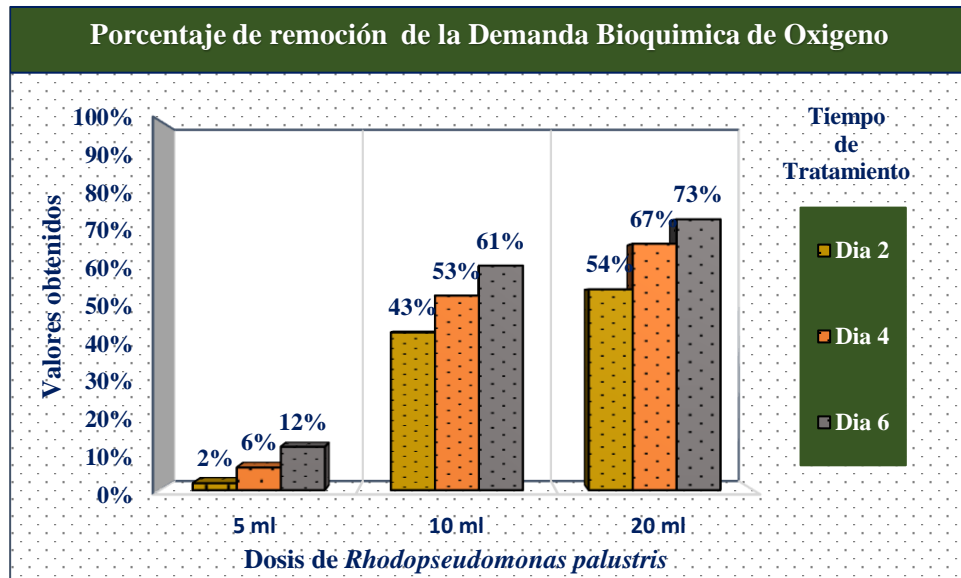
*Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con *Rhodopseudomonas palustris*.*

Dosis de <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Tiempo de tratamiento 1		
	Día 2	Día 4	Día 6
5 ml	2%	6%	12%
10 ml	43%	53%	61%
20 ml	54%	67%	73%

Nota: La abreviatura ml dentro de la tabla significa mililitros.

Figura 16

*Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con
Rhodopseudomonas palustris.*



En la tabla 18 y la figura 17, se precisa los porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno a lo largo de los 6 días de tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris*. En el día 2, la dosis de 5 ml muestra un 18%, la de 10 ml un 8% y la de 20 ml un 16%; mientras que, en el día 4 la remoción mejora significativamente con el paso del tiempo la dosis de 20 ml alcanza un 42%, seguida de la dosis de 10 ml con un 38% y la de 5 ml con 21%; finalmente en el día 6, la dosis de 20 ml de *Rhodopseudomonas palustris* muestra la mejor remoción de Demanda química de oxígeno en todos los días de tratamiento, alcanzando un 56%, seguida de 10 ml con 51% y 5 ml con 37%.

Tabla 18

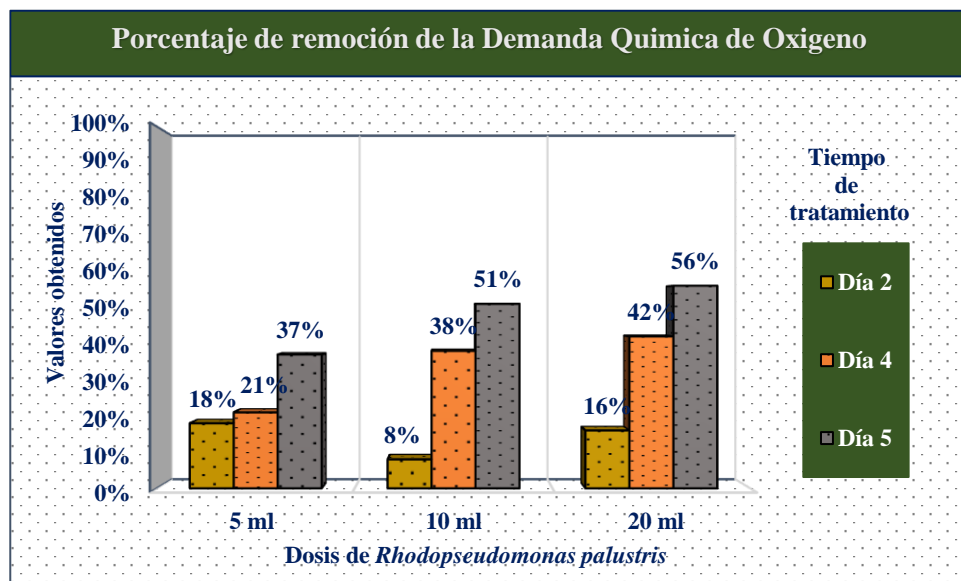
*Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con
Rhodopseudomonas palustris.*

Dosis de <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Tiempo de tratamiento 1		
	Día 2	Día 4	Día 6
5 ml	18%	21%	37%
10 ml	8%	38%	51%
20 ml	16%	42%	56%

Nota: La abreviatura ml dentro de la tabla significa mililitros.

Figura 17

*Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con
Rhodopseudomonas palustris.*



En la tabla 19 y la figura 18, se precisa los porcentajes de remoción de los nitratos lo largo de los 6 días de tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris*. En el día 2, la dosis de 5 ml muestra un 4%, la de 10 ml un 5% y la de 20 ml un 16%; mientras que, en el día 4 la remoción mejora considerablemente con el paso del

tiempo la dosis de 20 ml alcanza un 50%, seguida de la dosis de 10 ml con un 43% y la de 5 ml con 25%; finalmente en el día 6, la dosis de 20 ml de *Rhodopseudomonas palustris* muestra la mejor remoción de nitratos en todos los días de tratamiento, alcanzando un 67%, seguida de 10 ml con 57% y 5 ml con 41%.

Tabla 19

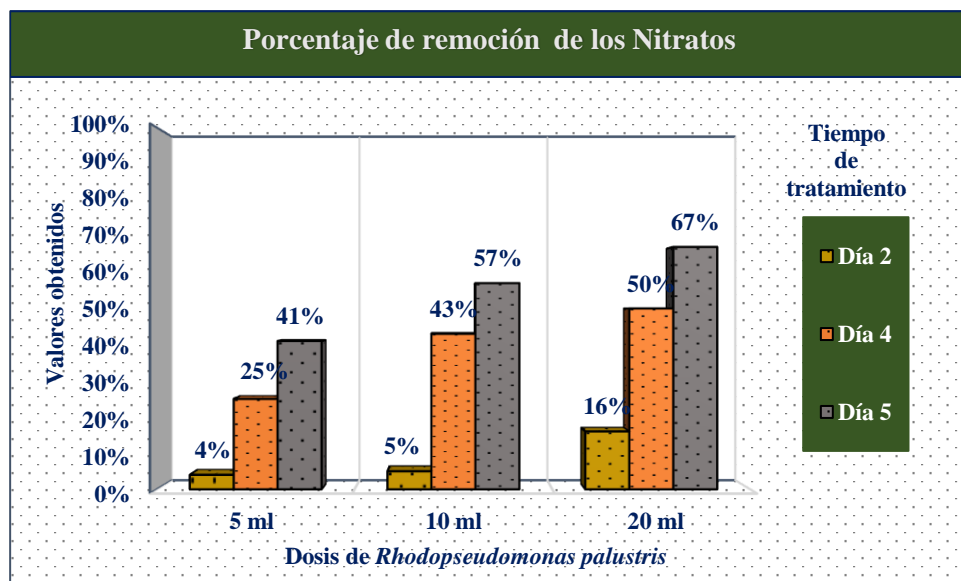
Porcentaje de remoción de los Nitratos con Rhodopseudomonas palustris

Dosis de <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Tiempo de tratamiento 1		
	Día 2	Día 4	Día 6
5 ml	4%	25%	41%
10 ml	5%	43%	57%
20 ml	16%	50%	67%

Nota: La abreviatura ml dentro de la tabla significa mililitros.

Figura 18

Porcentaje de remoción de los Nitratos con Rhodopseudomonas palustris.





En la tabla 20 y la figura 19, se precisa los porcentajes de remoción de los fosfatos lo largo de los 6 días de tratamiento con *Rhodopseudomonas palustris*. En el día 2, la dosis de 5 ml muestra un 9%, la de 10 ml un 14% y la de 20 ml un 23%; mientras que, en el día 4 la remoción mejora considerablemente con el paso del tiempo la dosis de 20 ml alcanza un 57%, seguida de la dosis de 10 ml con un 53% y la de 5 ml con 37%; finalmente en el día 6, la dosis de 20 ml de *Rhodopseudomonas palustris* muestra la mejor remoción de fosfatos en todos los días de tratamiento, alcanzando un 73%, seguida de 10 ml con 67% y 5 ml con 41%.

Tabla 20

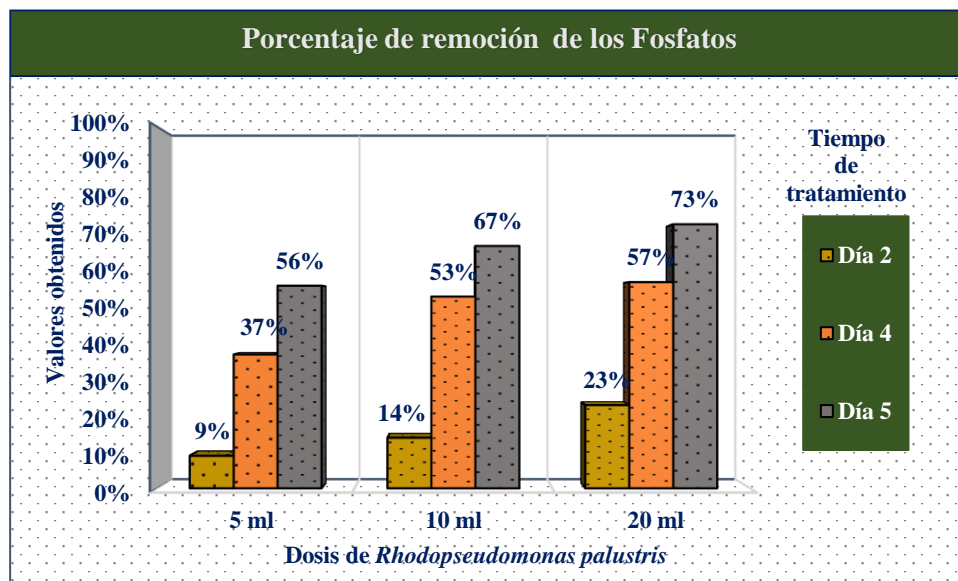
Porcentaje de remoción del Fosfatos con Rhodopseudomonas palustris.

Dosis de <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	Tiempo de tratamiento 1		
	Día 2	Día 4	Día 6
5 ml	9%	37%	56%
10 ml	14%	53%	67%
20 ml	23%	57%	73%

Nota: La abreviatura ml dentro de la tabla significa mililitros.

Figura 19

Porcentaje de remoción del Fosfatos con Rhodopseudomonas palustris.



4.3.2. Porcentaje de remoción la DBO5, DQO, nitratos y fosfatos a los dos días de contacto con *Lactobacillus plantarum*.

En la tabla 21 y la figura 20, se precisa los porcentajes de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno a lo largo de los 6 días de tratamiento con *Lactobacillus plantarum*. En el día 2, la dosis de 20 ml alcanzó la mejor remoción con un 12%, seguida de la dosis de 10 ml con 6% y la dosis más baja de 5 ml con solo 2%; en el día 4, la dosis de 20 ml nuevamente mostró el mejor resultado con 77%, mientras que la dosis de 10 ml alcanzó 73% y la de 5 ml solo 54% y finalmente, en el día 6, la remoción más alta se dio con 20 ml, alcanzando un 90%, destacándose como la dosis más efectiva a largo plazo, seguida de 10 ml con 89% y 5 ml con 73%.

Tabla 21

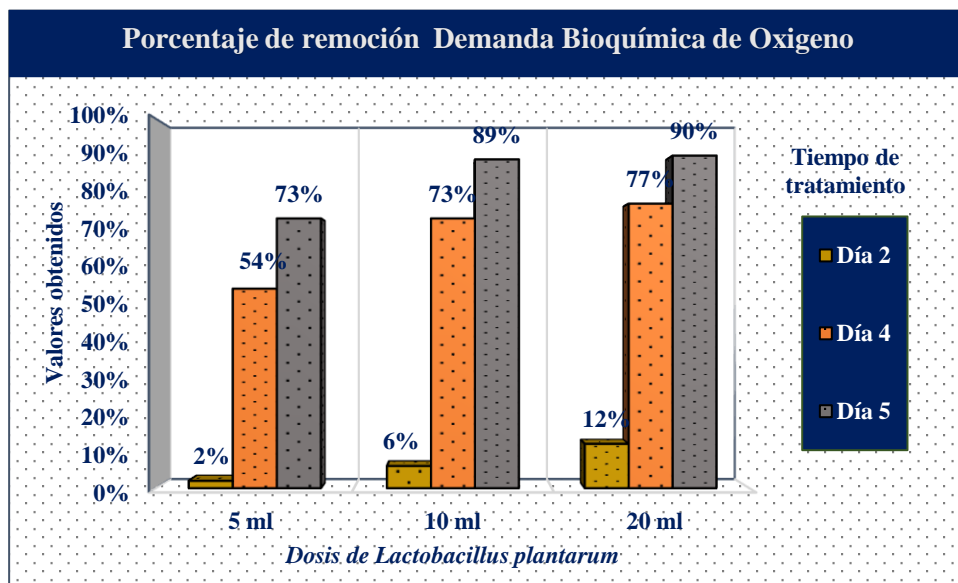
Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con *Lactobacillus plantarum*.

Dosis de <i>Lactobacillus plantarum</i>	Tiempo de tratamiento 2		
	Día 2	Día 4	Día 6
5 ml	2%	54%	73%
10 ml	6%	73%	89%
20 ml	12%	77%	90%

Nota: La abreviatura ml dentro de la tabla significa mililitros.

Figura 20

Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno con *Lactobacillus plantarum*.



En la tabla 22 y la figura 21, se precisa los porcentajes de remoción de la demanda química de oxígeno a lo largo de los 6 días de tratamiento con *Lactobacillus plantarum*. En el día 2, la dosis de 5 ml muestra un 6%, la de 10 ml un 8% y la de 20 ml un 16%; mientras que, en el día 4 la remoción mejora considerablemente con el paso del tiempo la dosis de 20 ml alcanza un 80%, seguida de la dosis de 10 ml con un 76% y la de 5 ml con 42%; finalmente en el

dia 6, la dosis de 20 ml de *Lactobacillus plantarum* muestra la mejor remoción de demanda química de oxígeno en todos los días de tratamiento, alcanzando un 85%, seguida de 10 ml con 84% y 5 ml con 60%.

Tabla 22

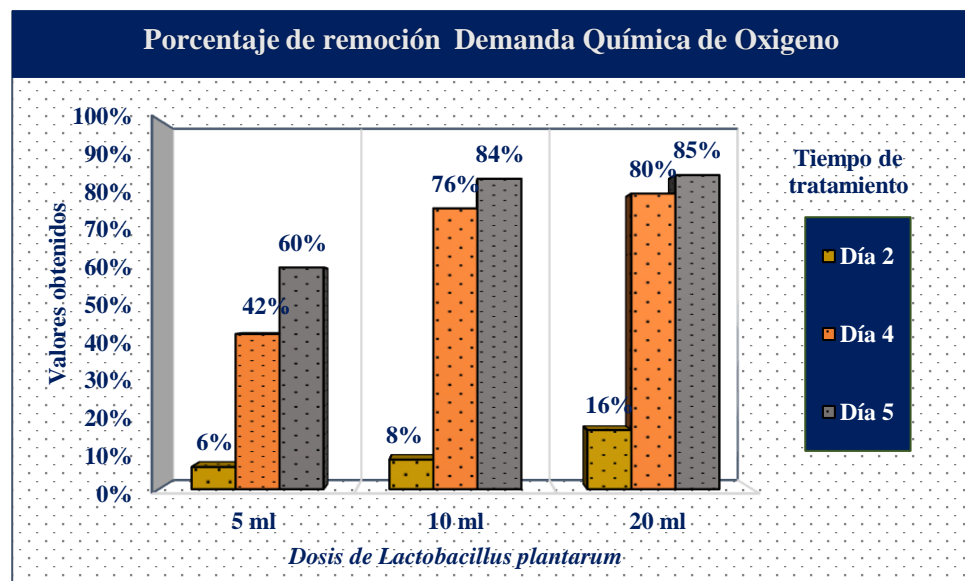
Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con Lactobacillus plantarum.

Dosis de <i>Lactobacillus plantarum</i>	Tiempo de tratamiento 2		
	Día 2	Día 4	Día 6
5 ml	6%	42%	60%
10 ml	8%	76%	84%
20 ml	16%	80%	85%

Nota: La abreviatura ml dentro de la tabla significa mililitros.

Figura 21

Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno con Lactobacillus plantarum.





En la tabla 23 y la figura 22, se precisa los porcentajes de remoción de los nitratos lo largo de los 6 días de tratamiento con *Lactobacillus plantarum*. En el día 2, la dosis de 5 ml muestra un 2%, la de 10 ml un 5% y la de 20 ml un 16%; mientras que, en el día 4 la remoción mejora significativamente con el paso del tiempo la dosis de 20 ml alcanza un 73%, seguida de la dosis de 10 ml con un 70% y la de 5 ml con 39%; finalmente en el día 6, la dosis de 20 ml de *Lactobacillus plantarum* muestra la mejor remoción de los nitratos en todos los días de tratamiento, alcanzando un 78%, seguida de 10 ml con 76% y 5 ml con 67%.

Tabla 23

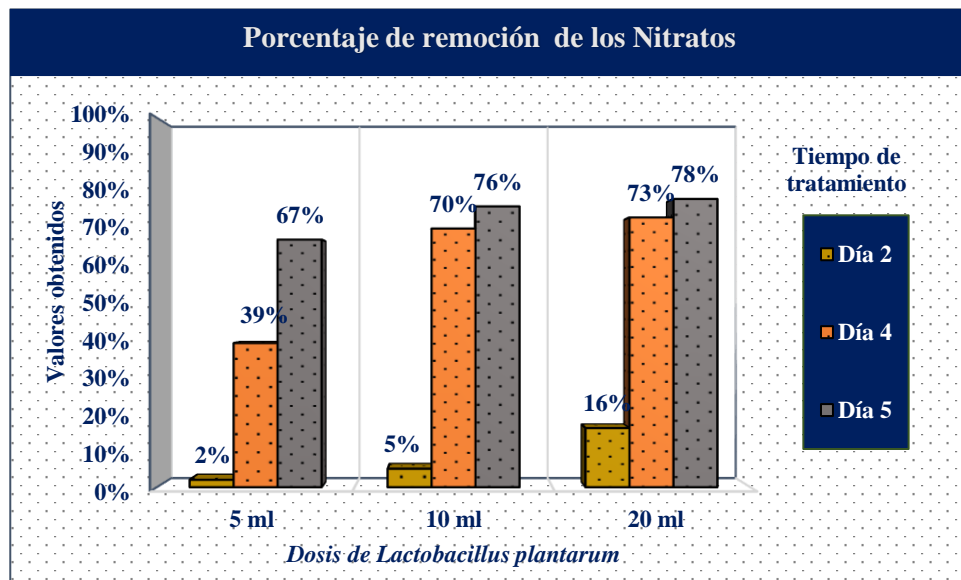
Porcentaje de remoción de los nitratos con Lactobacillus plantarum.

Dosis de <i>Lactobacillus plantarum</i>	Tiempo de tratamiento 2		
	Día 2	Día 4	Día 6
5 ml	2%	39%	67%
10 ml	5%	70%	76%
20 ml	16%	73%	78%

Nota: La abreviatura ml dentro de la tabla significa mililitros.

Figura 22

Porcentaje de remoción de los nitratos con Lactobacillus plantarum.



En la tabla 24 y la figura 23, se precisa los porcentajes de remoción de los fosfatos lo largo de los 6 días de tratamiento con *Lactobacillus plantarum*. En el día 2, la dosis de 5 ml muestra un 9%, la de 10 ml un 14% y la de 20 ml un 23%; mientras que, en el día 4 la remoción mejora significativamente con el paso del tiempo la dosis de 20 ml alcanza un 77%, seguida de la dosis de 10 ml con un 72% y la de 5 ml con 56%; finalmente en el día 6, la dosis de 20 ml de *Lactobacillus plantarum* muestra la mejor remoción de los fosfatos en todos los días de tratamiento, alcanzando un 81%, seguida de 10 ml con 80% y 5 ml con 74%.

Tabla 24

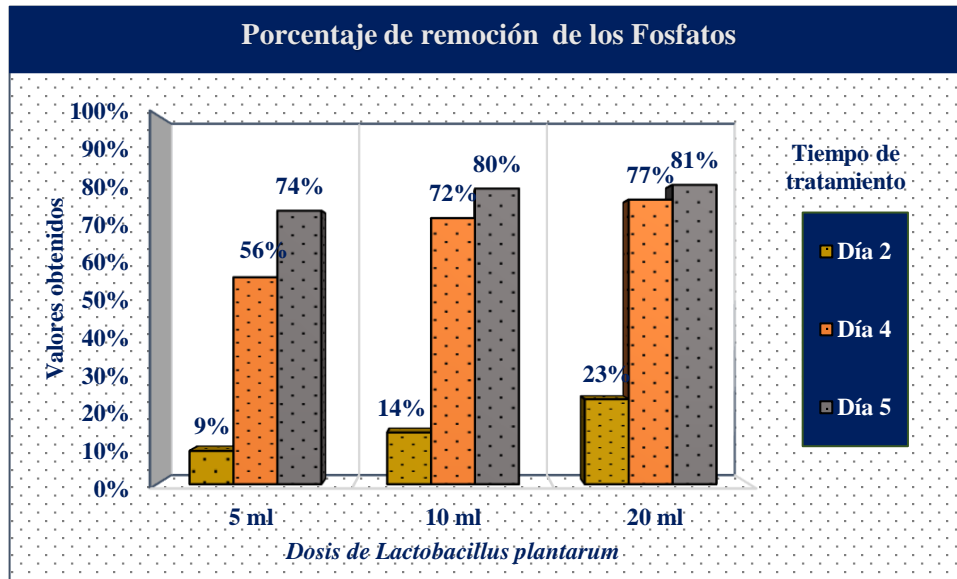
Porcentaje de remoción de los fosfatos con Lactobacillus plantarum.

Dosis de <i>Lactobacillus plantarum</i>	Tiempo de tratamiento 2		
	Día 2	Día 4	Día 6
5 ml	9%	56%	74%
10 ml	14%	72%	80%
20 ml	23%	77%	81%

Nota: La abreviatura ml dentro de la tabla significa mililitros.

Figura 23

*Porcentaje de remoción de los fosfatos con *Lactobacillus plantarum*.*



Según los resultados al aplicar 20 ml de microorganismos *Lactobacillus plantarum* en un tiempo de retención hidráulica de 6 días, se obtuvo una remoción mucho más eficiente; en este caso, se alcanzó un 90% de remoción de la DBO₅ (19.25 mg/L), un 85% de la DQO (37.82 mg/L), un 78% de nitratos (15.34 mg/L) y un 81% de fosfatos (1.05 mg/L). De acuerdo con los análisis estadísticos confirman la eficacia del tratamiento, con un p-valor de 0.019 ($p < 0.05$) en la prueba de correlación, lo que indica una relación significativa entre el tratamiento y la reducción de contaminantes; además, la prueba de diferencia de medias relacionadas mostró un p-valor de 0.001 ($p < 0.05$), respaldando la efectividad en la reducción de DBO, DQO, nitratos y fosfatos.

En relación con el estudio de Acuña (2022), se logró una remoción del 66.88% de la DBO₅, y del 65.52% para la DQO, con un tiempo de retención hidráulica de 33 días y una dosis de 20 ml.; por su parte, mientras que, Gonzales & Quispe (2020), en el primer mes de tratamiento, reportaron que los buques N°



02 y 03 presentaron las mayores eficiencias medias de eliminación de la DQO, con un 44.75% y un 39.95%, respectivamente; en el caso de Mamani y Chávez (2018), el sistema aeróbico con dosis de 4 L. de microorganismos eficaces logró remover el 78% de DBO, 73% de SST, 99.98% de CTT y finalmente Valdez (2016), observó una reducción significativa de las bacterias patógenas en todos los tratamientos, destacando que el tratamiento con una dosis del 2% de microorganismos eficaces alcanzó una tasa de remoción del 80.75% en los parámetros de DBO y DQO.; además Ortiz et al. (2021), indican que los porcentajes de eficiencia para la cepa 01 - jardín fueron 13,33%, 67,96% y 54,62%, respectivamente, y para la cepa 01 - Pululahua, fueron 9,33%, 69,15%, 62,52% y 48,14% para los mismos parámetros indicando que estos microbios Gram-positivos pueden ser capaces de biodegradación; de igual forma con respecto a Murillo (2018), se observó que el tratamiento dos con concentraciones de 0,02 mg/L de microorganismos eficientes (*Rhodopseudomonaspalustris*, *Lactobacilluscasei*, *Saccharomycescerevisiae*); provocaba una mayor disminución de la concentración de DBO5 (61%), DQO (78%) y sólidos totales (73%).

Finalmente, Carreño et al. (2020), se centró exclusivamente en la purificación de contaminantes orgánicos en aguas residuales urbanas, coincidiendo en la utilización de los EM como una estrategia de bajo costo, sustentable y adaptable a diversos contextos hídricos. La evidencia obtenida en el caso del río Carrizal demuestra que los EM tienen un papel activo en la descomposición de materia orgánica y en la regulación del equilibrio microbiológico del agua, lo que permite inferir que su uso en aguas residuales urbanas no solo es viable, sino también prometedor.



Adicionalmente, en la investigación del Carrizal se destaca el efecto combinado de los EM con un sistema de filtración (zeolita), que potencia los efectos depurativos mediante la adsorción de compuestos físicos y químicos. Aunque en nuestro estudio no se incorpora un medio filtrante adicional, los resultados obtenidos sugieren que la sinergia entre biotecnología microbiana y tecnología física podría representar una vía de optimización futura para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas urbanas, especialmente frente a contaminantes de mayor persistencia o complejidad estructural.

Sin embargo, también es importante considerar las diferencias contextuales entre ambos estudios. El agua del río Carrizal, aunque sujeta a contaminación, presenta una carga orgánica menor y más estable en comparación con las aguas residuales urbanas, que contienen mezclas más densas y variables de residuos domésticos, industriales y biológicos. Esto implica que la eficacia de los EM puede variar, siendo necesaria una adaptación de las cepas microbianas y una evaluación técnica más rigurosa sobre el tiempo de contacto, la temperatura y otros factores ambientales que afectan la actividad biológica.

Además, con respecto a Bejarano & Mauricio (2015), evidencian que la aplicación de microorganismos eficaces (EM) es una alternativa efectiva y sostenible para mejorar la calidad del agua residual doméstica antes de su vertimiento al medio ambiente; se observó una disminución significativa en parámetros clave de contaminación, como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), los sólidos suspendidos totales (SST) y la presencia de microorganismos patógenos; estos hallazgos coinciden con investigaciones previas que destacan la capacidad de los EM para acelerar la



degradación de la materia orgánica mediante procesos biológicos, promoviendo un equilibrio microbiano favorable en el tratamiento del agua.

Al comparar estos resultados con el presente estudio, se confirma que los EM no solo contribuyen a la reducción de contaminantes, sino que también mejoran la eficiencia de los sistemas convencionales de depuración, reduciendo la necesidad de productos químicos y el consumo energético; sin embargo, se identificó que la efectividad del tratamiento depende de factores como la concentración inicial de contaminantes, el tiempo de retención hidráulica y la dosificación adecuada de los EM, lo que resalta la importancia de establecer parámetros estandarizados para su aplicación.

Además, el uso de EM representa una estrategia ecológica y económica, que facilita la implementación de tecnologías limpias en comunidades que carecen de sistemas de tratamiento avanzados; no obstante, es necesario realizar investigaciones a mayor escala para evaluar su rendimiento a largo plazo y la posibilidad de integrarlos en programas de gestión integral del agua; en conjunto, este estudio reafirma que la incorporación de microorganismos eficaces en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas puede contribuir de manera significativa a la sostenibilidad ambiental y a la protección de la salud pública.

4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Se observa que la **planta de tratamiento actual** presenta eficiencias de remoción bajas: 14.22 % para la DBO₅, 40.11 % para la DQO, 44.35 % para nitratos y 26.31 % para fosfatos. Estos valores se encuentran por debajo del 50 %, lo que evidencia la limitada capacidad de tratamiento en su estado actual y la necesidad de alternativas complementarias.

Los resultados muestran que al aplicar diferentes dosis de *Rhodopseudomonas palustris* (5 ml, 10 ml y 20 ml), la dosis de 20 ml alcanzó los mejores niveles de remoción en todos los parámetros evaluados, con valores promedio de 64.67 % en DBO₅, 65.33 % en fosfatos y 55 % en nitratos.

4.4.1. Prueba de normalidad

- Nivel de significancia = 5 % = 0.05 α
- Prueba Estadística de normalidad de datos: Shapiro- Wilk
- Estimador:

Ha: La distribución es normal

H0: La distribución no es normal

P- Valor (0.05) $\Rightarrow \alpha$ = Los datos provienen de una distribución normal

P- Valor (0.05) $< \alpha$ = Los datos no provienen de una distribución normal

En la tabla 25, se aprecia la prueba de normalidad Shapiro – Wilk para determinar la normalidad de los datos de la remoción de

contaminantes orgánicos (DBO5, DQO, nitratos y fosfatos), indicando que se ha obtenido un P- Valor mayor que el valor alfa, lo cual nos indica que los datos provienen de una distribución normal.

Tabla 25

Prueba de normalidad

	Pruebas de normalidad		
	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Remoción de contaminantes orgánicos con el microorganismo <i>Rhodopseudomonas palustris</i>	.942	36	.710
Remoción de contaminantes orgánicos con el microorganismo <i>Lactobacillus plantarum</i>	.981	36	.625

4.4.2. Prueba de hipótesis

4.4.2.1. Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 1

H_a = La eficiencia de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas **no supera el 50%**

H_0 = La eficiencia de remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas **supera el 50%**

En base a lo indicado en el apartado 4.1. donde se indica que la actual planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas,



presenta una eficiencia de la DBO5 del 14.22%, de igual forma la eficiencia de remoción de la DQO es del 40.11%, así también la eficiencia de remoción de los nitratos es de 44.348%, y finalmente la eficiencia de remoción de los fosfatos es de 26.31%; cada uno de ellos no sobrepasa el 50% de remoción de contaminantes orgánicos. Ante lo mencionado se acepta la hipótesis planteada-alterna H_a y se rechaza la hipótesis nula H_0 .

4.4.2.2. Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 2

H_a = La aplicación de 20ml de microorganismos eficaces **lograra reducir mejor** la concentración de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas.

H_0 = La aplicación de 20ml de microorganismos eficaces **no lograra reducir mejor** la concentración de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas.

En la tabla 26, se muestra el análisis de varianza para la dosis optima de microorganismos eficaces, indicando que la dosis de 20ml destaca estadísticamente en la remoción de la DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos; por presentar un p valor cercano al 0.00, lo cual es indicativo que la dosis remocio en mayor medida los contaminantes organicos, Ante lo mencionado se acepta la hipótesis planteada-alterna H_a y se rechaza la hipótesis nula H_0 .

Tabla 26

Análisis de varianza (ANOVA) para la dosis optima de microorganismos eficaces

			ANOVA				
Microorg anismo	dosis		Suma de cuadrad os	gl	Media cuadráti ca	F	Sig.
<i>Rhodopse udomonas palustris</i>	20ml	Entre grupos	427,571	3	213,786	205,2	,001
		Dentro de grupos	3,125	12	1,042		
		Total	430,696	36			
	10ml	Entre grupos	1282,182	3	641,091	4,015	,042
		Dentro de grupos	478,969	12	159,656		
		Total	1761,150	36			
	5ml	Entre grupos	125,254	3	38,062	4,26	,049
		Dentro de grupos	68,15	12	15,23		
		Total	132,069	36			
<i>Lactobacil lus plantarum</i>	20ml	Entre grupos	893,552	3	446,776	1,488	,006
		Dentro de grupos	900,868	12	300,289		
		Total	1794,420	36			
	10ml	Entre grupos	39,583	3	19,792	1,631	,012
		Dentro de grupos	36,408	12	12,136		
		Total	75,991	36			
	5ml	Entre grupos	25,452	3	13,520	1,235	,036
		Dentro de grupos	13,14	12	8,025		
		Total	25,452	36			

4.4.2.3. Prueba de hipótesis para el objetivo específico N° 3

H_a = La aplicación de microorganismos eficaces, **presenta** un efecto positivo en el tratamiento de contaminantes orgánicos de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas, 2024

H_0 = La aplicación de microorganismos eficaces, **no presenta** un efecto positivo en el tratamiento de contaminantes orgánicos de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas, 2024

Criterio para decidir

- Nivel de significancia = 5 % = 0,05 α
- Prueba Estadística ANOVA
- Estimador:

Si el p-valor ≤ 0.05 , rechace H_0 (se acepta H_a)

Si el p-valor > 0.05 , acepta H_0 (se rechace H_a)

En la tabla 27, se aprecia el análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de contaminantes orgánicos por el microorganismo *Rhodopseudomonas palustris*, indicando que para efectos de los diferentes tiempos de contacto es altamente significativo (p-valor <0.05), confirmando que la concentración de contaminantes orgánicos varía considerablemente en cada tiempo de contacto; además para efectos del porcentaje de remoción, también es altamente significativo (p-valor <0.05), manifestando el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos varía considerablemente en cada dosis y tiempo de contacto, además presentando un coeficiente de variación de 29.43 %, lo que indica que el experimento fue adecuadamente conducido.

Tabla 27

Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de contaminantes orgánicos empleando el microorganismo Rhodopseudomonas palustris

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Días de contacto	15432.97	12	1403.00	15.74	<0.0001
Porcentaje de remoción	15432.97	12	1403.00	15.74	<0.0001
Error	2139.33	24	89.14		
Total	17572.31	36			
C.V. = 25.08 %					

En la tabla 28, se aprecia la prueba de Tukey para el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos a diferentes dosis del microorganismo *Rhodopseudomonas palustris*, los resultados muestran que la dosis de 20ml del microorganismo, muestra mejores porcentajes de remoción de los contaminantes orgánicos con un promedio del 65.33 % para los fosfatos, 64.67 % para la DBO5, 55.00 % para nitratos y 49 % para fosfatos, logrando ser estadísticamente superior a las demás dosis del microorganismo.

Tabla 28

*Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos a diferentes dosis del microorganismo *Rhodopseudomonas palustris**

Parámetro/dosis del microorganismo	Media (%)	Tiempos de contacto	SIG. ≤ 0.05		
Fosfatos - 20 ml	65.33	3	a		
DBO5 - 20 ml	64.67	3	a		
Nitratos - 20 ml	55.00	3	a	b	
DBO5 - 10 ml	52.33	3	a	b	
Fosfatos - 10 ml	49.00	3	a	b	
DQO - 20 ml	48.00	3	a	b	
Nitratos - 10 ml	39.33	3	a	b	
DQO - 10 ml	33.67	3	a	b	c
Fosfatos - 5 ml	15.33	3	b		c d
DQO - 5 ml	14.00	3	c		d
Nitratos - 5 ml	8.33	3	c		d
DBO5 - 5 ml	6.67	3	c		d

En la tabla 29, se aprecia el análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de contaminantes orgánicos por el microorganismo *Lactobacillus plantarum*, indicando que para efectos de los diferentes

tiempos de contacto es altamente significativo (p -valor <0.05), confirmando que la concentración de contaminantes orgánicos varía considerablemente en cada tiempo de contacto; además para efectos del porcentaje de remoción, también es altamente significativo (p -valor <0.05), manifestando el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos varía considerablemente en cada dosis y tiempo de contacto, además presentando un coeficiente de variación de 22.28 %, lo que indica que el experimento fue adecuadamente conducido.

Tabla 29

*Análisis de varianza (ANOVA) para la remoción de contaminantes orgánicos empleando el microorganismo *Lactobacillus plantarum**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Días de contacto	32085.42	12	2916.86	22.44	<0.0001
Porcentaje de remoción	32085.42	12	2916.86	22.44	<0.0001
Error	3119.33	24	129.97		
Total	35204.75	36			
C.V. = 22.28 %					

En la tabla 30, se aprecia la prueba de Tukey para el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos a diferentes dosis del microorganismo *Lactobacillus plantarum*, los resultados muestran que la dosis de 20ml del microorganismo, muestra mejores porcentajes de remoción de los contaminantes orgánicos con un promedio del 84 % para la DBO5, 78.33 % para los fosfatos, 73.67 % para nitratos y 76.33 % para la DQO, logrando ser estadísticamente superior a las demás dosis del microorganismo



Tabla 30

Prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para el porcentaje de remoción de contaminantes orgánicos a diferentes dosis del microorganismo

Lactobacillus plantarum

Parámetro/dosis del microorganismo	Media (%)	Tiempos de contacto	SIG. ≤ 0.05
DBO5 - 20 ml	84.00	3	a
Fosfatos - 20 ml	78.33	3	a
DQO - 20 ml	76.33	3	a
Nitratos - 20 ml	73.67	3	a
Fosfatos - 10 ml	68.33	3	a
DBO5 - 10 ml	68.00	3	a
DQO - 10 ml	66.00	3	a
Nitratos - 10 ml	60.67	3	a
Fosfatos - 5 ml	15.33	3	b
DQO - 5 ml	10.00	3	b
Nitratos - 5 ml	7.67	3	b
DBO5 - 5 ml	6.67	3	b

En base a resultados estadísticos hallados, se puede inferir que las dosis del microorganismo influyen significativamente en la remoción de contaminantes orgánicos (DBO5, DQO, Nitratos y fosfatos) de las aguas residuales de la ciudad de Cabanillas



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: En general, se concluye que la aplicación de microorganismos eficaces demuestra un efecto positivo en todos los tratamientos experimentales a escala piloto para la remoción de contaminantes orgánicos (DBO₅, DQO, Nitratos y fosfatos), presentes en las aguas residuales domésticas de la ciudad de Cabanillas; además este tratamiento contribuye al cumplimiento de los estándares ambientales y favorece la investigación de nuevas biotecnologías de manera natural, aplicando al mismo tiempo principios de la ciencia e ingeniería.

SEGUNDA: Se concluye que la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Cabanillas presenta una eficiencia moderada en la remoción de contaminantes orgánicos, alcanzando una remoción del 14.22% en DBO₅ (184.39 mg/L), del 40.11% en DQO (259.66 mg/L), del 44.34% en nitratos (70.67 mg/L) y del 26.36% en fosfatos (26.36 mg/L).

TERCERA: La cantidad de reducción óptima se observó al sexto día, con la aplicación de 20ml de *Rhodopseudomonas palustris*, reduciendo hasta 49.20 mg/L de DBO₅; 114.36 mg/L de DQO, 23.56 mg/L de nitratos y 5.60 mg/L de fosfatos, mientras que la aplicación de *Lactobacillus plantarum*, la dosis más efectiva fue igualmente la de 20 ml, reduciendo hasta 19.25 mg/L de DBO₅; 37.82 mg/L de DQO, 15.34 mg/L de nitratos y 1.05 mg/L de fosfatos

CUARTO: Los mejores porcentajes de remoción se observaron al sexto día, con la aplicación de 20ml de *Rhodopseudomonas palustris*, obteniendo 73 % de



DBO₅; 56 % de DQO, 67 % de nitratos y 77 % fosfatos; así mismo con la aplicación de *Lactobacillus plantarum* la dosis que más resalto fue fue igualmente la de 20ml removiendo el 90 % de DBO₅; 85 % de DQO, 78 % de nitratos y 81 % fosfatos



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Se recomienda investigar más a fondo el intervalo de dosificación ideal que optimiza la eficacia sin producir efectos adversos, incluida la competencia microbiana o el crecimiento excesivo de biomasa, para futuras investigaciones.
- SEGUNDA:** También se recomienda examinar los efectos de los parámetros operativos (temperatura, pH, duración de la retención, contenido de oxígeno, etc.) sobre la actividad microbiana.
- TERCERA:** Para evaluar la sostenibilidad y la imprevisibilidad del uso de microorganismos a gran escala en instalaciones de tratamiento de aguas residuales en comparación con los métodos convencionales, se recomienda realizar un estudio económico y técnico.
- CUARTA:** Se recomienda para aumentar aún más el potencial de reducción de contaminantes y mejorar la calidad del agua tratada, evaluar la combinación de tratamientos biológicos con otras tecnologías de vanguardia.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Acuña, N. (2022). Evaluation of organic matter removal by efficient microorganisms in wastewater treatment. *University and Society*, 1 - 11.
- Agreda, K. (2018). *Evaluación de la efectividad de microorganismos eficaces en las propiedades físico químicas del agua residual de la planta de tratamiento, a nivel laboratorio*, Ilo. Moquegua: Universidad Nacional de Moquegua.
- Apaza, O. (2017). *Uso de microorganismos eficaces en el mejoramiento de la calidad de aguas residuales de la industria láctea*. Lima: Universidad de Lima.
- Arora, S., Saraswat, S., Mishra, R., Rajvanshi, J., Sethi, J., Verma, A., . . . Saxena, S. (2020). Design, performance evaluation and investigation of the dynamic mechanisms of earthworm-microorganisms interactions for wastewater treatment through vermifiltration technology. *Bioresource Technology Reports*, 1 - 20.
- Baena, G. (2017). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION serie integral por competencias*. Mexico: Grupo Editorial Patria.
- Bazán, A., & Sánchez, K. (2024). *Eficiencia de los Microorganismos Eficaces en el tratamiento de aguas residuales de las Lagunas de Estabilización San José – Lambayeque*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Bazán, M., & Nureña, J. (2019). *Efecto del tiempo y dosis de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales de las pozas de oxidación de Covicorti*. Lima: Universidad de César Vallejo.
- Bejarano, M., & Mauricio, E. (2015). *Efficiency of the use of microorganisms for domestic wastewater treatment in a wastewater treatment plant*. Bogota: La Salle University.



- Bejarano, N., & Escobar, N. (2015). Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. *Ciencia Unisalle*, 1 - 15.
- Beltrán, T., & Campos, C. (2016). *Influencia de microorganismos eficaces sobre la calidad de agua y lodo residual, planta de tratamiento de Jauja*. Jauja: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Bhambri, A., Karn, S., & Singh, R. (2021). In-situ remediation of nitrogen and phosphorus of beverage industry by potential strains *Bacillus* sp. (BK1) and *Aspergillus* sp. (BK2). *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-021-91539-y>
- Cachata, I. (2023). *Tratamiento de aguas residuales de una granja piloto de cerdos a través de microorganismos benéficos, y lombrifiltros*. La Molina: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Caicedo, J. (2017). *Diseño, construcción y evaluación de un prototipo biológico compuesto de Eisenia fetida y agave filifera, para el tratamiento de aguas residuales en la granja del ministerio de agricultura, ganadería, acuicultura y pesca, Riobamba 2015*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Cama, D., & Huasco, M. (2019). *Evaluación de la calidad de agua en la planta de tratamiento de agua potable de Villa Rica-Oxapampa*. Lima: Universidad Peruana Unión.
- Canales, H. (2016). *Evaluación del uso de microorganismos eficaces en el tratamiento de efluentes domésticos residuales del distrito de Pátapo*. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.



- Cardona, J., & Garcia, L. (2018). *Evaluation of the Effect of Effective Microorganisms on Quality*. Bogota: Pontifical Xavierian University.
- Carrasco, J. (2022). *Evaluación y propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, distrito de Poroy, Cusco-2022*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Carreño, A., Lucas, L., Hurtado, E., Barrios, R., & Silva, R. (2020). Adequacy for human consumption of the physical properties of water from the Carrizal River, Ecuador, through efficient microorganisms and zeolite filtratio. *Medio ambiente*, 1 - 20.
- Castro, E. (2019). *Estudio de viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema tohá (lombrifiltro) para el tratamiento de las aguas residuales en el municipio de Tinjacá- Boyacá*. Boyacá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Cayoja, G., & Ballester, W. (2021). *Sistema de tratamiento de aguas residuales de la poblacion de Pucarani mediante el método Toha*. La Paz: Universidad Mayor de San Andres.
- Centeno, L., Quintana, A., & López, F. (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldoa*. Fonte: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413
- Chumacero, F., & Martínez, C. (2023). *Rendimiento de los microorganismos eficaces (em) para la degradación de la carga orgánica en la mejora del tratamiento de aguas residuales no domésticas de expendios de comida*. El Callao: Universidad Nacional del Callao.



- Condori, C., & Guillen, E. (2018). *Contaminación de las aguas termales de la piscina con coliformes fecales y totales en el barrio San Cristobal ,Huacavelica-2016*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- D.S N° 003-2010-MINAM. (2010). *Aprueban límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Lima. Fonte: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf
- D.S N° 003-2010-MINAM. (2010). *Aprueban límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Lima. Fonte: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf
- Delgado, J. (2018). *Influencia de los microorganismos eficaces (Em agua) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del afluyente del biorreactor en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Concepción – 2018*. Huancayo: Universidad Continental.
- Dipali, P., Priyanka, G., Pooja, G., Saddam, I., Poonam, G., & Amol, B. (2020). Domestic Waste Water Treatment Using Effective Microorganism (EM) Technology. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 1 - 11.
- El Shafei, M., & Abd, E. (2017). Investigate the effect of effective microorganism (EM) on improving the quality of sewage water from AL-GABAL AL-ASFAR area in Egypt. Cairo. *Technische Universität Berlin Campus El Gouna*, 1 - 12.
- EPA . (2004). *Guidelines for Wtare Reuse*. Whashintonton, DC.



- Espinoza, M., & Zambrano, S. (2019). *Eficiencia de microorganismos (Saccharomyces sp, Lactobacillus spp, Rhodospseudomona spp) en el tratamiento de aguas residuales de la ESPAM MFL*. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.
- Flores, M. (2023). *Efecto de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito de Torata - Moquegua, 2021*. Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui.
- Gallegos, D. (2023). *Evaluación del lombrifiltro como tratamiento primario del sistema de tratamiento de aguas residuales del proyecto Manchay Verde*. Villa El Salvador: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur.
- Geng, B., Li, Y., Liu, X., Ye, J., & Guo, W. (2022). Effective treatment of aquaculture wastewater with mussel/microalgae/bacteria complex ecosystem: a pilot study. *Scientific Reports*, 12(1), 1–12.
- Gonzales, E., & Quispe, R. (2020). *Influencia de los microorganismos eficaces (EM) en el tratamiento de aguas residuales domesticas en el distrito de Huancavelica en el 2020*. Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Guevara, Y., & Salas, J. (2022). *Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante el uso de microorganismos de montaña en agua residuales de una Piscigranja*. Tarapoto: Universidad Peruana Union.
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: Mc Graw Hill Education.
- Huarhua, T. (2019). *Efecto de Microorganismos en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Urubamba, Cusco 2018*. Moquegua: Universidad José Carlos Mariátegui.



- Huayllani, K. (2017). *Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016*. Huancayo: Universidad Continental.
- Huayta, M. (2019). *Efecto del vertimiento de aguas residuales domésticas en la calidad de agua del río Cabanillas*. Juliaca: Universidad Andina Nestor Cáceres Velásquez.
- Koul, B., Yadav, D., Singh, S., Kumar, M., & Song, M. (2022). Insights into the Domestic Wastewater Treatment (DWWT) Regimes: A Review. *Water*, 1 - 21.
- Kumar, C., & Ghosh, A. (2019). Fabrication of a vermifiltration unit for wastewater recycling and performance of vermifiltered water (vermiaqua) on onion (*Allium cepa*). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 1 - 11.
- Landeta, F. (2019). *Evaluación de la Eficiencia de un Sistema de Vermifiltros en el tratamiento de Aguas Residuales del Camal de Ibarra*. Ibarra: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Lara, K., & Santillán, L. (2018). *Evaluación del comportamiento de los microorganismos eficientes para acelerar la transformación de los desechos sólidos orgánicos originados en el mercado San Alfonso-Riobamba*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Layedra, L. (2019). Evaluación de un consorcio microbiano y selección de un soporte en un reactor anaerobio dirigido al biotratamiento de aguas residuales de la industria textil. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 142-161.
- Llontop, E. (2018). *Influencia de los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales crudas con la cantidad de energía eléctrica utilizando*



celdas de combustible microbiana. Lambayeque: Universidad nacional Pedro Ruiz Gallo.

Mamani, N., & Chavez, R. (2018). *Evaluación de la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas - Puno, 2018*. Juliaca: Universidad Peruana Union.

Mamani, N., & Havez, R. (2018). *Evaluación de la remoción de materia orgánica a través de un sistema aerobio con microorganismos eficientes (EM) en aguas residuales domésticas - Puno*. Juliaca: Universidad Peruana Unión.

Martinez, A. (2016). Evaluacion del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *En I. T. Rica, Tecnologia en Marcha*, 63-72.

Mauri, B., & Jheyson, N. (2019). *Eficiencia de microorganismos efectivos (ME) aplicados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia panorama)*. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo.

Mejía, E. V., Gamarra, J., Cabrera, T., & Morales, L. (2021). Eficiencia de probióticos en la calidad del efluente de agua residual doméstica tratada en biodigestores. *Revista de Investigación y Cultura*, 1 - 15.

Metcalf, E., & Eddy, I. (1995). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento vertido y reutilización (tercera edición)*. Madrid: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPANA, S.A.

MINAM. (2014). *Protocolo de monitoreo de la caliad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas residuales Domesticas o Municipales*. Lima: Ministerio del Ambiente.



- MINAM. (2016). *Aprende a prevenir los efectos de las aguas residuales*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Morales, Y., & Quispealaya, S. (2024). *Los microorganismos eficaces en la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales en la laguna de oxidación de jauja-2023*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Murillo, D. (2018). *Eficiencia del uso de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales de las queserías artesanales de Quimiag*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- MVCS. (2014). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales Domésticas o municipales*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- OEFA. (2019). *Tratamiento de agua residuales en el Peru*. Lima: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
- Ortiz, D., Anrango, M., Pérez, H., Chela, L., Villagran, G., & Fernandez, L. (2021). Use of efficient microorganisms for the purification of organic pollutants in urban wastewater. *Ecuadorian Science Journal*, 1 - 8.
- Paredes, L. (2017). *Evaluación de Microorganismos Eficientes para la Remoción de Ácido Sulphídrico sobre Lodos Activados en Aguas Residuales de La Industria Procesadora de Alimentos La Ibérica*. Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Perez, E., Guevara, D., & Fandiño, C. (2020). Use of efficient microorganisms as an alternative for the treatment of wastewater. *Cuban Institute for Sugar Cane Derivatives Research*, 1-12.



- Pérez, L., Carballo, M., Sardiñas, J., Martínez, A., Cruz, M., & Salgado, I. (2021). Monocultivos y consorcios bacterianos con aplicación en la asimilación de nutrientes de interés ambiental. *Revista Cubana de Ciencias Biológicas*, 1 - 9.
- Pontaza, J. (2014). *Eficiencia de microorganismos efectivos (ME) aplicados en la planta de tratamiento de aguas residuales San Cristóbal (colonia panorama), Mixco, Guatemala*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Quillen, L. (2021). Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera La Bodeguilla – Valle de Moquegua. *Revista de investigaciones de la escuela de Postgrado*, 1 - 13.
- Quiroz, N. (2019). *Estudio de la remoción de materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de un filtro biológico a partir de lombrices californianas (Eisenia Foétida)*. Pamplona Norte de : Universidad de Pamplona Colombia.
- Ramos, S., Sanchez, Y., & Soto, L. (2021). *Propuesta de mejora para el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) del distrito de Apata - Jauja*. Huancayo: Universidad Continental.
- Romero, P. (2020). *Influencia de microorganismos eficaces en la remoción de coliformes termotolerantes y demanda bioquímica de oxígeno de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas del distrito de Quilcas*. Lima: Universidad Continental.
- Romero, R., & Campos, R. (2020). *Eficiencia del sistema Tohá en la depuración de efluentes del camal municipal, Bagua, Amazonas*. Amazonas: Revista Científica UNTRM.



- Romero, T., & Vargas, D. (2017). Uso de microorganismos eficientes para tratar aguas contaminadas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 1 - 13.
- Safwat, S., & Matta, M. (2021). Environmental applications of Effective Microorganisms: a review of current knowledge and recommendations for future directions. *Journal of Engineering and Applied Science*, 1–12.
- Saini, S., Tewari, S., Dwivedi, J., & Sharmi, V. (2023). Tratamiento de aguas residuales mediante biopelículas: una revisión exhaustiva. *Royal Society of Chemistry*, 1 - 6. doi:1415-1443. <https://doi.org/10.1039/D2MA00945E>
- Sánchez, J., Ribes, J., Ferrer, J., & García, M. (2017). Obtención de los principales parámetros del agua residual urbana empleados en los modelos matemáticos de fangos activados a partir de una caracterización analítica simple. *Ingeniería y Región*, 17, 33–48.
- Sánchez, M. (2014). *Evaluación de la capacidad de depuración de microorganismos eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Moyobamba*. San Martín: Universidad Nacional de San Martín.
- Sanchez, M. (2014). *Evaluación de la Capacidad de Depuración de Microorganismos Eficaces en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, Moyobamba – 2014*. Moyobamba: Universidad Nacional de San Martin.
- Santillán, L., & Paredes, L. (2018). Remoción de ácido sulfhídrico por microorganismos sobre lodos activados en aguas residuales de la industria alimenticia. *La Granja: Revista de Ciencias de La Vida*, 27(1), 112–123.
- Tanya, M., & Leiva, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y. *Centro Agrícola*, 1 - 11.



- Tencio, R. (2016). Reproducción y aplicación de los microorganismos de montaña (MM) en la actividad agrícola y pecuaria. *Sector Agroalimentario InfroAgro Costa Rica*, 1 - 6.
- Ticona, M., & Ccasani, G. (2024). *Optimización del sistema de tratamiento de aguas residuales con contenido de grasas y aceites producto del lavado de vehículos de carga pesada por electrocoagulación*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Tom, A., Jayakumar, J., Biju, M., Somarajan, J., & Ibrahim, M. (2021). Aquaculture wastewater treatment technologies and their sustainability: A review. *Energy Nexus*, 1 - 21.
- UNESCO. (2020). *Water and climate change*. Ginebra: United Nations World Water Development Report 2020.
- Valdez, A. (2016). *Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la localidad de Chucuito*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano.
- Vásquez, A. (2017). *Determinación del efecto de los microorganismos eficientes para la remoción del valor de la DBO en las aguas residuales domésticas de la localidad de Jepelacio – 2016*. Moyobamba: Universidad Nacional de San Martín.
- Vasquez, A. (2024). *Eficiencia de la aplicación de un Sistema de Vermifiltro en el tratamiento de aguas residuales provenientes del camal Cusco, Distrito de San Jerónimo 2023*. Cusco: Universidad Tecnológica de los Andes.
- Vásquez, C. (2019). *Efecto de los microorganismos eficientes en la disminución de la demanda biológica de oxígeno del agua residual domésticas Dren 3100*. Lima: Universidad César Vallejo.



- Vigo, J. (2020). *Efecto de Microorganismos Eficaces (ME) en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas en condiciones altoandinas*. Lima: Universidad Peruana Unión.
- Wang, M., Zhu, J., & Mao, X. (2021). Removal of pathogens in onsite wastewater treatment systems: A review of design considerations and influencing factors. *Water (Switzerland)*, , 1 - 5.
- Yang, S., Zheng, Y., Mao, Y., Xu, L., & Jin, Z. (2021). Domestic wastewater treatment for single household via novel subsurface wastewater infiltration systems (SWISs) with NiiMi process: Performance and microbial community. *Journal of Cleaner Production*, 29. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123434>



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo LUIS ALBERTO CONDRA PARICAHUA
identificado con DNI 72161637 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA CIVIL

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

" EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL TRATAMIENTO
DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA
CIUDAD DE CABANILLAS. 2024 "

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.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 17 de SEPTIEMBRE del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo LUIS ALBERTO CORDOZ PARIANVA
, identificado con DNI 72101637 en mi condición de egresado de:

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

INGENIERIA CIVIL

, informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación para la obtención de Grado
 Título Profesional denominado:

"EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICACES EN EL TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES
ORGANICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CABANILLAS, 2024"

"Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 17 de SETIEMBRE del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella