

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS

FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS EFICACES
SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE**

YANAMAYO-PUNO 2025

PRESENTADA POR:

JESÚS HUARAYA CANLLAHUI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PUNO – PERÚ

2025



Repositorio Institucional ALCIRA by [Universidad Privada San Carlos](https://www.upsc.edu.pe/) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



7.2%

SIMILARITY OVERALL

SCANNED ON: 23 DEC 2025, 7:28 PM

Originality & Authorship Report

Your text is highlighted according to the matched content in the results above.

● IDENTICAL
0.61%

● CHANGED TEXT
6.58%

Report #30791233

JESÚS HUARAYA CANLLAHUI // EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS EFICACES SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE YANAMAYO-PUNO 2025 RESUMEN La contaminación de los cuerpos de agua constituye uno de los principales problemas ambientales en la región de Puno, afectando la calidad del Lago Titicaca y los ecosistemas asociados. Las plantas de tratamiento de aguas residuales, como la de Yanamayo, presentan limitaciones tecnológicas que impiden cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el DS N.º 003-2010-MINAM y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del DS N.º 004-2017-MINAM. Frente a ello, la aplicación de microorganismos eficaces (EM) surge como una alternativa biotecnológica sostenible para mejorar la calidad del efluente tratado. El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en el mejoramiento de la calidad del efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo, Puno, durante el año 2025. **26** La investigación fue de tipo descriptiva con diseño experimental. Se caracterizó el efluente inicial mediante análisis fisicoquímico y microbiológico, y posteriormente se aplicaron EM activados en condiciones controladas durante 24 y 48 horas. Los parámetros evaluados fueron DBO₅, DQO, sólidos totales disueltos, pH, temperatura y coliformes termotolerantes. Los resultados mostraron que el efluente inicial presentó incumplimiento de los LMP, con valores elevados de

UNIVERSIDAD PRIVADA SAN CARLOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS:

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS EFICACES
SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
YANAMAYO-PUNO 2025**

PRESENTADA POR:

JESÚS HUARAYA CANLLAHUI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:

PRESIDENTE

: 
Mg. JULIO WILFREDO CANO OJEDA


PRIMER MIEMBRO

: 
Dra. MARLENE CUSI MONTESINOS

SEGUNDO MIEMBRO

: 
M.Sc. KORINA ASQUI GOMEZ

ASESOR DE TESIS

: 
Mg. KATIA ELIZABETH ANDRADE LINAREZ

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub Área: Ingeniería Ambiental

Línea de investigación: Ciencias Ambientales

Puno, 30 de diciembre del 2025.

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado con mucho cariño y amor a mi querida madre Juana Agustina Canllahui por su ejemplo de lucha y superación, que a pesar de sus escasas posibilidades siempre me apoyó y confió en mí. A mis hermanos que con su apoyo emocional e incondicional, son mi gran motivación y siempre me impulsaron a ser una gran persona y un profesional.

Jesús Huaraya Canllahui

AGRADECIMIENTOS

Es importante alcanzar nuestras metas propuestas, para el cual he contado con el apoyo de muchas personas e instituciones, por lo tanto quisiera agradecerles profundamente a mi alma mater Universidad Privada San Carlos - Puno y la facultad de ingeniería ambiental por haberme formado. A la EPS EMSAPUNO SAC. por haberme dado las facilidades de acceso en la PTAR Yanamayo. Agradezco a la señora Alicia Cruz por haberme cedido su domicilio para ejecutar mi proyecto de tesis. por último a mis compañeros de la universidad por motivarme y no desistir con la meta propuesta el de ser un ingeniero ambiental.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
GLOSARIO DE TÉRMINOS	9
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCIÓN	14

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	16
1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	16
1.2. ANTECEDENTES	16
1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL	16
1.2.2. A NIVEL NACIONAL	17
1.2.3. A NIVEL REGIONAL	19
1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO	19

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO	21
2.1.1. AGUAS RESIDUALES	21
2.1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	22
2.1.3. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	23
2.1.4. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES	25
2.1.5. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	29
2.1.6. MICROORGANISMOS EFICACES	32
2.1.7. CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO	35
2.2. MARCO LEGAL	38
2.3. HIPÓTESIS	39
2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL	39
2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	39

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO	40
3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	40
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	41
3.2.1. POBLACIÓN	41
3.2.2. MUESTRA	41
3.3. MÉTODOS Y MATERIALES	41
3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	41
3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	42
3.3.3. MÉTODO	42
3.3.4. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	43
3.3.5. MATERIALES	50

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES 51

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. LAS CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE DE LA PTAR YANAMAYO CON RESPECTO A LOS LMP. DS N° 003-2010 MINAM Y ECA. DS. N° 004-2017-MINAM.	52
4.1.1. AFLUENTE Y EFLUENTE	52
4.1.2. PUNTO DE MEZCLA - RIO	55
4.1.3. LA INFLUENCIA DE LOS EM EN LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (DBO, DQO, SDT, PH, T° Y COLIFORMES TERMO TOLERANTES) EN EL EFLUENTE DE LA PTAR DE YANAMAYO.	58
4.1.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)	62
4.1.5. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	64
4.1.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	66
4.1.7. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	68
4.1.8. COLIFORMES TOTALES	70
4.1.9. COLIFORMES TERMOTOLERANTES	72
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 01: Composición típica del agua residual Doméstica	23
Tabla 02: Sistemas y procesos unitarios de tratamiento de aguas residuales	30
Tabla 03: Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR	32
Tabla 04: Resultados físicos – Afluente y efluente	53
Tabla 05: Resultados químicos – Afluente y efluente	54
Tabla 06: Resultados microbiológicos – Afluente y efluente	55
Tabla 07: Resultados físicos – Punto de mezcla	56
Tabla 08: Resultados químicos – Punto de mezcla	57
Tabla 09: Resultados microbiológicos – Punto de mezcla	58
Tabla 10: Resultados fisicoquímicos de tratamientos experimentales	60
Tabla 11: ANOVA de Un Factor - pH	62
Tabla 12: Análisis post hoc - pH	63
Tabla 13: Anova de Kruskal-Wallis - Sólidos totales disueltos	65
Tabla 14: Anova de Kruskal-Wallis - DBO	67
Tabla 15: Anova de Kruskal-Wallis - DQO	69
Tabla 16: Resultados para coliformes totales	71
Tabla 17: Resultados para coliformes termotolerantes	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 01: Curva representativa de crecimiento bacteriano	38
Figura 02: Ubicación del punto de muestreo en la zona de estudio	41
Figura 03: Toma de muestra de efluente	43
Figura 04: Toma de muestra en punto de mezcla en río	44
Figura 05: Activación de microorganismos EN	45
Figura 06: Sistema de tratamiento instalado	46
Figura 07: Línea de conducción de efluente	47
Figura 08: Efluente en sistema de tratamiento	47
Figura 09: Se muestra la inoculación a los módulos con el EM activados, con un inicio de 2 L por reactor esto por recomendación bibliográfica, mezcla de choque	48
Figura 10: Toma de muestras de efluentes tratados	49
Figura 11: Muestras en laboratorio	49
Figura 12: Gráfico de los 4 reactores Elaboración propia	50
Figura 13: Gráfico de cajas y bigotes para pH	64
Figura 14: Gráfico de cajas y bigotes para STD	66
Figura 15: Gráfico de cajas y bigotes para DBO	68
Figura 16: Gráfico de cajas y bigotes para DQO	70

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 01: Matriz de consistencia	88
Anexo 02: Evidencia fotográfica.	90
Anexo 03: Estándares de calidad ambiental categoría 4 - D: (DS.004-ECA-MINAM, 2017)	105
Anexo 04: Resultados de laboratorio	107

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **AR:** Se denominan aguas residuales a aquellas que se generan tras su uso en hogares, industrias o actividades ganaderas, entre otras (Ramón et al., 2015).
- **ARD:** Agua Residual Doméstica
- **A y G:** Aceites y Grasas
- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- **DBO:** Es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno disuelto necesaria para que los microorganismos aeróbicos descompongan la materia orgánica (Maguiña, 2024).
- **DQO:** Mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica en las aguas residuales, siendo un indicador clave de la contaminación (Maguiña, 2024).
- **D.S:** Decreto Supremo
- **ECA:** Estándares de Calidad Ambiental
- **LMP:** Límites Máximos Permisibles
- **pH:** Son los logaritmos en base 10 de las actividades molares de cada ion de hidrógeno en las soluciones (Delgado, 2019).
- **OD:** Oxígeno Disuelto
- **EM:** los microorganismos eficaces (EM) son una mezcla de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos (Romero, 2020).
- **STS:** Sólidos Totales Suspendidos.
- **SDT:** es una medida de la materia en una muestra de agua, más pequeñas de 2 micrones (2 millonésimas de un metro) y no pueden ser removidos por un filtro tradicional. TDS es básicamente la suma de todos los minerales, metales, y sales disueltas en el agua y es un buen indicador de la calidad del agua.
- **T :** La temperatura de las aguas residuales suele ser más alta que la del agua natural debido al agua caliente de fuentes domésticas e industriales (Tapara, 2023).
- **Turbidez:** La turbidez mide la claridad del agua y está relacionada con la cantidad de partículas suspendidas, como sólidos, microorganismos y materia orgánica, que afectan su calidad (Ñahui, 2023).

- **Efluente:** Aguas negras tratadas o no tratadas que fluyen desde un proceso hasta el medio ambiente.
- **Cono Inhoff:** Recipiente en forma cónica usado para medir el volumen de sólidos sedimentables durante 30 minutos en un litro de agua, por lo general se expresa en unidades de ml/l.
- **Procesos aerobios:** Son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno.
- **Sedimentación:** Proceso de separación por acción de la gravedad, de las partículas sólidas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua.
- **Aireación:** Proceso por el cual se provee al sistema el oxígeno necesario, para que los microorganismos oxidan la materia orgánica, se mantengan los niveles operativos de oxígeno disuelto y se proporcione la mezcla apropiada.
- **Procesos Aerobios:** Son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno.
- **Aerobio:** Proceso por el cual un compuesto se oxida, utilizando oxígeno molecular como aceptor final de electrones.
- **Bacterias:** Microorganismos unicelulares y microscópicos, que se reproducen por la fisión de esporas, carecen de núcleo diferenciado y se reproducen por división celular.
- **Caudal:** Cantidad de líquido que fluye por un área en un determinado tiempo, se caracteriza por ser un flujo de agua superficial a través de un sistema de tratamiento de aguas.
- **Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el efluente para un proceso o planta de tratamiento.
- **Coliformes totales y termotolerantes:** son grupos de bacterias utilizadas como indicadores de contaminación microbiológica en el agua.
- **Sedimentación:** Proceso de separación por acción de la gravedad, de las partículas sólidas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua.

- **Sustrato:** Nutrientes que se transforman durante los tratamientos biológicos, o aquella que puede ser limitante en dichos tratamientos, por ejemplo la materia orgánica de las aguas residuales se considera como el sustrato que se transforma durante el tratamiento biológico.

RESUMEN

La contaminación de los cuerpos de agua constituye uno de los principales problemas ambientales en la región de Puno, afectando la calidad del Lago Titicaca y los ecosistemas asociados. Las plantas de tratamiento de aguas residuales, como la de Yanamayo, presentan limitaciones tecnológicas que impiden cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el DS N.° 003-2010-MINAM y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del DS N.° 004-2017-MINAM. Frente a ello, la aplicación de microorganismos eficaces (EM) surge como una alternativa biotecnológica sostenible para mejorar la calidad del efluente tratado. El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en el mejoramiento de la calidad del efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo, Puno, durante el año 2025. La investigación fue de tipo descriptiva con diseño experimental. Se caracterizó el efluente inicial mediante análisis fisicoquímico y microbiológico, y posteriormente se aplicaron EM activados en condiciones controladas durante 24 y 48 horas. Los parámetros evaluados fueron DBO_5 , DQO, sólidos totales disueltos, pH, temperatura y coliformes termotolerantes. Los resultados mostraron que el efluente inicial presentó incumplimiento de los LMP, con valores elevados de DBO_5 (174 mg/L), DQO (435 mg/L) y coliformes termotolerantes (>32,000 NMP/100 mL). Tras la aplicación de EM durante 48 horas, se evidenció una reducción del 8 % en la DBO_5 , 5 % en la DQO y 55 % en coliformes termotolerantes, además de una ligera disminución del pH y los sólidos disueltos. Se concluye que los microorganismos eficaces mejoran de manera significativa la calidad del efluente, acercando sus valores a los estándares ambientales vigentes, por lo que se recomienda su implementación como complemento biotecnológico en el tratamiento de aguas residuales de la planta de Yanamayo.

Palabras clave. Aguas residuales, Calidad, efluente, Parámetros fisicoquímicos, Tratamiento, Microorganismos eficaces.

ABSTRACT

Water pollution is one of the main environmental problems in the Puno region, affecting the quality of Lake Titicaca and its associated ecosystems. Wastewater treatment plants, such as the Yanamayo plant, present technological limitations that prevent compliance with the Maximum Permissible Limits (MPL) established by Supreme Decree N° 003-2010-MINAM and the Environmental Quality Standards (EQS) of Supreme Decree N° 004-2017-MINAM. In this context, the application of Effective Microorganisms (EM) emerges as a sustainable biotechnological alternative to improve the quality of treated effluents. The objective of this study was to evaluate the efficiency of Effective Microorganisms (EM) in improving the quality of the effluent from the Yanamayo treatment plant, Puno, during 2025. The research was descriptive with an experimental design. The initial effluent was characterized through physicochemical and microbiological analyses, and subsequently, activated EM were applied under controlled conditions for 24 and 48 hours. The parameters evaluated were BOD₅, COD, total dissolved solids, pH, temperature, and thermotolerant coliforms. The results showed that the initial effluent did not comply with the MPL, presenting high values of BOD₅ (174 mg/L), COD (435 mg/L), and thermotolerant coliforms (>32,000 MPN/100 mL). After applying EM for 48 hours, reductions of 8% in BOD₅, 5% in COD, and 55% in thermotolerant coliforms were observed, along with slight decreases in pH and dissolved solids. It is concluded that Effective Microorganisms significantly improve the quality of the effluent, bringing its values closer to current environmental standards; therefore, their implementation is recommended as a biotechnological complement in the wastewater treatment process of the Yanamayo plant.

Keywords: Effective microorganisms, Wastewater treatment, Effluent quality, Physicochemical parameters, Yanamayo plant.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda la evaluación de la eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en el mejoramiento de la calidad del efluente tratado en la planta de tratamiento de Yanamayo, Puno, durante el año 2025. Este estudio surge ante la necesidad de fortalecer los procesos de depuración de aguas residuales y garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. Para ello, el documento se estructura en cuatro capítulos que desarrollan de manera ordenada cada componente del trabajo de investigación.

El Capítulo I, Planteamiento del Problema, expone la realidad problemática internacional, nacional y específica relacionada con la calidad del efluente de la planta, así como la formulación del problema principal, la delimitación del estudio, los objetivos: general y específicos, la hipótesis y la justificación que sustenta la relevancia de la investigación.

El Capítulo II, Marco Teórico, presenta los antecedentes nacionales e internacionales que fundamentan el estudio, las bases teóricas vinculadas al tratamiento de aguas residuales, los microorganismos eficaces y los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados. También se incluyen las definiciones conceptuales y las normas ambientales aplicables, como los LMP y los ECA para cuerpos receptores.

El Capítulo III, Metodología, describe el diseño metodológico del estudio, el tipo y nivel de investigación, las características de la población y muestra, las técnicas e instrumentos empleados, los procedimientos de muestreo y análisis, y el tratamiento estadístico aplicado para la evaluación de los datos obtenidos.

Finalmente, el Capítulo IV, Resultados y Discusión, presenta los resultados de la caracterización del efluente y del agua del río receptor, así como la evaluación del efecto de los EM en los diferentes tiempos de retención. Se analizan y discuten los resultados en función de los parámetros ambientales, su comparación con la normativa y la eficacia del uso de EM en la mejora del efluente tratado.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES, Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La contaminación del agua a nivel mundial es un grave problema ambiental que afecta a los ecosistemas y la salud humana. Los métodos de tratamiento convencionales no eliminan eficazmente ciertos contaminantes. Los microorganismos eficaces (EM) han surgido como una solución biotecnológica. (Campoverde, 2019).

En el Perú, la contaminación de los cuerpos de agua es un tema prioritario, ya que el acceso a agua de calidad y la protección de los ecosistemas hídricos son cruciales para la población. Pese a los esfuerzos del Estado peruano y la implementación de políticas de tratamiento de aguas residuales, el país enfrenta desafíos en el cumplimiento de estándares de calidad de agua (Ramón et al., 2015). Las plantas de tratamiento en varias regiones han sido afectadas por la falta de inversión y tecnología, especialmente en ecosistemas sensibles como ríos y lagos de la región andina. El Ministerio del Ambiente y otras entidades están investigando soluciones biotecnológicas. (D.S.003-MINAM, 2010).

El problema de la contaminación del agua en el departamento de Puno se debe a que la mayoría de las zonas no cuentan con un sistema completo de tratamiento de aguas residuales, y sus efluentes son vertidas en los ríos que desembocan al lago Titicaca generando contaminación, olores y vectores en el lago.

La planta de tratamiento del centro poblado de Yanamayo enfrenta retos en la gestión de efluentes que afectan el Lago Titicaca. Al inocular los EM en la planta podría mejorar el

tratamiento del agua y proteger el ecosistema. Este estudio evalúa el efecto de los EM en la calidad del efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo y su potencial para mitigar la contaminación en el Lago Titicaca.

1.1.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la efectividad del uso de microorganismos eficaces (EM) en la mejora de la calidad del efluente en la planta de tratamiento de Yanamayo en Puno, 2025?

1.1.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿El efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo se encontrará dentro de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que exige las normas LMP. DS N° 003-2010 MINAM y ECA. DS. N° 004-2017- MINAM.?
- ¿Cómo influye el uso de microorganismos eficaces (EM) en la reducción de contaminantes específicos (DBO, DQO, pH, SDT y Coliforme Termo Tolerantes) en el efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo?

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. A NIVEL INTERNACIONAL

Tomczyk et al. (2024), en su investigación se evaluó el uso de microorganismos eficaces (EM) para mejorar la calidad del agua en el embalse de Turawa, Polonia, afectado por la eutrofización. Se demostró que los EM redujeron entre un 46.44% y un 58,38% la concentración de microorganismos adversos, con un efecto que duró entre 17.6 y 34.1 días. Además, mejoran el estado trófico del embalse en un 7.78% según el índice de Carlson. Los resultados sugieren que los EM pueden ser una herramienta eficaz para la biorremediación, aunque es necesario seguir investigando y combinando con otros métodos como lechos flotantes o aireación intermitente para maximizar su efectividad.

“Bhupinder et al. (2024)”, realizó el estudio abordando los desafíos actuales de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, como el envejecimiento de la infraestructura y los contaminantes emergentes, proponiendo una solución basada en la tecnología de microorganismos efectivos (EM). Los resultados demostraron una mejora significativa en los parámetros de calidad del agua, reduciendo los niveles de DBO, DQO, sólidos y

metales pesados por debajo de los límites de la OMS tras 105 días de tratamiento. Además, se logró una disminución de más del 99% en la carga microbiana, incluyendo coliformes fecales y E. coli. Esta tecnología sostenible y ecológica ofrece un método eficaz y económico para mejorar la calidad del agua y restaurar los ecosistemas de agua dulce.

Moreno & Gallego (2022), en su investigación vio la efectividad de microorganismos inmovilizados en el tratamiento biológico de aguas residuales en una planta de tratamiento de Bogotá, con el objetivo de disminuir la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y cumplir con los estándares de vertimiento establecidos por la Resolución 0631 de 2015. Los resultados muestran una remoción del 95% de DQO, demostrando la eficacia de este método. Se propuso ampliar la investigación hacia reúso y recirculación del agua, disminución de lodos, depuración de aguas en tanques abiertos y aplicación como inoculante de suelo, además de evaluar los costos del tratamiento con microorganismos inmovilizados.

1.2.2. A NIVEL NACIONAL

Guzman y Sánchez (2020), este trabajo tuvo como objetivo el uso de microorganismos eficaces (EM) y microorganismos de montaña (MM) en el tratamiento de aguas residuales, basado en investigaciones de Apaza (2017) y Díaz Collantes (2019). Ambos demostraron efectividad en reducir la DQO, DBO y coliformes fecales. Los microorganismos de montaña destacan en los primeros 20 días, mientras que los EM ofrecen mejores resultados a los 30 días en la reducción de aceites, grasas y sólidos suspendidos totales (SST). Aunque ambos son eficaces, los MM requieren más estudios.

Romero (2020), en su investigación realizada en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTAR) de Quilcas, Huancayo, con el objetivo de evaluar la efectividad de los microorganismos eficaces (EM) en la reducción de coliformes termotolerantes y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Se trabajó con 216 litros de agua residual distribuidos en 12 unidades experimentales, aplicando diferentes dosis de EM (4%, 6% y 8%) y un grupo de control sin dosificación. Durante 39 días, se monitorean

parámetros como pH y temperatura. Los resultados indicaron que el uso de EM mejoró significativamente la remoción de contaminantes en el agua tratada.

Apaza (2020) desarrolló el estudio del tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria láctea es un desafío ambiental debido a las descargas sin tratar que afectan los sistemas de alcantarillado. Un estudio experimental buscó mejorar la calidad de estas aguas mediante el uso de Microorganismos Eficaces (EM), enfocándose en reducir parámetros críticos como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Aceites y Grasas (AyG), sólidos Suspendidos Totales (SST), Nitrógeno Amoniacal y pH, alcanzando los valores máximos admisibles. La investigación, desarrollada en un entorno piloto con concentraciones de EM al 1%, 2% y 3%, mostró que la mayor reducción se obtuvo con el 2% de concentración, reduciendo los niveles de DQO a 4164 mg/L, AyG a 561 mg/L, SST a 864 mg/L, Nitrógeno Amoniacal a 39 mg/L, y logrando un pH de 6.74 tras 30 días.

Flores y Lloclla (2021), la investigación evaluó el uso de Microorganismos Eficaces (EM) para cumplir con los Límites Máximos Permisibles de aguas residuales domésticas en el CP San Francisco de Asís, una zona sin red de alcantarillado. Se empleó un diseño cuasi experimental con 36 muestras y tres dosis de EM (500 ml, 750 ml, 1000 ml). Los resultados mostraron una disminución del pH de 6.93 a 5.96 con 1000 ml de EM, una reducción del DBO5 de 120.6 mg/L a 80 mg/L, y una mejora en la DQO de 279.2 mg/L a 182.6 mg/L, así como una disminución significativa en coliformes termotolerantes de 94,006 a 10,533.

Gonzales y Quispe (2020) desarrollaron la investigación evaluando la influencia de los Microorganismos Eficaces (EM) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Huancavelica en 2020. Durante 90 días, se aplicó EM activado y se realizaron mediciones a los 0, 32, 62 y 90 días para analizar la calidad del agua residual (pH, temperatura y DQO). Los resultados mostraron que los recipientes tratados con EM lograron las mayores eficiencias de remoción de DQO en el primer mes, con un 44.75% y 39.95% de remoción en los recipientes 2 y 3, respectivamente. Se concluyó que el mayor efecto se dio en los primeros días debido al rápido metabolismo de los microorganismos.

1.2.3. A NIVEL REGIONAL

Arias (2021) en su estudio evaluó la eficiencia del tratamiento físico-químico de aguas residuales en la Planta de Tratamiento Norte del Distrito de Chucuito, Puno, enfocándose en parámetros como DBO, DQO, pH y sólidos totales suspendidos (STS). Los resultados mostraron una eficiencia deficiente, con la mayoría de los contaminantes superando los Límites Máximos Permisibles, excepto el pH, que cumplió con los estándares. La remoción de DBO, DQO y STS fue ineficaz, alcanzando eficiencias por debajo del 8%, lo que resalta la necesidad de mejorar la tecnología de tratamiento en la planta para proteger la salud pública y el medio ambiente.

“Valdez (2020) en su investigación evaluó el tratamiento de aguas residuales con microorganismos eficaces (EM) en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Zona Sur (PTAR), Chucuito, Puno, entre marzo y junio de 2016. Los resultados mostraron una disminución significativa en pH, sólidos suspendidos totales y demanda bioquímica de oxígeno, así como un aumento en oxígeno disuelto y remoción de aceites y grasas, alcanzando una eficiencia del 80.75% en la reducción de coliformes termotolerantes con una dosis de 2% EM, cumpliendo con los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

1.3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en el mejoramiento de la calidad del efluente tratado en la planta de tratamiento de Yanamayo en Puno, durante el año 2025.

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Caracterizar el efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo y ver si sobrepasa los LMP. DS N° 003-2010 MINAM y ECA. DS. N° 004-2017- MINAM.
- Evaluar la influencia de los microorganismos eficaces EM en la reducción de los niveles contaminantes, específicamente de los parámetros fisicoquímicos y

microbiológicos (DBO, DQO, SDT, pH, T° y Coliformes termotolerantes) en el efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo, Puno.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. AGUAS RESIDUALES

Se denominan aguas residuales a aquellas que se generan tras su uso en hogares, industrias o actividades ganaderas, entre otras. Estas aguas contienen grasas, detergentes, materia orgánica, residuos industriales, así como herbicidas, plaguicidas y sustancias tóxicas. Antes de ser reintegradas al medio ambiente, es necesario tratarlas. Para ello, se envían a plantas o estaciones de tratamiento, donde se aplica el proceso adecuado para devolver el agua a la naturaleza en condiciones óptimas. Sin embargo, aún hay muchas comunidades y ciudades en nuestro país que descargan sus aguas residuales directamente en los ríos sin tratamiento previo. Esta práctica ha llevado a la extinción de muchos organismos acuáticos que habitaban en esos cuerpos de agua (Ramón et al., 2015).

El manejo de las aguas residuales es un desafío crítico para las sociedades modernas. Estas aguas, producto de diversas especies humanas, contienen materia orgánica, microorganismos patógenos, nutrientes y en algunos casos, compuestos tóxicos. Su acumulación y deterioro pueden generar problemas de salud pública, malos olores y contaminación ambiental. Por ello, es esencial implementar sistemas eficientes de evacuación y tratamiento que mitiguen estos riesgos, favoreciendo la calidad del agua y la sostenibilidad ambiental. Este contexto resalta la importancia de investigar alternativas como el uso de microorganismos eficaces (EM) para mejorar los procesos de tratamiento. (Campoverde, 2019).

Según la Organización Panamericana de la Salud (1990), los términos "líquido cloacal", "aguas servidas", "líquido residual" y "aguas usadas" son sinónimos que se utilizan para describir las aguas de abastecimiento que, tras haber sido empleadas para diversos fines, presentan en su composición sustancias extrañas provenientes de una variedad de fuentes, como hogares, comercios, restaurantes, garajes e industrias, así como de procesos de infiltración y percolación del suelo.

Cuando estos líquidos son recolectados en sistemas de alcantarillado sanitario, la mezcla resultante adquiere una composición diferente a la de los componentes individuales. Las aguas servidas suelen tener un aspecto que varía entre grisáceo y parduzco, y emiten un olor característico, que, aunque no es repugnante en condiciones normales, puede volverse desagradable durante su proceso de putrefacción. Además, estas aguas son biológicamente inestables, lo que significa que son susceptibles a la degradación, y se consideran putrescibles, capaces de generar olores ofensivos y afectar negativamente la calidad del ambiente (Medina, 2011).

2.1.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

A. Aguas residuales domésticas o urbanas:

Las aguas residuales domésticas son el resultado de diversas actividades humanas que generan residuos que se introducen en el sistema de alcantarillado y terminan en ríos y quebradas, lo que puede llevar a la contaminación si no se gestionan adecuadamente. Estas aguas incluyen principalmente heces y orina, lo que implica la presencia de materia orgánica y microorganismos, así como residuos de actividades cotidianas en hogares y establecimientos, como limpieza, lavado de ropa y preparación de alimentos. Esto significa que su composición abarca no solo desechos biológicos, sino también productos químicos y contaminantes de uso diario. La acumulación y el tratamiento inadecuado de estas aguas pueden tener graves consecuencias para la salud pública y el medio ambiente, propagando enfermedades y afectando la calidad del agua en los cuerpos receptores. Por ello, es crucial implementar sistemas de tratamiento efectivos que

mitiguen su impacto y promuevan la reutilización de este recurso (Vasquez & Chenta, 2018).

2.1.3. COMPOSICIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Las aguas residuales domésticas tienen una composición química diversa, que incluye proteínas como albúminas y globulinas, así como enzimas presentes en productos químicos y biodegradables usados en los hogares, como detergentes. También contienen carbohidratos como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa, provenientes de restos de alimentos y otros desechos orgánicos. Esta complejidad química destaca la importancia de implementar procesos de tratamiento adecuados para reducir el impacto ambiental, proteger la salud pública y preservar la calidad de los ecosistemas acuáticos. Una gestión eficiente de estos contaminantes es esencial para minimizar riesgos y garantizar el uso sostenible de los recursos hídricos (Peralta, 2016).

Tabla 01: Composición típica del agua residual Doméstica

Contaminante	Unidades	CONCENTRACIÓN		
		Débil	Medida	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos suspendidos Totales (SST)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	mg/l	5	10	20

CONCENTRACIÓN				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	110	220	400
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno Total de la forma N)	mg/l	20	40	85
orgánico	mg/l	8	15	35
Amoniaco Libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforos (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros 4	mg/l	30	50	100
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales	N°/100 ml	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁶ - 10 ⁷	10 ⁶ - 10 ⁹
Compuestos Orgánicos Volátiles	mg/l	≤100	100-400	≥400

Nota. Obtenido de Espigares & Pérez, 2020

2.1.4. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES

La presencia de sustancias químicas en las aguas residuales, ya sean disueltas o no disueltas, es un aspecto crítico para evaluar su calidad y potencial impacto ambiental. Estas sustancias pueden ser de origen natural o artificial, y se clasifican en varios tipos. Los siguientes son algunos de los más importantes:

A. FÍSICOQUÍMICOS

• ACEITES Y GRASAS

Los compuestos orgánicos en las aguas residuales, provenientes de fuentes naturales y artificiales como desechos animales y derivados de hidrocarburos, afectan significativamente el tratamiento de aguas y los ecosistemas acuáticos. Según S. Castro, estos compuestos dificultan el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, reduciendo la disponibilidad de oxígeno y dióxido de carbono necesarios para la vida acuática. Si no se eliminan adecuadamente en las primeras etapas de tratamiento, pueden formar espumas y natas que bloquean procesos clave como la penetración de luz solar, afectando la fotosíntesis y la producción de oxígeno. Esto también compromete la actividad de microorganismos aerobios y anaerobios esenciales en el tratamiento de aguas. En consecuencia, la gestión adecuada de estos compuestos es crucial para evitar impactos negativos en la calidad del agua y la salud de los ecosistemas, promoviendo así la sostenibilidad ambiental (Delgado, 2019).

• SÓLIDOS DISUELTOS TOTALES (SDT)

Los sólidos disueltos totales (SDT) son el residuo obtenido al evaporar el agua a temperaturas de 103-105 °C, dividiéndose en sólidos filtrables y no filtrables, estos últimos permanecen en suspensión. Este parámetro incluye compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el agua y se mide en gramos por mililitro (g/ml). Su medición es clave para evaluar la calidad del agua, ya que niveles altos pueden indicar turbidez, presencia de sedimentos y afectar su sabor, apariencia y aptitud para el consumo.

Controlar los niveles de SDT es esencial para cumplir con los estándares de calidad del agua (Quintero, 2022).

- **POTENCIAL DEL HIDRÓGENO (pH)**

El pH del agua es crucial en las aguas residuales, ya que afecta el equilibrio del dióxido de carbono y la actividad de microorganismos esenciales para el tratamiento. En una escala de 1 a 14, un rango de 6.5 a 9.5 es seguro para el consumo humano y vital para la eficacia de los sistemas de tratamiento. Un pH fuera de este rango puede perjudicar la calidad del agua, dañar ecosistemas acuáticos y reducir la eficiencia en la depuración, destacando la importancia de su control para garantizar procesos sostenibles y proteger el medio ambiente (Delgado, 2019).

- **LA TURBIDEZ**

La turbidez mide la claridad del agua y está relacionada con la cantidad de partículas suspendidas, como sólidos, microorganismos y materia orgánica, que afectan su calidad. En aguas residuales, es un indicador clave de contaminación, ya que una alta turbidez señala la presencia de partículas derivadas de actividades industriales, agrícolas o domésticas. Este fenómeno se explica por la dispersión y absorción de luz en medios coloidales, donde las partículas en suspensión influyen en la claridad del agua. Un aumento en la turbidez puede afectar la estética, interferir en los procesos de tratamiento y comprometer la salud de los ecosistemas acuáticos (Ñahui, 2023).

- **DEMANDA DE OXÍGENO**

El oxígeno disuelto es un indicador clave del funcionamiento de las lagunas. Su fuente principal es la fotosíntesis, complementada por la reaeración superficial. Su concentración varía a lo largo del día, siendo mínima al amanecer y máxima por la tarde, con valores que pueden ir desde nulos hasta la sobresaturación. En verano, las capas superficiales de las lagunas suelen alcanzar niveles de sobresaturación debido a la mayor actividad fotosintética.

- **NUTRIENTES (NITRÓGENO, FÓSFORO Y CARBONO)**

El nitrógeno, fósforo y carbono en las aguas residuales provienen principalmente de detergentes, fertilizantes y excretas humanas, que aportan nitrógeno orgánico. Aunque son nutrientes esenciales para los organismos, en altas concentraciones pueden causar un crecimiento descontrolado de organismos no deseados, como algas, lo que lleva a la eutrofización. Además, el exceso de estos nutrientes puede contaminar el agua subterránea al infiltrarse en el suelo, afectando tanto la calidad del agua potable como los ecosistemas. Por ello, es fundamental controlar estos elementos para proteger los sistemas acuáticos y terrestres (Vasquez & Chenta, 2018).

- **SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**

Los sólidos suspendidos totales en las aguas residuales incluyen partículas visibles como desechos y restos de animales y vegetales, que pueden observarse a simple vista. Estos sólidos pueden ser eliminados eficazmente mediante procesos mecánicos. Además, los sólidos sedimentables, que se hunden por acción de la gravedad, también forman parte de esta categoría. Su adecuada remoción es crucial en el tratamiento de aguas residuales para prevenir la acumulación de residuos en el sistema. (Tapara, 2023).

- **DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica en las aguas residuales, siendo un indicador clave de la contaminación. Este parámetro ayuda a evaluar el impacto de los efluentes líquidos en los cuerpos de agua y facilitar el control y tratamiento de las descargas antes de su liberación al medio ambiente (Maguiña, 2024).

- **DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)**

Corresponde a la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica por acción bioquímica aerobia. Se expresa en mg/L y es la demanda ejercida por las sustancias carbonatadas, las nitrogenadas y ciertos compuestos químicos reductores. Es una prueba que reduce a números un fenómeno natural, muy sencillo en teoría, pero en esencia muy complejo (Metcalf 2005).

- **TEMPERATURA**

La temperatura de las aguas residuales suele ser más alta que la del agua natural debido al agua caliente de fuentes domésticas e industriales. Las variaciones de temperatura afectan la solubilidad de los gases, la actividad microbiana, la viscosidad del agua y la velocidad de las reacciones químicas. Además, influye en la salud de los ecosistemas acuáticos, siendo un parámetro clave en la gestión (Tapara, 2023).

B. MICROBIOLÓGICOS

Estas características se relacionan con los microorganismos, en particular bacterias y virus causantes de enfermedades. Para poder clasificar las aguas de acuerdo a sus características microbiológicas, se cuenta con valores establecidos que dependen de la utilización que se prevé y los requisitos sanitarios. La gran mayoría de los países determina los valores permitidos con base en lo estipulado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) adoptando a sus circunstancias (Cardona 2008).

- **COLIFORMES TOTALES**

este grupo de coliformes está formado por todas las bacterias gram negativas aerobias y anaerobias facultativas, no formadoras de esporas, con forma de bastón que fermentan la lactosa, produciendo gas y ácido en 48 horas a 35 °C y desarrollándose en presencia de sales biliares y otros agentes tenso activos. pueden hallarse tanto en heces como en el medio ambiente, por ejemplo aguas ricas en nutrientes, suelos y materias vegetales en descomposición. También hay especies que nunca se encuentran en las heces pero que se multiplican en el agua. (DIGESA 2007).

- **COLIFORMES THERMOTOLERANTES**

Son un subgrupo de coliformes totales, capaces de enfrentar la lactosa a 44.5 °C, proceden de las heces de animales de sangre caliente. Los termotolerantes diferentes de *escherichia coli* pueden proceder de aguas orgánicamente enriquecidas, como efluentes industriales, materias vegetales y suelos en descomposición. comprende a los géneros de *Escherichia* y en menor grado *klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter* (DIGESA 2007).

2.1.5. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará.

2.1.5.1. TIPOS Y ETAPAS DE TRATAMIENTO

- **Buzón colector:** Este depósito recibe todas las aguas residuales de la provincia de Concepción, con una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) de 550 mg/L y un caudal que varía alrededor de 110 L/s.
- **Cámara de rejas y canal Parshall:** En esta etapa, el agua residual se filtra para eliminar los materiales grandes mediante rejas, y los desechos retirados se destinan a un relleno sanitario. El canal Parshall se utiliza para medir el caudal de agua que entra a la planta de tratamiento.
- **Cámara de bombeo:** El agua residual, ya libre de partículas grandes, se almacena temporalmente en una poza antes de ser bombeada hacia el decantador primario.
- **Decantador primario:** En este tanque de 950 m³, los lodos más pesados se separan de los lodos en suspensión. Los lodos más densos se dirigen al digestor, mientras que los lodos suspendidos continúan hacia el biorreactor.
- **Reactor biológico o bioreactor:** Con una capacidad de 3520 m³, este tanque oxigena el agua residual utilizando equipos que generan burbujas finas. Esto activa los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica. El tratamiento dura 6 horas, tras lo cual el agua pasa a un clarificador para separar los lodos del agua tratada.

2.2.5.2. PROCESOS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 02: Sistemas y procesos unitarios de tratamiento de aguas residuales

Sistemas de Tratamiento	Objetivo de Remoción	Principio o Proceso Unitario	Componente Físico
Tratamiento Preliminar	Sólidos gruesos y flotantes arenas. Aceites y grasas picos de calidad y caudal.	Cribado o Desbaste Sedimentación Decantación Homogenización	Rejas gruesas, rejas finas y tamices. Desarenador Trampa de grasas Tanque ecualizador
Tratamiento Primario	Materia Sedimentable	Sedimentación Digestión Anaerobia	Sedimentación primaria Tanque de Séptico Tanque Imhof Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente
Tratamiento Secundario o Biológico	Materia orgánica biodegradable Sólidos Suspendidos. Nitrógeno Amoniacal (NH ₄)	Estabilización biológica aerobia o anaerobia. Sedimentación secundaria. Nitrificación	Intensivos: Reactor de lodos activados. Filtros. Percoladores. Discos biológicos. Extensivos: Infiltración-percolación. Filtro Plantado horizontal. Filtro Plantado vertical.

Sistemas de Tratamiento	Objetivo de Remoción	Principio o Proceso Unitario	Componente Físico
			Lagunas de Estabilización.
tratamiento Terciario o Avanzado	Sólidos Suspendidos patógenos	Desnitrificación Asimilación biológica de nutrientes. Filtración Desinfección	Precipitación química de fósforo Filtro Plantado (wetlands). Filtración de arena y/o antracita. Ultrafiltración (membranc) Cloración, UV, O ₅ , ClO ₂

Nota. Guía técnica de sistemas municipales de tratamiento de aguas residuales (ANA, 2018).

2.2.5.2.1. EFLUENTE

Los efluentes no domiciliarios, que provienen de actividades industriales, comerciales e institucionales, son una fuente diversa y compleja de contaminación. Estos efluentes pueden contener residuos similares a los domésticos, como los provenientes de los servicios sanitarios en estos lugares. Su clasificación es difícil debido a la variedad de industrias y comercios involucrados. Aunque se pueden agrupar por los contaminantes identificados o por el tipo de actividad económica, como en la industria alimentaria o metalúrgica, esta clasificación presenta limitaciones, ya que los efluentes generados por un centro comercial con servicios de alimentos, por ejemplo, serán diferentes a los de uno sin ellos. Para comprender adecuadamente estos efluentes y garantizar su tratamiento,

es esencial realizar un análisis detallado de su composición. Esto no solo ayuda a cumplir con las normativas ambientales, sino que también facilita el diseño eficiente de los sistemas de tratamiento, asegurando una gestión adecuada de las aguas residuales (Orellana, 2005).

Tabla 03: Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de Efluentes para vertidos a cuerpos de agua.
Aceites y Grasas	mg/l	20
Coliformes Termo Tolerantes	NMP/100 ml	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	200
PH	Unidad	6.5 - 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	ml/l	150
Temperatura	°C	≤ 35

Nota. Obtenido de D.S.003-MINAM, 2010

2.1.6. MICROORGANISMOS EFICACES

Los microorganismos eficaces (EM) son una mezcla de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, desarrollada por el Dr. Teruo Higa en los años 80 en Okinawa, Japón. Esta biotecnología se utiliza en áreas como agricultura, veterinaria y remediación ambiental, incluyendo el tratamiento de agua. En la producción de compost, los EM actúan como inoculantes en las primeras etapas y durante todo el proceso. Estos microorganismos heterotróficos requieren fuentes orgánicas de carbono y nitrógeno, siendo más efectivos cuando se aplican con enmiendas orgánicas. Los EM son consorcios naturales no

modificados genéticamente, que incluyen bacterias fotosintéticas, levaduras, bacterias lácticas y hongos (Romero, 2020).

2.1.6.1. COMPOSICIÓN DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES

La tecnología de EM se fundamenta en la combinación de diversos tipos de microorganismos beneficiosos que poseen capacidades de fermentación, producción de sustancias bioactivas y mecanismos de competencia y antagonismo frente a patógenos. Estas características contribuyen a mantener un equilibrio natural entre los microorganismos presentes en el entorno, lo que genera efectos positivos en la salud y el bienestar (Centeno et al., 2019).

- **BACTERIAS FOTOSINTÉTICAS.** Los microorganismos EM son autónomos y producen compuestos como ácidos orgánicos, aminoácidos, hormonas, azúcares y vitaminas, que favorecen el crecimiento de bacterias heterótrofas y, a su vez, el desarrollo de las plantas. Estas bacterias son esenciales en los EM, ya que potencian las funciones de otros microorganismos. (Morocho & Mora, 2019).

Estas bacterias fotosintéticas usan la luz solar y el calor para generar compuestos útiles a partir de raíces, materia orgánica y gases nocivos. Los productos que sintetizan favorecen el crecimiento de otros microorganismos y ayudan a reducir malos olores. También producen enzimas que descomponen compuestos.

- **BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS.** Estas bacterias fotosintéticas utilizan la luz solar y el calor para generar compuestos útiles a partir de raíces, materia orgánica y gases nocivos. Los productos que sintetizan favorecen el crecimiento de otros microorganismos y ayudan a reducir malos olores. También producen enzimas que descomponen compuestos. Para un crecimiento óptimo y un rendimiento metabólico eficiente, estas bacterias requieren condiciones específicas, como una temperatura de 37 °C durante tres días o 30 °C durante cinco días en un ambiente controlado. Además, se ha encontrado que un nivel de dióxido de carbono del 5% favorece su desarrollo (Delgado, 2019).

- **ACTINÓMICETOS.** Las actinobacterias son bacterias Gram positivas que se encuentran en el suelo y desempeñan un papel crucial en el reciclaje de la materia orgánica, descomponiendo materiales y formando humus. Producen sustancias antimicrobianas que eliminan hongos y patógenos a partir de azúcares y aminoácidos generados por bacterias fotosintéticas. Su interacción con estas bacterias mejora la actividad microbiana y contribuye a la regeneración de la calidad del suelo (Giraldo, 2019).
- **LEVADURAS.** Las levaduras en el EM desempeñan un papel crucial al sintetizar sustancias antimicrobianas, aminoácidos y azúcares que son secretados por las bacterias fotosintéticas. Estos compuestos ayudan a mantener el equilibrio microbiano, favoreciendo el crecimiento de microorganismos benéficos y contribuyendo al control de patógenos en el entorno (Morocho & Mora, 2019).

Las levaduras del EM son capaces de descomponer la materia orgánica de manera rápida, generando compuestos como ésteres, alcohol y sustancias antimicrobianas. Este proceso contribuye a la desodorización y previene la aparición de gusanos e insectos perjudiciales en el entorno (Giraldo, 2019).

2.1.6.2. MICROORGANISMOS EFICACES EN EL TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

El tratamiento de aguas residuales requiere analizar la relación entre la capacidad de los microorganismos nativos para metabolizar materia orgánica y el nivel de contaminación presente. La interacción sinérgica de los tres grupos de microorganismos en los EM Agua optimiza la eficiencia del proceso, generando beneficios como la disminución de DBO, DQO, turbidez y sólidos suspendidos, además de estabilizar el pH y el oxígeno disuelto. También contribuye a la degradación de aceites y grasas, reduce malos olores y lodos sedimentados, y disminuye o elimina la concentración de microorganismos patógenos (Delgado, 2019).

2.1.6.3. ACTIVACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES (EM)

Los EM se encuentran disponibles en estado inactivo y para su uso requieren ser activados antes de la aplicación. Para ello la temperatura del ambiente tiene una influencia marcada sobre los EM ya que tiene un impacto sobre su supervivencia. Para la activación de los microorganismos eficaces EM es necesario contar con un recipiente de plástico con tapa hermética. Para cualquier volumen a preparar, las proporciones utilizadas son: 5 % de EM, 5 % de melaza y 90 % de agua a (35°C). Un litro de EM rinde 20 litros de EM-Activado.

2.1.6.4. ETAPAS EN LA APLICACIÓN DEL EM ÁGUA

A. APLICACIÓN DE CHOQUE:

Esta representa la primera interacción del EM Agua con el medio acuático, donde los microorganismos comienzan a adaptarse a las características propias de las aguas residuales. En este contexto, las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas juegan un papel fundamental en la gestión y el tratamiento del EM Agua, afectando su eficacia y desempeño en el tratamiento de aguas residuales (Lapa, 2014).

B. APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO:

La aplicación de mantenimiento, o optimización, se realiza entre los días 13 y 15 del tratamiento. Su objetivo es asegurar que todos los microorganismos en la planta estén activos para una depuración completa del agua. La cantidad de microorganismos necesarios varía según el volumen de agua a tratar (Delgado, 2019).

2.1.7. CRITERIOS BÁSICOS DE DISEÑO

El tratamiento de aguas residuales es esencial para el desarrollo poblacional, y su optimización depende de un diseño eficiente más allá de la construcción. Un factor clave en el uso de microorganismos es la aireación, que suministra oxígeno a la mezcla de agua residual y organismos aerobios y anaerobios, facilitando la transferencia de oxígeno disuelto y la eliminación de compuestos como dióxido de carbono, H₂S, metano, hierro y amoníaco. . En procesos como los lodos activados, el nivel óptimo de oxígeno disuelto

oscila entre 0,2 y 2,0 mg/L para satisfacer las necesidades bacterianas. Sin embargo, no se dispone de datos específicos sobre los requisitos (Delgado, 2019).

2.1.7.1. FACTOR CLIMÁTICO

Temperatura ambiental. Las condiciones climáticas influyen significativamente en el tratamiento de aguas residuales, ya que la temperatura afecta directamente la actividad bacteriana. En zonas tropicales, las temperaturas varían entre 22 °C y 40 °C, mientras que en áreas de mayor altitud, superiores a 3200 msnm, fluctúan entre menos de 0 °C y 25 °C. A temperaturas normales del agua, la velocidad de degradación en una planta de tratamiento aumenta con el calor, potenciando la actividad microbiológica. Sin embargo, las bajas temperaturas ralentizan estos procesos, ya que una disminución de 10 °C puede reducir la actividad bacteriana hasta en un 50 % (Gonzales & Quispe, 2020).

2.1.7.2. CRECIMIENTO Y MUERTE DE LAS BACTERIAS

El crecimiento de las bacterias implica un complejo proceso metabólico que se divide en reacciones anabólicas y catabólicas. Las catabólicas descomponen moléculas complejas liberando energía, mientras que las anabólicas requieren energía para formar nuevas moléculas. Las bacterias, organismos unicelulares compuestos en un 80% de agua, se encuentran donde hay alimento y humedad. Existen diversas especies consideradas en el tratamiento de efluentes, como *Pseudomonas* y *Nitrobacter*, cada una con diferentes necesidades nutricionales y condiciones de crecimiento. Se clasifican según su tolerancia a la temperatura: criófilas, mesófilas y termófilas. Respecto al oxígeno, pueden ser aeróbicas, anaeróbicas o facultativas. Según su fuente de energía, se dividen en heterótrofas y autótrofas. También es crucial el pH en el crecimiento bacteriano, siendo óptimo entre 6.5 y 7.5. Las actividades metabólicas de las bacterias alteran el pH, por lo que el medio debe amortiguar estos cambios para permitir su crecimiento sostenido. Este entendimiento es fundamental para aplicarlo en campos como la biotecnología y el tratamiento de efluentes.

2.1.7.3. FASES DEL CRECIMIENTO BACTERIANO

Las células crecen y se reproducen a medida que los nutrientes se introducen en ella y se procesan para formar nuevos materiales celulares. El material nuclear se reproduce y se distribuye en la célula, se forma una pared celular o septo que divide la bacteria y la separa en dos células viables, este proceso es llamado fisión binaria. El tiempo requerido para cada fisión se denomina tiempo de generación, y puede variar desde días a menos de veinte minutos. Es importante resaltar que las bacterias no se dividen indefinidamente, lo hacen en la medida que existan condiciones ambientales favorables, tales como concentración de nutrientes, condiciones físicas, el tamaño del sistema en el cual se encuentran, etc.

A. FASE DE LATENCIA

En esta fase las células se ajustan a su nuevo medio, puede ser que les falten ciertas enzimas o coenzimas necesarias para metabolizar los nutrientes circundantes; por consiguiente, las células deben sintetizar estas enzimas. A medida que se forma un nuevo protoplasma las células individuales aumentan de tamaño más allá de sus límites normales. Cuando este periodo de ajuste ha terminado, la célula puede dividirse y comenzar a reproducirse de manera normal.

B. FASE DE CRECIMIENTO LOGARÍTMICO

Al final de la fase de latencia ocurre que la población bacteriana se duplica a intervalos regulares determinados por su tiempo de generación y su capacidad de procesar alimento. En condiciones óptimas este es el periodo de más rápido crecimiento, durante este periodo la población bacteriana tiene la máxima uniformidad en términos de composición química, tasas metabólicas y otras características fisiológicas.

C. FASE ESTACIONARIA

La fase de rápido crecimiento no es constante, se ve afectada por diferentes factores como por ejemplo alimento que se limita, y las células comienzan a morir. Esto da por resultado una disminución de la velocidad de crecimiento hasta que la misma alcanza un valor de cero. Cuando el número de células nuevas que se producen es igual a las que

mueren, se alcanza un equilibrio dinámico, en el cual la población ya no aumenta. La razón de la interrupción de la fase de crecimiento casi siempre es el agotamiento de uno o más nutrientes.

D. FASE DE MUERTE Y FASE ENDÓGENA

Durante esta fase, la tasa de muerte de las bacterias excede la producción de células nuevas. La tasa de muerte por lo general es en función de la población viable y de las condiciones ambientales. En esta fase los microorganismos se ven forzados a metabolizar su propio protoplasma sin reposición del mismo, ya que la concentración de alimento disponible se encuentra en un mínimo. En esta etapa puede suceder el fenómeno de lisis, según el cual los nutrientes que se encuentran en las células muertas se difunden, proporcionando alimento a las células vivas existentes; en esta etapa ocurre el fenómeno de canibalismo bacteriano.

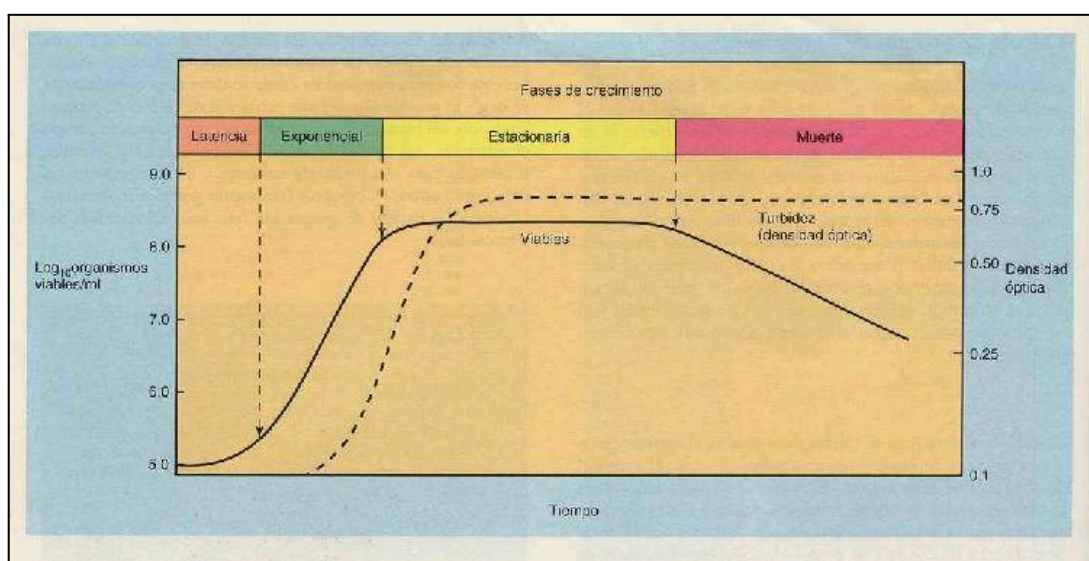


Figura 01: Curva representativa de crecimiento bacteriano

Nota. Obtenido de Metcalf & Eddy inc.2005

2.2. MARCO LEGAL

- **Ley General de Aguas - Decreto Legislativo N.º 17752**

Establece los principios generales para la protección, conservación y uso racional de los recursos hídricos en el Perú.

- **Ley N.º 29338, Ley de Recursos Hídricos**

Regula la gestión integrada y sostenible del agua, priorizando el abastecimiento humano y la conservación ambiental.

- **Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (D.S. N.º 001-2010-AG)** Detalla aspectos específicos sobre la gestión y el uso de recursos hídricos, incluyendo la calidad del agua.

- **Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua (D.S. N.º. 004-2017-MINAM)**

Define los niveles de calidad del agua en función de sus usos, incluyendo el tratamiento de efluentes y el vertimiento a cuerpos receptores.

- **Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de (PTAR) domésticas o municipales, para el Sector Vivienda. Norma: D. S. N.º. 003-2010-MINAM**

Regula las actividades relacionadas con el tratamiento, la disposición y el reúso de aguas residuales domésticas y no domésticas.

- **Decreto Supremo N.º 010-2020-MINAM**

Modifica los estándares de calidad ambiental para el agua y establece parámetros relacionados con la protección de ecosistemas acuáticos.

2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación de los (EM) mejora significativamente la calidad del efluente de la PTAR de Yanamayo, reduciendo los parámetros físicos químicos y microbiológicos y cumpliendo así con los estándares ambientales establecidos.

2.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- El efluente de la planta de tratamiento de yanamayo sobrepasa los LMP. DS N° 003-2010 MINAM y ECA. DS. N° 004-2017- MINAN.
- La aplicación de microorganismos eficaces (EM) en el efluente de la PTAR de Yanamayo Puno, reduce notablemente los parámetros físicos químicos y microbiológicos, (DBO, DQO, SDT, pH, T° y Coliformes termotolerantes).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ZONA DE ESTUDIO

El proyecto de investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales situada en el centro poblado de Yanamayo, que forma parte de la microcuenca de Huerta Huaraya, en el distrito de Puno, provincia de Puno, departamento de Puno. Es importante destacar que el efluente generado por esta planta tiene un impacto significativo en la microcuenca, afectando a diversas comunidades campesinas que dependen de este recursos hídrico. La operación de la planta de tratamiento está bajo la supervisión de la Empresa Prestadora de Servicios (EPS) Municipal EMSA Puno S.A.

3.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Se encuentra ubicado a una altitud : 3360.00 m.s.n.m. y coordenadas UTM Este: 388945.7 - Norte: 8251941- en la Zona: 19 - Hemisferio: S.

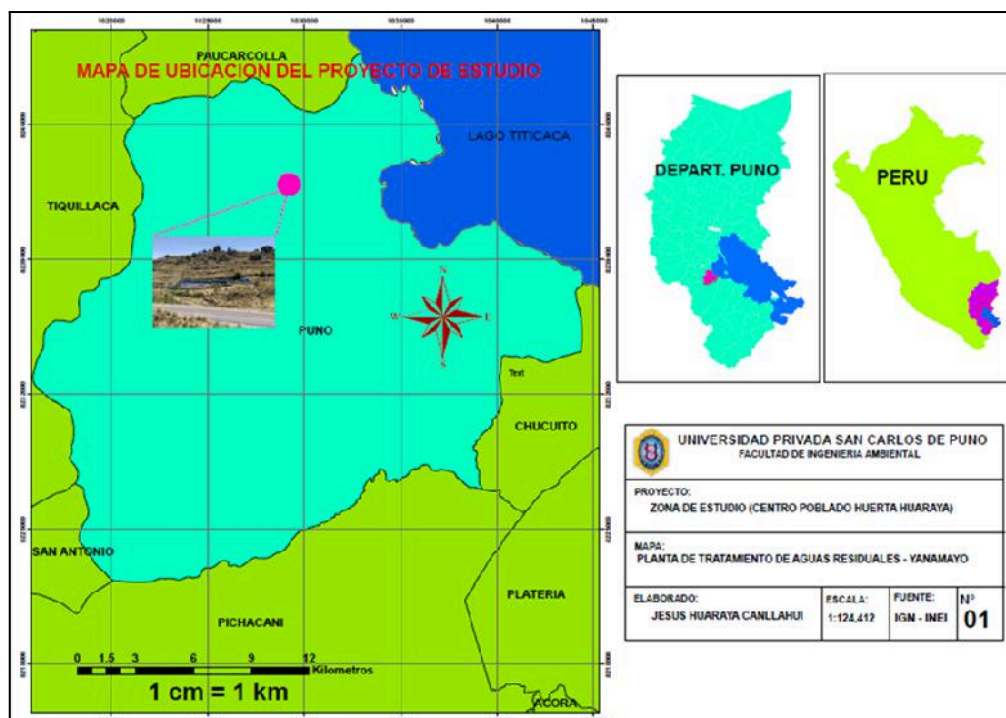


Figura 02: Ubicación del punto de muestreo en la zona de estudio

Nota. Obtenido de Google Maps, 2025

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población está constituida por el efluente de la Planta de Tratamiento (PTAR) de Yanamayo.

3.2.2. MUESTRA

La muestra consistió en la derivación del efluente de la PTAR Yanamayo hacia los 4 reactores inoculados con EM, que cuentan con un tiempo de retención diferente y aireación de burbuja fina.

3.3. MÉTODOS Y MATERIALES

3.3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es descriptiva, porque la muestra inicial se tomará directamente del efluente residual de la planta de tratamiento de aguas residuales de Yanamayo de acuerdo al protocolo de monitoreo de efluentes de PTAR, se realizará un análisis de laboratorio en donde se verá las características y parámetros que cuenta el efluente de la

PTAR Yanamayo. Posteriormente se aplicará microorganismos eficaces EM activado y aireado de burbuja fina, en el mismo efluente para ver el resultado que tienen sobre los parámetros antes evaluados. Con estos datos obtenidos se realizará cuadros comparativos y describir los resultados.

3.3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es experimental a nivel de laboratorio y campo. La selección del diseño de investigación más adecuado para este proyecto fue en función al objetivo del experimento.

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se utilizarán técnicas de muestreos y evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, recurriendo a herramientas estadísticas que permitirán analizar los parámetros del efluente residual de la PTAR Yanamayo. Esto posibilitará obtener datos numéricos y objetivos que serán procesados estadísticamente.

3.3.3. MÉTODO

Para desarrollar los objetivos se tomaron los siguientes procedimientos metodológicos. Para esta investigación, se empleará un método experimental cuantitativo. Consistirá en caracterizar el efluente de la PTAR de Yanamayo Puno. Aplicación de microorganismos eficaces (EM) en 4 cubos conteniendo 10 litros de aguas residuales provenientes del efluente de la planta de tratamiento Yanamayo - Puno. con un tiempo de retención distintos uno del otro. Este estudio medirá y comparará parámetros clave de calidad del agua residual (como DBO_5 , DQO, STS, pH y T°) antes y después de la aplicación de los EM, lo cual permitirá evaluar su efectividad. La experimentación se desarrollará en condiciones controladas y los datos obtenidos se analizarán estadísticamente para determinar el impacto de los microorganismos eficaces EM en la mejora de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

3.3.4. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

OBJETIVO NÚMERO 1

Caracterizar el efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo y ver si sobrepasa los LMP. DS N° 003-2010 MINAM y ECA. DS. N° 004-2017- MINAM.

El proyecto de investigación tomará como opción tomar el muestreo no probabilístico (muestreo de juicio u opinión). Se caracteriza por la sección a criterio investigador, teniendo como características el juicio y los conocimientos del lugar donde se realizará la muestra (Ortega, 2018).

- **FASE DE CAMPO:** Se tomará una muestra para determinar los parámetros del efluente residual de la PTAR Yanamayo Puno. esto con la finalidad de ver si se encuentra dentro de los LMP Y ECA. Nota: los registros de los parámetros in situ como PH, T° etc. se realizan en fichas técnicas. esto de acuerdo al protocolo de monitoreo.



Figura 03: Toma de muestra de efluente

Nota. En la imagen se muestra el tablero de información y el punto de la toma de la muestra del efluente de la ptar Yanamayo.



Figura 04: Toma de muestra en punto de mezcla en río

Nota. En la imagen se puede ver la toma de muestra 100 m abajo del punto de mezcla entre el efluente y el río.

- **FASE LABORATORIO:** Las muestras que se tomarán en el campo se destinarán a un laboratorio, donde se analizarán los parámetros físicos químicos y microbiológicos, así también se determinarán la cantidad de concentraciones con la que cuenta la muestra tomada.. Una vez que se tenga los resultados del laboratorio se podrá analizar, describir y comparar con los límites máximos permisibles LMP de efluentes y los estándares calidad ECA normas vigentes LMP. DS N° 003-2010 MINAM y ECA. DS. N° 004-2017- MINAM.

OBJETIVO NÚMERO 2

Evaluar la influencia de los microorganismos eficaces EM en la reducción de los niveles de contaminantes, específicamente de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (DBO₅, DQO, STS, pH, T° y Coliformes termotolerantes) en el efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo, Puno.

- El primero. Para la activación de los microorganismos eficaces EM es necesario contar con un recipiente de plástico con tapa hermética. Para cualquier volumen a

preparar, las proporciones utilizadas son: 5 % de EM, 5 % de melaza y 90 % de agua a (35°C). Un litro de EM rinde 20 litros de EM-Activado.



Figura 05: Activación de microorganismos EN

Nota. Se vierte el EM agua un litro para iniciar la inoculación.

- Segundo. del punto de descarga del efluente de la PTAR Yanamayo Puno, a la microcuenca. Se hará una captación e instalación de una línea de conducción de tubería HDPE de 1" x 100ml. una extensión de 300 metros. Una vez derivado el efluente se deposita en un cubo de homogeneización y distribución de caudales a los cubos, con su rebose dirigido a la cuenca.
- Tercero. instalación de la planta piloto a escala de laboratorio sistema que trabaja constantemente. Consta de 4 cubos de 10 litros de vidrio transparente, que permite una buena visibilidad de para ver qué sucede durante todo el proceso. El Cual se divide en 02 zonas, una zona aireada (reactor aireado), en donde se realiza la inoculación de los microorganismos eficaces (EM) donde se permitirá la remoción de los contaminantes mediante la formación de flocs biológicos suspendidos, con volúmenes determinados en función del tiempo de retención y la facilidad de operación. La otra zona denominada zona de sedimentación, en donde ocurra la separación del líquido y lodo (clarificación), a ambas zonas las divide una mampara de vidrio deslizante, dejando una abertura de entre 0.3mm a 1.6mm, para permitir que de la zona de sedimentación pase el lodo activado y decantado.



Figura 06: Sistema de tratamiento instalado

Nota. Se ve en las imágenes la instalación de la bomba de aire a cada reactor, como también se ve la instalación de los baldes de 20 L donde ingresará el efluente del reactor, una vez ya tratado con el EM.

- Cuarto. Instalación en la zona de aireación los difusores de 9.5 cm de diámetro, donde se inyecta oxígeno de burbuja fina, estas son alimentadas por un equipo de aireación de 9W de potencia. Esta aireación permitirá a los microorganismos (EM). Cada cubo contará con un tiempo de retención distinto uno del otro, esto con la finalidad de ver cual es más efectivo en la remoción de parámetros y contaminantes.



Figura 07: Línea de conducción de efluente

Nota. Se muestran las líneas de conducción del efluente a través de tubo de Polietileno hacia el domicilio donde se encuentra el reactor.

- Quinto. de la zona de sedimentación saldrá un efluente ya tratado por los microorganismos eficaces (EM) este se deposita en unas cubetas de donde se tomarán las muestras, que se llevarán para el análisis de laboratorio y además contará con un tubo de rebose con dirección a la microcuenca.



Figura 08: Efluente en sistema de tratamiento

Nota. Se muestra el ingreso del efluente captado de la PTAR Yanamayo hacia los reactores.



Figura 09: Se muestra la inoculación a los módulos con el EM activados, con un inicio de 2 L por reactor esto por recomendación bibliográfica, mezcla de choque

Nota. Se muestra la inoculación a los módulos con el EM activados, con un inicio de 2 L por reactor esto por recomendación bibliográfica, mezcla de choque.

- El tipo de toma de muestras del efluente del reactor serán muestreos compuestos. Conformado de la mezcla de muestras simples extraídas del mismo sitio, pero en momentos distintos. Este muestreo es frecuente realizarlo en plantas de tratamiento de aguas con la finalidad de evaluar su eficiencia. La toma de muestras se realizará una vez por semana durante el proceso de ejecución 01 mes. 4 muestras x 4 reactores un total de 16 muestras. Los envases que se utilizarán serán de acuerdo a las políticas de laboratorio, las cuales se harán debidamente etiquetados y la elaboración de la cadena de custodia para su transporte. El procedimiento se hará de acuerdo al protocolo de la Autoridad Nacional del Agua (R.J.N° 010-2016-ANA,s.f.)



Figura 10: Toma de muestras de efluentes tratados

Nota. Se muestra la toma datos y etiquetado de las muestras de los reactores 1 – 2 – 3 – 4.



Figura 11: Muestras en laboratorio

Nota. Se observan las muestras en una etapa de los análisis del laboratorio. MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C. esto en la ciudad de Puno. Como también se ve las instalaciones del laboratorio.

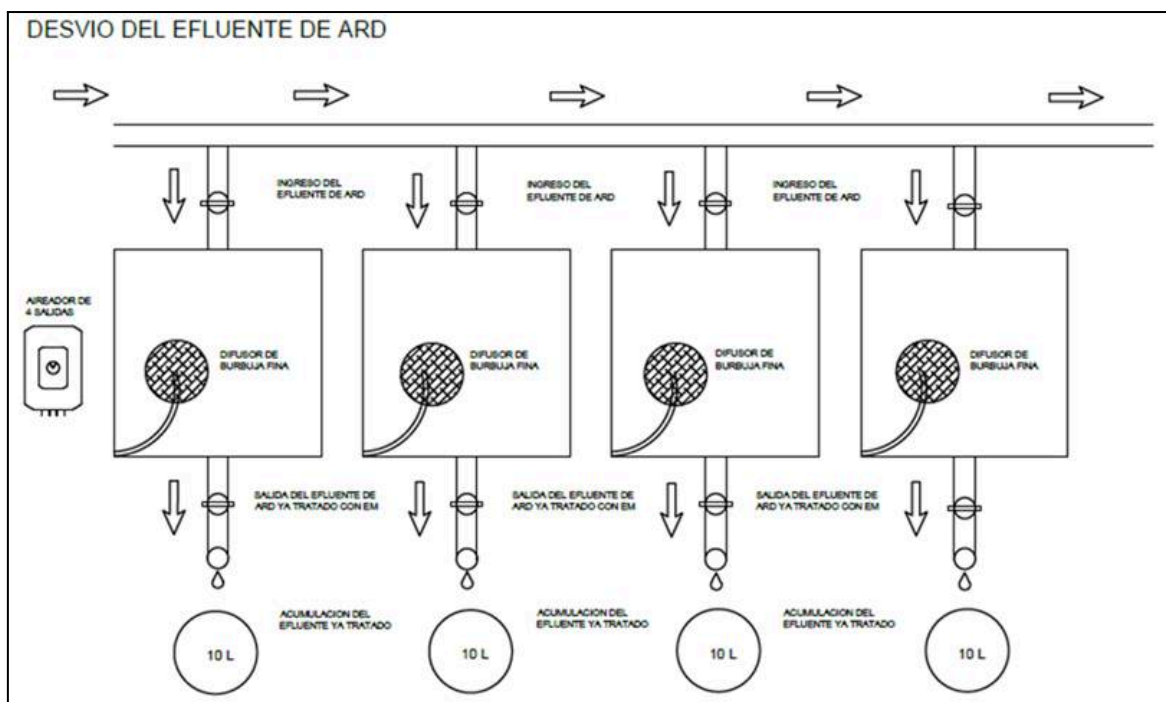


Figura 12: Gráfico de los 4 reactores Elaboración propia

Nota. Elaboración propia

3.3.5. MATERIALES

- Cubos de vidrio de 10 L
- Baldes de 20 litros
- Mangueras de plástico.
- Electro bomba.
- Agua destilada.
- Botellas de plástico de 1L ml.
- Chaleco.
- Guantes de látex y mascarillas.
- 01 cooler.
- Llaves de paso
- Alambre
- Teflon - cutter - pegamento
- Codos
- Tubos de media pvc

- Niples pvc
- 2 mesas
- Cono imhoff
- Cable
- Focos
- Tomacorrientes
- Pizarra
- Jarra con medida de L
- Cinta aislante
- Silicona
- GPS
- Lentes de protección
- Electricidad
- Laptop
- EM agua
- Melaza L
- Galonera de 20 L

3.4. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

Variable independiente : Microorganismos eficaces (EM).

Variable dependiente : DBO, DQO, STS,pH y T°.

CAPÍTULO IV

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. LAS CARACTERÍSTICAS DEL EFLUENTE DE LA PTAR YANAMAYO CON RESPECTO A LOS LMP. DS N° 003-2010 MINAM Y ECA. DS. N° 004-2017- MINAM.

4.1.1. AFLUENTE Y EFLUENTE

En la presente sección se muestran los resultados obtenidos del análisis físico-químico, organoléptico y microbiológico del afluente y efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo, con el propósito de evaluar su calidad y determinar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua – DS N° 004-2017-MINAM. Los parámetros evaluados fueron clasificados en organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos, permitiendo así caracterizar integralmente el comportamiento del agua antes y después del tratamiento. Asimismo, se identificaron los valores que no cuentan con LMP específicos, los cuales fueron interpretados con base en su comportamiento respecto al afluente, a fin de evaluar la eficiencia del proceso de tratamiento.

El afluente de la planta presentó un aspecto turbio, color gris y olor fétido, evidenciando la alta carga orgánica y presencia de materia en suspensión típica de aguas residuales domésticas. En cuanto a las características físicas, el afluente mostró un pH de 8, dentro del rango neutro a ligeramente alcalino, una conductividad eléctrica (CE) de 2.78 mS/cm, indicativa de elevada concentración de sales disueltas, y una temperatura de 14°C, significativamente menor al límite de 35°C establecido en la normativa. Respecto a los parámetros químicos, los sólidos disueltos totales (1.38 g/L) y la dureza total (258.4 mg/L) reflejan la presencia de iones minerales, mientras que la alcalinidad (909.38 mg/L) y los

cloruros (337.5 mg/L) confirman un carácter básico y salino. La DBO₅ (192 mg/L) y DQO (480 mg/L) demuestran una alta carga orgánica biodegradable y total, respectivamente, indicando una baja eficiencia de depuración previa al tratamiento. Finalmente, el análisis microbiológico reportó valores elevados de coliformes totales (>80,000 NMP/100 mL) y coliformes termotolerantes (>45,000 NMP/100 mL), evidenciando una importante contaminación fecal en el afluente que ingresa al sistema de tratamiento.

Tabla 04: Resultados físicos – Afluente y efluente

PARÁMETROS	UNIDAD	M1	M1 – 2	LMP
		AFLUENTE	EFLUENTE	
pH	-	8	8.61	6.5-8.5
C.E	mS/cm	2.78	2.41	-
Temperatura (°C)	°C	14	14	<35

Nota. Resultados de informe de laboratorio

El efluente tratado de la planta de Yanamayo presentó ligeras mejoras respecto al afluente, sin embargo, algunos parámetros aún superan los límites permisibles establecidos. El pH (8.61) sobrepasa ligeramente el rango máximo permitido (6.5-8.5), lo que podría deberse a la persistencia de compuestos alcalinos no neutralizados. En cuanto a los parámetros críticos de contaminación orgánica, la DBO₅ disminuyó de 192 a 174 mg/L y la DQO de 480 a 435 mg/L, reflejando una reducción del 9.4% y 9.3% respectivamente, aunque ambos valores permanecen por encima de los LMP (100 mg/L para DBO₅ y 200 mg/L para DQO), evidenciando una eficiencia limitada del tratamiento biológico. Por otro lado, la temperatura (14°C) cumple con la normativa (<35°C), mostrando que el proceso no incrementa la temperatura del efluente. En el ámbito microbiológico, los coliformes termotolerantes (>32,000 NMP/100 mL) se redujeron en 28.8% respecto al afluente, pero aún superan el LMP de 10,000 NMP/100 mL, lo que indica que el sistema no garantiza una desinfección adecuada. En general, aunque se observa una mejora parcial en la calidad del efluente, este no cumple con los estándares

exigidos por el MINAM, lo que denota la necesidad de optimizar el tratamiento o aplicar tecnologías complementarias, como la incorporación de microorganismos eficaces (EM).

Tabla 05: Resultados químicos – Afluente y efluente

PARÁMETROS		UNIDAD	M1	M1 – 2	LMP
			AFLUENTE	EFLUENTE	
Sólidos	Disueltos	g/l	1.38	1.2	-
Totales					
Dureza	Total (como CaCO ₃)	mg/l	258.4	235.6	-
Alcalinidad	(como CaHCO ₃)	mg/l	909.38	887.2	-
Cloruros (como Cl ⁻)		mg/l	337.5	329	-
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)		mg/l	360	360	-
Nitratos (como NO ₃ ⁻)		mg/l	2.2	2.23	-
Calcio (como Ca ⁺⁺)		mg/l	74.48	71.44	-
Magnesio (como Mg ⁺⁺)		mg/l	17.4	13.7	-
Demanda	Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	192	174	100
Demanda	Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	480	435	200

Nota. Resultados de informe de laboratorio.

Los parámetros que no cuentan con límites máximos permisibles específicos (conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, nitratos, calcio, magnesio y coliformes totales) fueron analizados en función de su variación entre afluente y efluente. Se observó una disminución general en la mayoría de ellos, como los sólidos disueltos totales (de 1.38 a 1.2 g/L), dureza (de 258.4 a 235.6 mg/L), alcalinidad (de 909.38 a 887.2 mg/L) y cloruros (de 337.5 a 329 mg/L), lo que evidencia cierta capacidad del sistema para remover sales disueltas y compuestos

iónicos. El calcio y magnesio también disminuyeron, sugiriendo una ligera reducción de la dureza total del agua. En contraste, los sulfatos (360 mg/L) y nitratos (≈ 2.2 mg/L) permanecieron prácticamente constantes, lo que sugiere que estos compuestos no son significativamente tratados en el sistema actual. En cuanto a los coliformes totales, aunque se redujeron de $>80,000$ a $>72,000$ NMP/100 mL, el valor sigue siendo indicativo de una fuerte carga microbiológica residual. Estos resultados, si bien muestran pequeñas mejoras, reflejan que el tratamiento convencional presenta eficiencia limitada para ciertos compuestos disueltos y microorganismos, por lo que la aplicación de microorganismos eficaces (EM) podría contribuir a mejorar la calidad final del efluente.

Tabla 06: Resultados microbiológicos – Afluente y efluente

PARÁMETROS	UNIDAD	M1 AFLUENTE	EFLUENTE	
			M1 – 2	LMP
Coliformes totales	NMP/100ml	$>80,000$	$>72,000$	-
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	$>45,000$	$>32,000$	10000

Nota. Resultados de informe de laboratorio.

4.1.2. PUNTO DE MEZCLA - RIO

En el presente apartado se muestran los resultados obtenidos del análisis de las muestras colectadas en el punto de mezcla del río adyacente a la planta de tratamiento de Yanamayo, con el objetivo de determinar la influencia del efluente sobre la calidad del cuerpo receptor. La evaluación se realizó considerando los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, Categoría 4 – Subcategoría E2 (ríos de sierra), establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, los cuales están orientados a la protección de la vida acuática y el uso del agua con fines de preservación del ambiente acuático. Los parámetros analizados incluyeron variables organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, lo que permitió realizar una evaluación integral del estado de calidad del agua posterior al vertimiento del efluente tratado.

Tabla 07: Resultados físicos – Punto de mezcla

PARÁMETROS	UNIDAD	M2	ECA C4-E2-SIERRA
pH	-	7.94	6.5-9
C.E	μS/cm	1590	1000
Temperatura (°C)	°C	14	Δ 3

Nota. Resultados de informe de laboratorio

El agua del río en el punto de mezcla presentó aspecto turbio, color gris y olor fétido, condiciones que reflejan el impacto visual y olfativo negativo derivado del aporte del efluente tratado. En cuanto a los parámetros físicos, el pH (7.94) se encuentra dentro del rango permitido por el ECA (6.5–9), indicando una condición neutra favorable; sin embargo, la conductividad eléctrica (1590 μS/cm) supera el valor de referencia (1000 μS/cm), lo que sugiere una elevada presencia de sales disueltas producto del aporte de aguas residuales. La temperatura (14°C) cumple con el criterio establecido (variación menor a 3°C respecto al cuerpo receptor natural), mostrando que el vertimiento no genera alteraciones térmicas significativas.

Respecto a los parámetros químicos, la concentración de nitratos (2.1 mg/L) se encuentra por debajo del valor máximo de 13 mg/L, indicando ausencia de contaminación por compuestos nitrogenados; sin embargo, los valores de DBO₅ (90.4 mg/L) y DQO (226 mg/L) evidencian una alta carga orgánica, excediendo ampliamente el límite permitido de 10 mg/L para DBO₅, lo cual denota una contaminación orgánica significativa que podría afectar la oxigenación y el equilibrio biológico del ecosistema acuático. En cuanto a la calidad microbiológica, la muestra mostró >16,000 NMP/100 mL de coliformes termotolerantes, superando en más de ocho veces el ECA (2,000 NMP/100 mL), lo que indica un riesgo sanitario y ecológico elevado por contaminación fecal. En conjunto, estos resultados reflejan que el punto de mezcla no cumple con los ECA establecidos para ríos de sierra, principalmente por los altos valores de conductividad, DBO₅ y coliformes termotolerantes, evidenciando la necesidad de mejorar el tratamiento previo al vertimiento.

Tabla 08: Resultados químicos – Punto de mezcla

PARÁMETROS	UNIDAD	M2	ECA C4-E2-SIERRA
Sólidos Disueltos Totales	g/l	0.79	-
Dureza Total (como CaCO ₃)	mg/l	254.6	-
Alcalinidad (como CaHCO ₃)	mg/l	621.04	-
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	164	-
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	280	-
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/l	2.1	13
Calcio (como Ca ⁺⁺)	mg/l	36.4	-
Magnesio (como Mg ⁺⁺)	mg/l	39.4	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	90.4	10
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	226	-

Nota. Resultados de informe de laboratorio.

Los parámetros sin valores de comparación directa en el ECA (sólidos disueltos totales, dureza, alcalinidad, cloruros, sulfatos, calcio, magnesio, DQO y coliformes totales) fueron interpretados considerando sus niveles relativos y la naturaleza del entorno. Los sólidos disueltos totales (0.79 g/L) y la conductividad eléctrica elevada confirman una importante presencia de sales iónicas disueltas, asociadas al vertimiento de aguas residuales domésticas parcialmente tratadas. La dureza (254.6 mg/L) y la alcalinidad (621.04 mg/L) indican un predominio de carbonatos y bicarbonatos, propios de aguas duras con alta capacidad tampón, mientras que los cloruros (164 mg/L) y sulfatos (280 mg/L) sugieren aportes de origen antrópico, posiblemente vinculados a residuos domésticos o detergentes.

Los niveles de calcio (36.4 mg/L) y magnesio (39.4 mg/L) se mantienen moderados, aunque contribuyen a la dureza total del agua. Por otro lado, la DQO (226 mg/L), aunque sin límite específico para esta categoría, confirma la presencia de materia orgánica

difícilmente biodegradable. Finalmente, los coliformes totales (>36,000 NMP/100 mL) indican una contaminación biológica severa, asociada a descargas sanitarias sin una desinfección efectiva. En conjunto, estos parámetros refuerzan que el agua del río en el punto de mezcla presenta una calidad comprometida por la carga orgánica, microbiológica y mineral, lo que sugiere la necesidad de implementar medidas de control y remediación complementarias.

Tabla 09: Resultados microbiológicos – Punto de mezcla

PARÁMETROS	UNIDAD	M2	ECA C4-E2-SIERRA
Coliformes totales	NMP/100ml	>36,000	-
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	>16,000	2000

Nota. Resultados de informe de laboratorio.

4.1.3. LA INFLUENCIA DE LOS EM EN LOS PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (DBO, DQO, SDT, PH, T° Y COLIFORMES TERMO TOLERANTES) EN EL EFLUENTE DE LA PTAR DE YANAMAYO.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico y microbiológico del efluente tratado con la aplicación de microorganismos eficaces (EM), considerando cuatro reactores experimentales con diferentes tiempos de retención hidráulica (12, 24, 36 y 48 horas por litro) (Tabla 10). El propósito de esta evaluación fue determinar la influencia de los EM sobre la reducción de los niveles de contaminantes, específicamente en los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales Disueltos (STD), pH, temperatura y coliformes termotolerantes, además de otros indicadores complementarios de calidad del agua. Las mediciones se realizaron por cuadruplicado para cada tratamiento, y los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) con el fin de identificar diferencias significativas entre los tiempos de retención, exceptuando la temperatura, que se mantuvo constante, y el análisis microbiológico, cuyos valores fueron bajos. Los resultados permiten evaluar la eficiencia de los microorganismos eficaces en la remoción

de la carga orgánica y en la mejora de la calidad del efluente, identificando el tiempo óptimo de retención para un tratamiento más eficiente en la planta de Yanamayo.

Tabla 10: Resultados fisicoquímicos de tratamientos experimentales

Tratamiento	pH	C.E	T°	STD	Dureza	Alcalinidad	Cloruros	Sulfatos	Nitratos	Ca	Mg	DBO	DQO
Total													
R - 01	7.94	1.75	14	0.87	497.8	266.16	215.59	360	1.2	150.48	29.34	113	286
R - 02	7.81	1.44	14	0.72	459.8	243.98	204.24	360	1.15	129.09	33.01	108	272
R - 03	7.69	1.75	14	0.87	551	232.89	221.27	360	1.25	174.8	27.51	106	267
R - 04	6.86	1.61	14	0.8	532	221.1	224.1	360	1.2	179.36	25.07	103	258
R - 01	7.86	1.7	15	0.85	490.8	260.1	214.5	379	1.1	140.4	20.34	112	279
R - 02	7.67	1.4	15	0.7	457.8	249.2	202.3	350	1.12	120.2	30.01	107	268
R - 03	6.91	1.75	15	0.84	545	238.8	221.3	340	1.24	164.8	27.51	105	263
R - 04	6.13	1.58	15	0.79	530	220.81	220.1	351	1.1	170.3	22.31	100	251
R - 01	7.7	1.75	13	0.63	401	261.16	212.5	364	1.1	130.48	28.3	107	267
R - 02	6.79	1.44	13	0.7	409.85	213.98	200.22	362	1.05	119.2	32	98	245
R - 03	6.74	1.75	13	0.85	541	230.89	228.2	363	1.06	164.8	26.51	96	241
R - 04	5.61	1.61	13	0.75	522	211.8	220.1	358	1.25	160.3	19.18	94	234
R - 01	7.7	1.6	12	0.8	487.02	260.17	227	340	1.1	140.48	30.24	98	244
R - 02	6.79	1.54	12	0.75	450.81	240.9	200.2	330	1.05	139.21	31.01	96	240

Tratamiento	pH	C.E	T°	STD	Dureza	Alcalinidad	Cloruros	Sulfatos	Nitratos	Ca	Mg	DBO	DQO
Total													
R - 03	5.63	1.35	12	0.67	561.05	230.88	221.28	350	1.35	134.81	21.51	95.6	239
R - 04	5.48	1.41	12	0.7	530.02	211.86	214.18	360	1.11	169.63	21.18	90.8	227

Nota. Resultados de informe de laboratorio.

4.1.4. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

Previo al análisis de varianza, se verificaron los supuestos estadísticos de normalidad y homogeneidad de varianzas, obteniéndose valores de $p = 0.887$ y $p = 0.226$ respectivamente, ambos superiores a 0.05. Esto indica que los datos del potencial de hidrógeno (pH) presentan una distribución normal y varianzas homogéneas entre los tratamientos, cumpliendo así los requisitos para la aplicación de un ANOVA paramétrico de un factor (Fisher). Por lo tanto, se empleó este modelo estadístico con el fin de determinar si existen diferencias significativas en los valores de pH entre los distintos tiempos de retención (12, 24, 36 y 48 horas) en los reactores con microorganismos eficaces (EM).

Tabla 11: ANOVA de Un Factor - pH

ANOVA de Un Factor (Fisher)				
	F	gl1	gl2	p
pH	6.44	3	12	0.008

Nota. Resultados de análisis estadístico

El análisis de varianza de un factor mostró un valor de $F = 6.44$ con $p = 0.008$, evidenciando que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) en los valores de pH entre los tratamientos con distintos tiempos de retención. Este resultado sugiere que el tiempo de permanencia del efluente en el reactor influye directamente en la variación del pH, lo que refleja la actividad metabólica diferencial de los microorganismos eficaces durante el proceso de tratamiento. En general, se observa una tendencia descendente del pH conforme aumenta el tiempo de retención, lo que podría atribuirse a la producción de metabolitos ácidos (como ácidos orgánicos y lácticos) generados por los EM durante la degradación de la materia orgánica, provocando una ligera acidificación del medio.

Tabla 12: Análisis post hoc - pH

		12h	24h	36h	48h
12h	Diferencia de medias	—	0.535	1.058	1.780
	valor p	—	0.601	0.111	0.006
24h	Diferencia de medias		—	0.522	1.245
	valor p		—	0.618	0.052
36h	Diferencia de medias			—	0.722
	valor p			—	0.362
48h	Diferencia de medias				—
	valor p				—

Nota. Resultados de análisis estadístico

El análisis post hoc mediante la prueba de Tukey permitió identificar las diferencias significativas entre pares de tratamientos. Los resultados mostraron que la diferencia entre los tratamientos de 12 h y 48 h es estadísticamente significativa ($p = 0.006$), mientras que las comparaciones entre los demás tiempos (12 h–24 h, 12 h–36 h, 24 h–36 h, 24 h–48 h, 36 h–48 h) no presentaron diferencias significativas ($p > 0.05$). Este comportamiento indica que el mayor cambio de pH se alcanza a las 48 horas de retención, tiempo en el cual el pH disminuye significativamente respecto al inicial. Por lo tanto, se determina que el tratamiento con 48 horas de retención (R4) representa el tiempo óptimo, dado que evidencia una mayor actividad de los EM y una reducción más marcada del pH, favoreciendo la estabilización del efluente y la mejora de las condiciones fisicoquímicas del agua tratada.

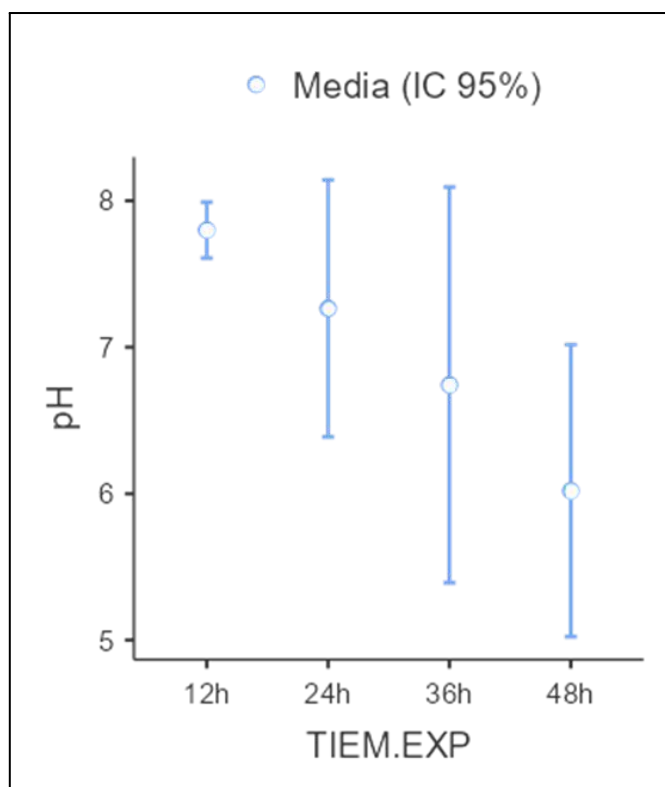


Figura 13: Gráfico de cajas y bigotes para pH

Nota. Se muestra la comparación de grupos para pH

4.1.5. SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS

En el caso de los sólidos totales disueltos (STD), el valor de normalidad obtenido ($p = 0.021$) es menor a 0.05, lo que indica que los datos no siguen una distribución normal. Sin embargo, el valor de homogeneidad ($p = 0.163$) es mayor a 0.05, cumpliéndose el supuesto de igualdad de varianzas. Dado que no se cumplen ambos supuestos simultáneamente, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, adecuada para comparar varios grupos independientes cuando los datos no presentan normalidad.

Tabla 13: Anova de Kruskal-Wallis - Sólidos totales disueltos

Kruskal-Wallis			
	χ^2	gl	p
STD	3.22	3	0.359

Nota. Resultados de análisis estadístico

El análisis de Kruskal-Wallis arrojó un valor de $\chi^2 = 3.22$ con 3 grados de libertad y un valor $p = 0.359$, superior al nivel de significancia de 0.05. Esto indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tiempos de evaluación para el parámetro de sólidos totales disueltos. En otras palabras, el tiempo de exposición no tuvo un efecto significativo sobre la concentración de sólidos disueltos en las muestras analizadas.

Debido a que el valor p obtenido en la prueba de Kruskal-Wallis fue mayor a 0.05, no fue necesario realizar un análisis post hoc o comparaciones múltiples entre los tiempos de evaluación. Por lo tanto, no se identificó un tiempo óptimo para este parámetro, ya que los valores de sólidos totales disueltos se mantuvieron sin diferencias significativas entre los grupos analizados.

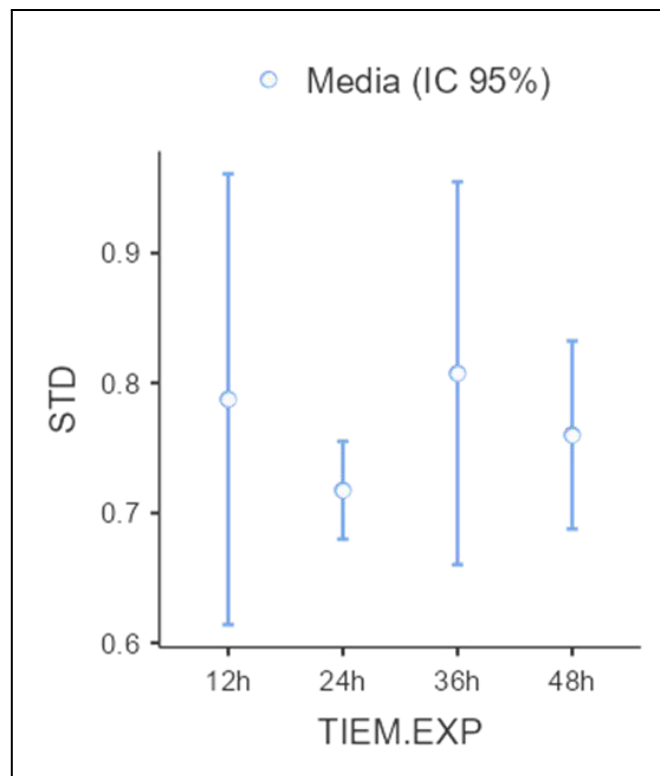


Figura 14: Gráfico de cajas y bigotes para STD

Nota. Se muestra la comparación de grupos para sólidos totales disueltos

4.1.6. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

En primer lugar, los resultados de los supuestos indican que el valor de normalidad ($p = 0.021$) es menor que 0.05, mientras que el de homogeneidad ($p = 0.971$) es mayor que 0.05. Esto implica que no se cumple el supuesto de normalidad, aunque sí el de homogeneidad de varianzas. Dado que no se cumplen ambos criterios de manera simultánea, corresponde aplicar una prueba no paramétrica, por lo cual se utilizó el test de Kruskal-Wallis para comparar las concentraciones de DBO entre los distintos tiempos de tratamiento (12h, 24h, 36h y 48h).

Tabla 14: Anova de Kruskal-Wallis - DBO

Kruskal-Wallis			
	χ^2	gl	p
DBO	5.48	3	0.140

Nota. Resultados de análisis estadístico

El resultado del análisis de Kruskal-Wallis muestra un valor de $\chi^2 = 5.48$, con $gl = 3$ y un $p = 0.140$, lo cual indica que no existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de DBO entre los distintos tiempos evaluados ($p > 0.05$). Esto sugiere que el tiempo de tratamiento no influyó de manera significativa sobre la demanda bioquímica de oxígeno en las condiciones del estudio.

Dado que no se encontró significancia en el análisis global, no es necesario aplicar pruebas post hoc o comparaciones múltiples. En consecuencia, no se identifica un tiempo óptimo, ya que los valores de DBO se mantuvieron estadísticamente similares entre todos los periodos evaluados.

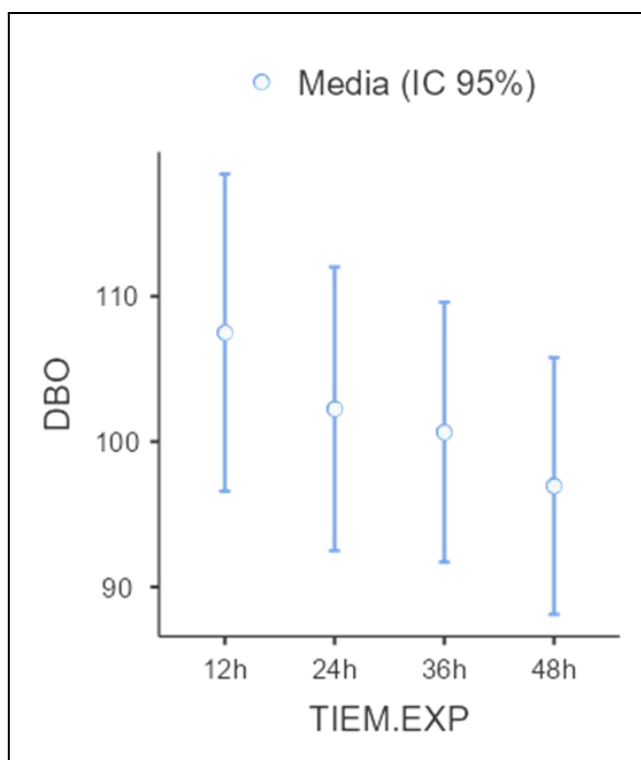


Figura 15: Gráfico de cajas y bigotes para DBO

Nota. Se muestra la comparación de grupos para demanda bioquímica de oxígeno

4.1.7. DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)

En primer lugar, los resultados de los supuestos muestran que el valor de normalidad ($p = 0.040$) es menor que 0.05, mientras que el valor de homogeneidad ($p = 0.965$) es mayor que 0.05. Esto significa que no se cumple el supuesto de normalidad, aunque sí el de homogeneidad de varianzas. Dado que ambos supuestos no se cumplen de forma simultánea, corresponde emplear una prueba no paramétrica, en este caso el test de Kruskal-Wallis, para evaluar las diferencias en la concentración de DQO entre los distintos tiempos de tratamiento (12h, 24h, 36h y 48h).

Tabla 15: Anova de Kruskal-Wallis - DQO

Kruskal-Wallis			
	χ^2	gl	p
DQO	4.89	3	0.180

Nota. Resultados de análisis estadístico

El resultado del análisis de Kruskal-Wallis muestra un valor de $\chi^2 = 4.89$, con 3 grados de libertad y un $p = 0.180$, lo que indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos evaluados ($p > 0.05$). En otras palabras, la variación del tiempo de tratamiento no generó cambios significativos en los valores de demanda química de oxígeno durante el proceso.

Dado que el resultado del análisis global no fue significativo, no se realizó una prueba post hoc ni comparaciones múltiples, ya que no se evidencian diferencias entre los grupos. Por tanto, no se determina un tiempo óptimo, puesto que los valores de DQO se mantuvieron estadísticamente similares en todos los periodos de tratamiento evaluados.

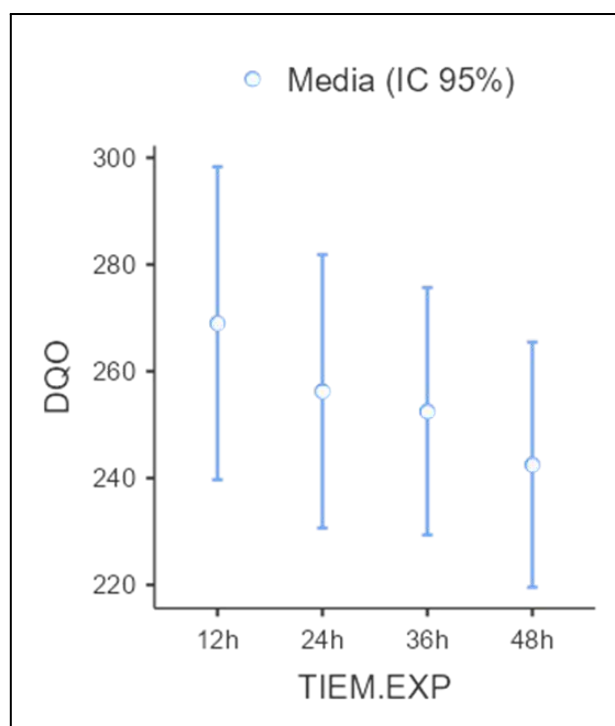


Figura 16: Gráfico de cajas y bigotes para DQO

Nota. Se muestra la comparación de grupos para demanda química de oxígeno

4.1.8. COLIFORMES TOTALES

Previo a la interpretación, es importante señalar que la determinación de coliformes totales se utilizó como un indicador microbiológico de contaminación de origen fecal y de la calidad sanitaria del agua residual tratada a lo largo del tiempo. Este parámetro permite evaluar la eficacia del proceso de tratamiento biológico o físico-químico en la reducción de microorganismos indicadores, los cuales representan un riesgo potencial para la salud pública si no son adecuadamente eliminados. Los resultados obtenidos expresan la concentración de coliformes totales en NMP/100 mL (Número Más Probable por cada 100 mililitros), medida en diferentes réplicas (R-01 a R-04) y tiempos de tratamiento (12h, 24h, 36h y 48h).

Tabla 16: Resultados para coliformes totales

Coliformes totales	
UNIDAD	NMP/100ml
R - 01	>43,100
R - 01	>35.000
R - 01	>30.200
R - 01	>21,200
R - 02	>32,400
R - 02	>30.400
R - 02	>24.000
R - 02	>20,900
R - 03	>30,300
R - 03	>29.800
R - 03	>21.300
R - 03	>17,500
R - 04	>25,100
R - 04	>22.100
R - 04	>17.100
R - 04	>18,400

Nota. Resultados de laboratorio

En cuanto a la interpretación de los resultados, se observa una disminución progresiva en las concentraciones de coliformes totales a medida que aumenta el tiempo de tratamiento. En el caso de la réplica R-01, los valores se redujeron de >43,100 NMP/100 mL a >21,200 NMP/100 mL entre las 12h y 48h; un comportamiento similar se repite en las demás réplicas, con reducciones desde >32,400 hasta >20,900 (R-02), de >30,300 hasta >17,500 (R-03) y de >25,100 hasta >18,400 (R-04). Este patrón descendente evidencia que el sistema de tratamiento aplicado favoreció la disminución de la carga bacteriana total, especialmente en los periodos finales del proceso, aunque los valores

obtenidos aún se mantienen por encima de los límites máximos permisibles para descargas o reúso según normativas sanitarias. En conjunto, los resultados demuestran una tendencia positiva hacia la depuración microbiológica, confirmando que el incremento del tiempo de tratamiento contribuye a la reducción de coliformes totales, aunque se requeriría optimizar el proceso o ampliar el tiempo de residencia para lograr una remoción más completa.

4.1.9. COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Es importante indicar que la determinación de coliformes termotolerantes (también conocidos como coliformes fecales) se emplea como un indicador directo de contaminación de origen fecal reciente, ya que estos microorganismos se desarrollan a temperaturas más elevadas (alrededor de 44.5 °C). Su presencia en aguas residuales permite evaluar la eficacia del proceso de tratamiento biológico para eliminar bacterias patógenas o indicadoras de contaminación orgánica. Los resultados expresados en NMP/100 mL corresponden a las mediciones realizadas en diferentes réplicas (R-01 a R-04) y tiempos de tratamiento (12h, 24h, 36h y 48h), reflejando la evolución de la carga bacteriana a lo largo del proceso.

Tabla 17: Resultados para coliformes termotolerantes

Coliformes termotolerantes	
UNIDAD	NMP/100ml
R - 01	>20,000
R - 01	>18.000
R - 01	>15.000
R - 01	>12,000
R - 02	>16,000
R - 02	>15.000
R - 02	>12.000
R - 02	>11,000

Coliformes termotolerantes	
R - 03	>14,000
R - 03	>14.000
R - 03	>11.000
R - 03	>9,000
R - 04	>13,000
R - 04	>11.000
R - 04	>9.000
R - 04	>9,000

Nota. Resultados de laboratorio

En la interpretación de los resultados, se observa una reducción constante en la concentración de coliformes termotolerantes conforme aumenta el tiempo de tratamiento, lo que evidencia un proceso de depuración microbiológica progresivo. En la réplica R-01, los valores disminuyeron de >20,000 NMP/100 mL a >12,000 NMP/100 mL; en R-02 de >16,000 a >11,000; en R-03 de >14,000 a >9,000; y en R-04 de >13,000 a >9,000 NMP/100 mL. Esta tendencia descendente confirma que el sistema de tratamiento promueve la reducción de microorganismos indicadores de contaminación fecal, siendo más efectiva en los periodos finales del proceso (36h y 48h). Sin embargo, los valores obtenidos aún superan los límites máximos permisibles establecidos por normativas ambientales y sanitarias, por lo que sería necesario optimizar el tiempo de tratamiento o mejorar la eficiencia del sistema para lograr una remoción bacteriana que cumpla con los estándares de calidad microbiológica requeridos.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Respecto a la caracterización del efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo, los resultados muestran una disminución parcial de los niveles de contaminación respecto al afluente, aunque varios parámetros continúan excediendo los Límites Máximos Permisibles establecidos por el DS N° 003-2010-MINAM. Este comportamiento coincide parcialmente con lo reportado por Arias (2021), quien evidenció que los sistemas

físico-químicos convencionales no logran una depuración completa, especialmente en la DBO₅ y DQO. En el caso de Yanamayo, la reducción de estos parámetros (DBO₅ de 192 a 174 mg/L y DQO de 480 a 435 mg/L) evidencia una eficiencia limitada, lo que sugiere que el proceso biológico no alcanza una remoción adecuada de materia orgánica. Esta situación contrasta con lo reportado por Flores y Lloclla (2021) y Valdez (2020), quienes hallaron que el uso de microorganismos eficaces permitió alcanzar valores dentro de los LMP peruanos, demostrando que la bioestimulación con EM puede mejorar significativamente la calidad del efluente.

Asimismo, los parámetros microbiológicos presentaron reducciones moderadas, con una disminución del 28.8% en coliformes termotolerantes, aunque los valores finales aún superan el límite de 10,000 NMP/100 mL. Este resultado es similar al observado por Apaza (2020), quien indicó que el tratamiento con EM mejora sustancialmente la calidad microbiológica, permitiendo alcanzar los valores máximos admisibles establecidos por la normativa peruana. En contraste, los hallazgos de Yanamayo demuestran que, sin la aplicación de microorganismos eficaces, la desinfección no es eficiente, generando riesgos sanitarios y ambientales. Esta evidencia reafirma la necesidad de incorporar tecnologías biológicas complementarias que potencien la degradación de materia orgánica y la eliminación de patógenos, como proponen Bhupinder et al. (2024) y Moreno y Gallego (2022), quienes demostraron en sus estudios que los tratamientos con consorcios microbianos cumplen con los estándares internacionales (OMS y Resolución 0631-2015, respectivamente).

Finalmente, los resultados del punto de mezcla con el río adyacente confirman que el efluente tratado afecta negativamente la calidad del cuerpo receptor, con valores de DBO₅ (90.4 mg/L) y coliformes termotolerantes (>16,000 NMP/100 mL) que superan ampliamente los ECA para aguas de categoría 4 – sierra, según el DS N° 004-2017-MINAM. Esto refleja una tendencia similar a la descrita por Arias (2021), donde el efluente no cumplió con los estándares ambientales pese a mostrar reducciones internas. En consecuencia, los resultados de la planta de Yanamayo sustentan la

hipótesis de que el tratamiento convencional actual es insuficiente, y que la incorporación de microorganismos eficaces podría mejorar la calidad del efluente hasta niveles compatibles con los LMP y ECA vigentes, garantizando un menor impacto ambiental y un cumplimiento normativo sostenible.

Respecto a la aplicación de microorganismos eficaces (EM) en el tratamiento del efluente de la planta de Yanamayo, los resultados evidencian un efecto favorable sobre la mejora de la calidad del agua residual, con reducciones progresivas en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos conforme aumentó el tiempo de retención. En términos de pH, se observó una disminución significativa a las 48 horas ($p = 0.008$), lo que refleja la producción de metabolitos ácidos derivados de la actividad microbiana, tendencia que concuerda con lo reportado por Romero (2020) y Apaza (2020), quienes también identificaron una reducción del pH asociada a la acción biológica de los EM durante la degradación de materia orgánica. Este comportamiento confirma que los microorganismos generan un ambiente más estable y ligeramente ácido, condición que favorece los procesos de mineralización y floculación dentro del reactor biológico, contribuyendo a una mejor remoción de contaminantes.

Respecto a los parámetros químicos, los resultados mostraron reducciones notables en la concentración de cloruros, calcio y magnesio, alcanzando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), con mayor eficiencia a las 24 y 48 horas de retención. Este patrón concuerda con los hallazgos de González y Quispe (2020), quienes evidenciaron que los EM activados reducen la carga iónica y la concentración de sólidos disueltos en periodos de exposición prolongados, mejorando la conductividad eléctrica y la estabilidad del efluente. Asimismo, la reducción progresiva de la alcalinidad y dureza total coincide con las observaciones de Tomczyk et al. (2024) y Moreno y Gallego (2022), quienes reportaron una disminución significativa de compuestos inorgánicos y de la DQO en más del 90 %, al emplear microorganismos eficaces e inmovilizados, lo que demuestra la capacidad de estos consorcios microbianos para transformar sustancias minerales y orgánicas en productos más estables.

En cuanto a la remoción de materia orgánica, si bien el análisis de varianza no mostró diferencias significativas en los valores de DBO₅ y DQO entre los distintos tiempos de tratamiento ($p > 0.05$), se evidenció una tendencia descendente constante en ambos parámetros, alcanzando los valores más bajos a las 48 horas. Esta tendencia se asemeja a lo encontrado por Bhupinder et al. (2024), quien reportó reducciones de hasta 99 % en DBO, DQO y sólidos al emplear tecnologías biológicas basadas en EM. Aunque en el caso de Yanamayo la reducción fue moderada, los resultados sugieren que un tiempo de tratamiento mayor o una mayor concentración de EM podría incrementar la eficiencia, como demostraron Guzmán y Sánchez (2020) y Valdez (2020), quienes obtuvieron reducciones superiores al 40 % con tiempos de exposición mayores a 30 días y concentraciones del 2 % de EM.

En el ámbito microbiológico, los coliformes totales y termotolerantes presentaron una reducción progresiva con el incremento del tiempo de tratamiento, alcanzando sus valores mínimos a las 48 horas, lo que demuestra un efecto depurador gradual de los microorganismos eficaces. Sin embargo, las concentraciones finales aún superan los límites establecidos por el DS N° 003-2010-MINAM, por lo que el sistema requiere optimización para cumplir con la normativa. Este resultado concuerda con lo señalado por Flores y Lloclla (2021), quienes observaron una reducción del 89 % en coliformes termotolerantes tras el uso de EM, logrando cumplir los LMP, y con Valdez (2020), quien reportó una disminución del 80.75 % en coliformes fecales. A diferencia de estos estudios, la eficiencia obtenida en Yanamayo podría atribuirse a la concentración de EM empleada o al tiempo de exposición relativamente corto en comparación con los ensayos de 30 días citados en la literatura.

En resumen, los resultados confirman que los microorganismos eficaces (EM) ejercen una influencia positiva sobre la calidad del efluente tratado, especialmente en la reducción de parámetros químicos y microbiológicos, aunque no alcanzan niveles de cumplimiento total con los LMP y ECA vigentes. Los comportamientos observados coinciden con las investigaciones de Tomczyk et al. (2024), Bhupinder et al. (2024) y

Moreno y Gallego (2022), quienes demostraron que la eficiencia de los EM aumenta con el tiempo de contacto y la concentración adecuada del inóculo. Por tanto, se infiere que el tratamiento con 48 horas de retención representa el tiempo óptimo dentro del contexto experimental, y que la incorporación de una dosis optimizada de EM podría permitir alcanzar la calidad requerida para el vertimiento o reuso del efluente, promoviendo una gestión más sostenible en la planta de Yanamayo.

CONCLUSIONES

- **PRIMERA:** los resultados obtenidos en la caracterización del efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo, se concluye que, si bien el sistema logra una ligera mejora en comparación con el afluente, aún presenta incumplimientos con los Límites Máximos Permisibles establecidos por el DS N° 003-2010-MINAM y los Estándares de Calidad Ambiental – DS N° 004-2017-MINAM. El pH del efluente (8.61) excede el valor máximo permitido (8.5), evidenciando una ligera alcalinidad residual. Los parámetros de carga orgánica, DBO₅ (174 mg/L) y DQO (435 mg/L), disminuyeron respecto al afluente (192 y 480 mg/L, respectivamente), con reducciones de apenas 9.4 % y 9.3 %, pero aún superan ampliamente los límites establecidos (100 mg/L y 200 mg/L). En el aspecto microbiológico, los coliformes termotolerantes (>32,000 NMP/100 mL), aunque se redujeron en un 28.8 %, continúan sobrepasando el LMP de 10,000 NMP/100 mL, lo que evidencia una deficiente desinfección. En el punto de mezcla del río receptor, la DBO₅ alcanzó 90.4 mg/L y los coliformes termotolerantes >16,000 NMP/100 mL. El estudio revela que los efluentes tratados exceden los valores ECA categoría 4, afectando negativamente el ecosistema acuático. Se requiere optimización del proceso mediante tecnologías como microorganismos eficaces.
- **SEGUNDA:** La aplicación de microorganismos eficaces (EM) en el efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo evidenció una mejora sustancial en la calidad del agua, con reducciones progresivas en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados. Se observó una disminución de la DBO₅ de 98 mg/L a 90.8 mg/L y de la DQO de 240 mg/L a 227 mg/L en el tratamiento de 48 horas,

alcanzando reducciones cercanas al 8 % y 5 %, respectivamente, en comparación con los valores iniciales. El pH mostró una tendencia descendente desde 6.79 hasta 5.48, reflejando la actividad metabólica de los EM y la producción de metabolitos ácidos que contribuyeron a la estabilización del efluente. Aunque la temperatura se mantuvo constante en 13 °C, los sólidos totales disueltos se redujeron ligeramente de 0.75 a 0.70 g/L, confirmando una moderada remoción de sales disueltas. En el aspecto microbiológico, se evidenció una reducción significativa de los coliformes termotolerantes, pasando de valores superiores a 20,000 NMP/100 mL a aproximadamente 9,000 NMP/100 mL tras 48 horas de tratamiento, lo que representa una remoción cercana al 55 %. Estos resultados demuestran que los microorganismos eficaces ejercen una influencia positiva en la depuración del efluente, siendo el tiempo de 48 horas el más eficiente, al mejorar la calidad del agua tratada y acercar los valores a los Límites Máximos Permisibles establecidos por el DS N° 003-2010-MINAM.

- **TERCERA:** La evaluación de la eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en el mejoramiento del efluente tratado de la planta de Yanamayo durante el 2025 permitió demostrar que esta tecnología biológica representa una alternativa efectiva para reforzar los procesos de depuración actuales, aunque aún insuficiente para cumplir plenamente con los estándares normativos. La caracterización inicial del efluente evidenció limitaciones operativas del sistema convencional, reflejadas en valores de pH, DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes que superan los Límites Máximos Permisibles del DS N.º 003-2010-MINAM y los Estándares de Calidad Ambiental del DS N.º 004-2017-MINAM, confirmando una reducción inadecuada de la carga orgánica y microbiológica. Con la aplicación de EM se observaron mejoras relevantes, especialmente en la disminución de coliformes termotolerantes, con remociones cercanas al 55 %, así como descensos en la DBO₅, DQO y sólidos totales disueltos. El comportamiento del pH mostró la influencia metabólica de los microorganismos, contribuyendo a la estabilización del efluente. Aunque el

tratamiento de 48 horas presentó el mejor desempeño y acercó los valores a los límites normativos, estos aún no alcanzan el cumplimiento total. En consecuencia, se concluye que los EM fortalecen de manera significativa la calidad del efluente, pero requieren ser complementados con optimizaciones adicionales para garantizar un tratamiento integral y ambientalmente seguro.

RECOMENDACIONES

- **“PRIMERA”**: Se recomienda Implementar un proceso de optimización en la planta de tratamiento de Yanamayo, incorporando tecnologías complementarias de carácter biológico, como la aplicación de microorganismos eficaces (EM), con el fin de mejorar la depuración orgánica y microbiológica del efluente. Además, se sugiere realizar un mantenimiento preventivo y operativo más riguroso de las unidades de tratamiento, así como un control periódico de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, especialmente DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes, para garantizar el cumplimiento sostenido de los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental establecidos por el MINAM. También sería conveniente fortalecer el monitoreo en el punto de mezcla con el río receptor, a fin de evaluar el impacto ambiental de las descargas y diseñar estrategias de mitigación que aseguren la preservación de la calidad del ecosistema acuático.
- **“SEGUNDA”**: Se recomienda continuar con la aplicación de microorganismos eficaces (EM) en el proceso de tratamiento del efluente de la planta de Yanamayo, extendiendo el tiempo de retención hidráulica a más de 48 horas y evaluando diferentes concentraciones del inóculo para maximizar la eficiencia depuradora. Asimismo, se sugiere desarrollar ensayos piloto a mayor escala que permitan determinar la dosis óptima de EM y su comportamiento bajo condiciones reales de operación. Complementariamente, se recomienda realizar un seguimiento continuo de los parámetros críticos —DBO₅, DQO, pH y coliformes termotolerantes— con el propósito de verificar la estabilidad del tratamiento y garantizar la conformidad con los LMP establecidos en el DS N° 003-2010-MINAM. Finalmente, se aconseja

promover la capacitación del personal técnico en el manejo y mantenimiento de sistemas biotecnológicos, de modo que la incorporación de EM se consolide como una alternativa sostenible y eficiente para la mejora de la calidad del efluente tratado.

- **“TERCERA”**: Se recomienda complementar el tratamiento convencional de la planta de Yanamayo con la aplicación continua y controlada de microorganismos eficaces (EM), optimizando su dosificación y manteniendo tiempos de retención cercanos a 48 horas, dado que este periodo mostró el mejor desempeño. Asimismo, es necesario implementar mejoras operativas en las etapas de aireación, sedimentación y desinfección, con el fin de potenciar la remoción de carga orgánica y reducir de manera efectiva los coliformes termotolerantes. Se sugiere realizar monitoreos periódicos de DBO₅, DQO, pH y parámetros microbiológicos para evaluar la estabilidad del sistema y asegurar el cumplimiento de los límites establecidos por la normativa nacional. Finalmente, se propone evaluar tecnologías complementarias que fortalezcan la eficiencia global del proceso de tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Apaza, A. (2020). *Uso de microorganismos eficaces en el mejoramiento de la calidad de aguas residuales de la Industria Láctea, Lima—2017* [Universidad César Vallejo]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/198371>
- Arias, julio. (2021). *Análisis de eficiencia del tratamiento físico-químicos de las aguas residuales de la planta de tratamiento norte del Distrito de Chucuito, Provincia de Puno – 2020* [Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC S.A.C./334>
- Bhupinder, K., Raveena, C., Gaurav, S., & Loveleen, K. (2024). Sustainable and effective microorganisms method for wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 319, 100419. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100419>
- Campoverde, O. (2019). *Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados*. Universidad de Piura.
- Centeno, L., Quintana, A., & López, F. t. (2019). Efecto de un consorcio microbiano en la eficacia del tratamiento de aguas residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldoa*, 26(1), 433-446. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26123>
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM*. (s. f.). Ministerio del Ambiente. Recuperado 23 de octubre de 2024, de <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.-* (s. f.). Ministerio del Ambiente. Recuperado 23 de octubre de 2024, de <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-004-2017-minam/>
- Delgado, J. (2019). *Influencia de los microorganismos eficaces (Em agua) en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente del biorreactor en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Concepción-2018*. Universidad Continental.
- D.S.003-MINAM. (2010). *Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales*.

- Espigares, M., & Pérez, J. (2020). *Aguas Residuales Composición*.
- Flores, C., & Lloclla, H. (2021). *Microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales domésticas San Francisco De Asís, Pomalca* [Universidad César Vallejo]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/116978>
- Giraldo, D. R. (2019). *Aplicación de microorganismos catalíticos (MEc) y su efecto en la generación de biogas utilizando excretas porcinas en la Comunidad Campesina de Lamblaspata – El Tambo – 2019* [Universidad Continental]. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7488>
- Gonzales, E., & Quispe, R. (2020). “Influencia de los microorganismos eficaces (EM) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el distrito de Huancavelica en el 2020” [Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/renati/255069>
- Guzman, F., & Sánchez, E. (2020). *Revisión y Análisis de la Eficiencia del Manejo de Aguas Residuales con Microorganismos Eficaces y de Montaña*. [Universidad Peruana Unión]. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/3284>
- Lapa, R. (2014). *Propuesta de Diseño de Humedal Artificial para el Tratamiento de Aguas Residuales con Fines de Riego en la Ciudad Universitaria—UNSCH - 2014*.
- Maguiña, C. (2024). *Evaluación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la calidad del agua del río Chihua, distrito Iguain, provincia de Huanta, 2022*. universidad nacional autónoma de huanta.
- Medina, Y. (2011). «*Capacidad de remoción de grasas en aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales Totorá. Ayacucho—2010*». Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Moreno, L., & Gallego, N. (2022). *Efectividad del uso de microorganismos en plantas de tratamiento de aguas residuales no domésticas*. <http://hdl.handle.net/10882/11509>
- Morocho, T., & Mora, L. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0253-5785201900020009

3&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Ñahui, D. (2023). *Análisis de la calidad de agua para el consumo humano de los centros poblados del distrito de Yauli, Huancavelica—2023*. Universidad Continental.
- OEFA. (2014). *especialidad en microbiología*.
- Orellana, J. (2005). *Características de los líquidos residuales*. UTN.
- Ortega, C. (2018, junio 14). Muestreo no probabilístico: Definición, tipos y ejemplos. *QuestionPro*. <https://www.questionpro.com/blog/es/muestreo-no-probabilistico/>
- Peralta, I. N. (2016). *Composición típica de las aguas residuales domésticas crudas [USAC. Honduras]*. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1444>
- Quintero, J. A. (2022). *Diseño de propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales para reducir los niveles de contaminantes de un complejo agroindustrial en la ciudad de Ilo, 2022*. Universidad Continental.
- Ramón, J., León, J., & Castillo, N. (2015). *Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie Eisenia foetida [Universidad de Pamplona.]*. <https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1018>
- R.J. N° 010-2016-ANA. (s. f.). *R.J. N° 010-2016-ANA*. Drupal. Recuperado 23 de octubre de 2024, de <https://www.ana.gob.pe/normatividad/rj-no-010-2016-ana-0>
- 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 domésticas del distrito de Quilcas, 2019 [Universidad Continental]*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8247>
- Tapara, A. (2023). *Evaluación de carga de contaminantes generado por el vertimiento de aguas residuales de la laguna de oxidación del distrito de Nuñoa, provincia Melgar-2022*. Universidad Nacional del Altiplano.
- Tomczyk, P., Wierzchowski, P. S., Dobrzyński, J., Kulkova, I., Wróbel, B., Wiatkowski, M., Kuriqi, A., Skorulski, W., Kabat, T., Prycik, M., Gruss, Ł., & Drobnik, J. (2024). Effective microorganism water treatment method for rapid eutrophic reservoir

restoration. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(2), 2377-2393.

<https://doi.org/10.1007/s11356-023-31354-2>

Valdez, A. (2016). *Aplicación de microorganismos eficaces (EM) para el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la localidad de Chucuito.*

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4085>

Vasquez, J., & Chenta, K. (2018). *“Las aguas residuales domésticas y su impacto ambiental-social en el sector Juan Antonio, Moyobamba, 2018”.* universidad Cesar Vallejo.

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

EVALUAR EL EFECTO DE LOS MICROORGANISMOS EFICACES (EM) SOBRE EL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE YANAMAYO- PUNO 2025

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>GENERAL</p> <p>¿Cuál es la efectividad del uso de microorganismos eficaces (EM) en la mejora de la calidad del efluente en la planta de tratamiento de Yanamayo en Puno, 2025?</p>	<p>GENERAL</p> <p>Evaluar la eficiencia de los microorganismos eficaces (EM) en el mejoramiento de la calidad del efluente tratado en la planta de tratamiento de Yanamayo en Puno, durante el año 2025.</p>	<p>GENERAL</p> <p>La aplicación de los (EM) mejora significativamente la calidad del efluente de la PTAR de Yanamayo, reduciendo los parámetros físicos químicos y microbiológicos y cumpliendo así con los estándares ambientales establecidos.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>V1: DBO₅, DQO, SDT, pH, T° y Coliformes Termo Tolerantes.</p>	<p>Tipo de investigación</p> <p>Descriptiva</p> <p>Diseño de la investigación</p> <p>Grupo Descriptiva Experimental</p> <p>Área de estudio</p> <p>PTAR Yanamayo - Puno</p> <p>Método</p> <p>Para desarrollar los objetivos se tomaron los siguientes procedimientos metodológicos. Para esta investigación, se empleará un método experimental cuantitativo. Consistirá en caracterizar el efluente de la PTAR de Yanamayo Puno. Aplicación de microorganismos eficaces (EM) en 4 cubos de 10 litros cada conteniendo aguas residuales provenientes del efluente de la planta de tratamiento Yanamayo - Puno. con un tiempo de retención distinto. Este estudio medirá y comparará parámetros clave de calidad del</p>

<p>ESPECÍFICO</p> <p>¿El efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo se encontrará dentro de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que exige las normas LMP DS N° 003-2010 MINAM y ECA DS N° 004-2017- MINAM?</p> <p>¿Cómo influye el uso de microorganismos eficaces (EM) en la reducción de contaminantes específicos (DBO, DQO, pH, SDT y Coliforme Termotolerantes) en el efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo?</p>	<p>ESPECÍFICO</p> <p>Caracterizar el efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo y ver si sobrepasa los LMP. DS N° 003-2010 MINAM y ECA. DS. N° 004-2017- MINAM.</p> <p>Evaluar la influencia de los microorganismos eficaces EM en la reducción de los niveles de contaminantes, específicamente de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos (DBO, DQO, SDT, pH, T° y Coliformes termotolerantes) en el efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo, Puno.</p>	<p>ESPECÍFICO</p> <p>El efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo sobrepasa los LMP. DS N° 003-2010 MINAM y ECA. DS. N° 004-2017- MINAM.</p> <p>La aplicación de microorganismos eficaces (EM) en el efluente de la PTAR de Yanamayo Puno, reduce notablemente los parámetros físicos químicos y microbiológicos, (DBO, DQO, SDT, pH, T° y Coliformes termotolerantes).</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>V2: Microorganismos eficaces (EM) y tiempo de retención.</p>	<p>agua (como DBO₅, DQO, SDT, pH, T° y Coliformes termotolerantes) antes y después de la aplicación de los EM, lo cual permitirá evaluar su efectividad. La experimentación se desarrollará en condiciones controladas y los datos obtenidos se analizarán estadísticamente para determinar el impacto de los microorganismos en la mejora de los procesos de tratamiento de aguas residuales.</p> <p>Población</p> <p>La población que se considerara para la investigación es la planta de tratamiento de aguas residuales de Yanamayo.</p> <p>Muestras</p> <p>La muestra se tomará del efluente residual de la planta de tratamiento de Yanamayo. que se encuentra bajo la administración de la EPS MUNICIPAL EMSA PUNO S.A.</p>
---	---	---	--	--

Anexo 02: Evidencia fotográfica.



Descripción: En la imagen se muestran los materiales como son: galonera de 20 L – EM – Melaza – cubeta – jarra de litro y una paleta para mezclar y agua de pozo 18 L.



Descripción: se vierte el EM agua un litro para iniciar la inoculación.



Descripción: en la imagen se puede observar la mezcla siendo homogenizada con la paleta.



Descripción: se observa el llenado de la mezcla al bidón de 20 litros.



Descripción: esta mezcla se mantendrá en reposo en un ambiente que se encuentra en una temperatura de 20°C a 30°C. por el tiempo de 10 días. Hasta el 02 – 05 -2025

SOLICITUD: autorización de uso del agua residual.

Señor: ING. Luis Aguilar Coaquira - Gerente general de EMSA PUNO S.A

Presente.-

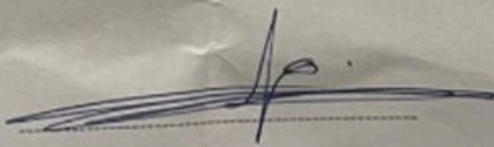
Yo. Jesús Huaraya Canllahui, identificado con DNI N° 42503418 con domicilio legal en el jr. Juan Pablo II N° 150 de la ciudad de puno, me presento ante Ud. y expongo.

Me acercó ante Ud. Para solicitarle me autorice el uso del efluente de la planta de tratamiento de Yanamayo. Esto con la finalidad de ejecutar mi proyecto de tesis que lleva como título. **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE MICROORGANISMOS EFICACES EM SOBRE LA CALIDAD DEL EFLUENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE YANAMAYO-PUNO 2025.** Proyecto que se ejecutara en un domicilió aledaña a la planta donde se acondicionara un mini reactor en la cual se verterán los EM para el tratamiento del efluente.

Por tanto: Sr. Gerente solicito acceda a mi petición por ser de justicia, quedo desde ya muy agradecido por la atención brindada a la presente.

Puno, 24 de abril del 2025

Atentamente.



Jesús huaraya Canllahui
DNI: 42503418

Stamp: EMSAPUNO S.A. No. 10.02 Folio 02. 24 ABR 2025. MESA DE PARTES TRAMITE DOCUMENTARIO.

solicitud presentada a la EPS. encargada de la planta de tratamiento Yanamayo. para el uso del efluente.

	
<p>Descripción: podemos ver las muestras tomadas del afluente y efluente de la ptar Yanamayo.</p>	<p>Descripción: en la imagen se ve el etiquetado de las dos muestras afluente y efluente de la ptar Yanamayo.</p>

	
<p>Descripción: se puede observar el armado de las conexiones, instalación de los reactores y ubicación del aireador de 4 salidas.</p>	



Descripción: se ve en las imágenes la instalación de la bomba de aire a cada reactor, como también se ve la instalación de los baldes de 20 L donde ingresara el efluente del reactor, una vez ya tratado con el EM.



Descripción: se puede ver el módulo toma de información, análisis y seguridad salud.

Descripción: la imagen nos muestra el depósito final de los efluentes. Y poder dar la disposición final adecuada.



Descripción: las imágenes nos muestran la extensión de cable de un domicilió cercano a la vivienda donde se realizó el proyecto con una extensión del cable de 400 m.



Descripción: podemos ver en las imágenes de cómo se instaló con parte de una botella como embudo para que el efluente ingrese de forma directa y una buena presión.



Descripción: podemos ver la instalación ya terminada de la captación del efluente par Yanamayo.



Descripción: en imágenes se muestra las líneas de conducción del efluente a través de tubo de Polietileno hacia el domicilio donde se encuentra el reactor.



Descripción: en imágenes se muestran las líneas de conducción del efluente a través de tubo de Polietileno. Con una distancia de 300 m.

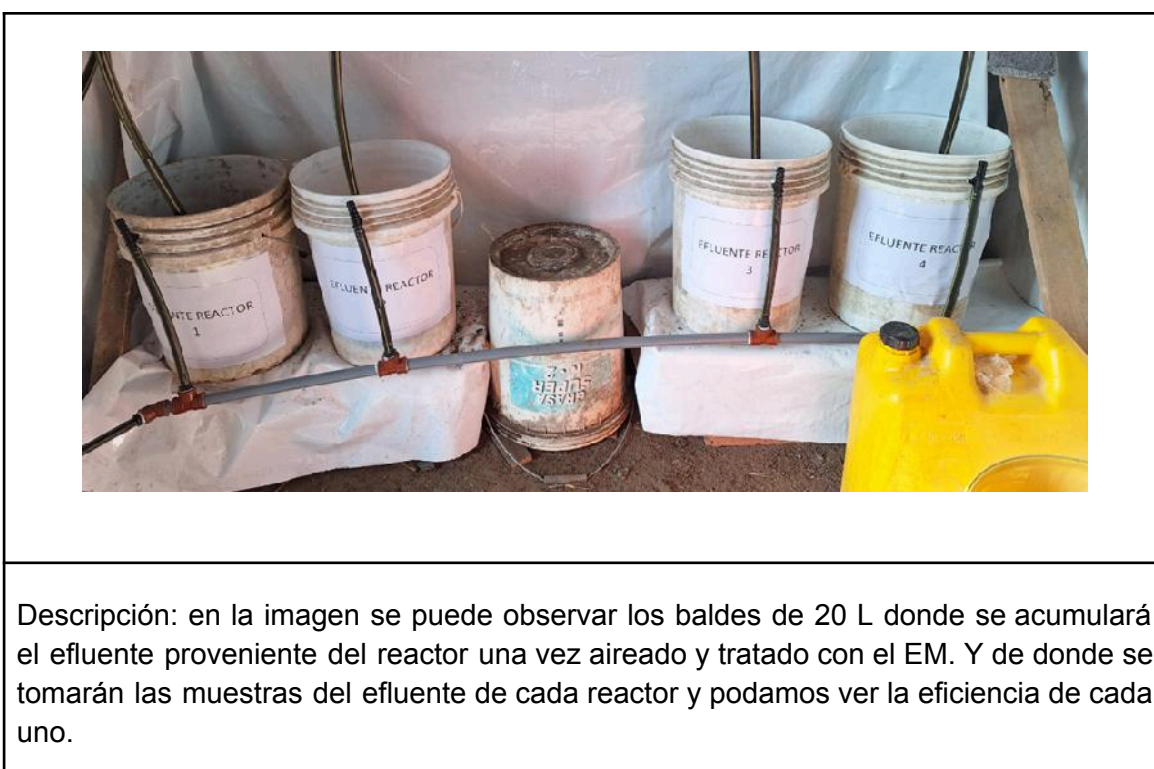


Descripción: podemos ver la línea del tubo que ingresa al domicilio llevando el efluente de la ptar Yanamayo.

Descripción: en la imagen nos muestra el reactor ya instalado y listo para su funcionamiento.



Descripción: en las imágenes nos muestra el ingreso del efluente captado de la par Yanamayo Hacia los reactores.



Descripción: en la imagen se puede observar los baldes de 20 L donde se acumulará el efluente proveniente del reactor una vez aireado y tratado con el EM. Y de donde se tomarán las muestras del efluente de cada reactor y podemos ver la eficiencia de cada uno.



Descripción: en las imágenes nos muestra el depósito final del efluente de los reactores una vez tratado con los EM, al término dar su disposición final de este efluente.



Descripción: en las imágenes podemos ver la electrobomba que se instaló para una mayor presión del efluente pta Yanamayo.



Descripción: en la imagen nos muestra el EM activado de color caramelo listo para su inoculación y de 2 L por reactor esto por recomendación bibliográfica, mezcla de choque.



Descripción: en la imagen nos muestra la inoculación a los módulos 1 – 2 con el EM activados, con un inicio de 2 L por reactor esto por recomendación bibliográfica, mezcla de choque.



Descripción: en la imagen nos muestra los módulos 1 – 2 – 3 – 4 con el EM activado, ya inoculados encendido de la aireación y funcionamiento del reactor.



descripción: en la imagen nos muestra la toma de las muestras de los reactores 1 - 2 - 3 - 4 de sus efluentes.



descripción: podemos ver en la imagen la toma datos y etiquetado de las muestras de los reactores 1 – 2 – 3 – 4.

Nombre de la PTAR: _____	Nombre de la PTAR: _____
Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente): <i>Efluente</i>	Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente): <i>Efluente</i>
No. de muestra(orden de toma de muestra) <i>1 Reactor</i>	No. de muestra(orden de toma de muestra) <i>Reactor - 3</i>
Fecha y hora	Fecha y hora
Ensayo físico químico <input checked="" type="checkbox"/> DBO <input checked="" type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> AyG <input checked="" type="checkbox"/> SST	Ensayo físico químico <input checked="" type="checkbox"/> DBO <input checked="" type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> AyG <input checked="" type="checkbox"/> SST
Ensayo microbiológico <input checked="" type="checkbox"/> CTT	Ensayo microbiológico <input checked="" type="checkbox"/> CTT
Otros parámetros <i>PH</i>	Otros parámetros <i>PH</i>
Otros parámetros _____	Otros parámetros _____
Preservación _____	Preservación _____
Operador del muestreo <i>Sesús Huamayo Canello H.</i>	Operador del muestreo <i>Sesús Huamayo Canello H.</i>

Nombre de la PTAR: _____	Nombre de la PTAR: _____
Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente): <i>Efluente</i>	Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente): <i>Efluente</i>
No. de muestra(orden de toma de muestra) <i>Reactor - 2</i>	No. de muestra(orden de toma de muestra) <i>Reactor - 4</i>
Fecha y hora	Fecha y hora
Ensayo físico químico <input checked="" type="checkbox"/> DBO <input checked="" type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> AyG <input checked="" type="checkbox"/> SST	Ensayo físico químico <input checked="" type="checkbox"/> DBO <input checked="" type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> AyG <input checked="" type="checkbox"/> SST
Ensayo microbiológico <input checked="" type="checkbox"/> CTT	Ensayo microbiológico <input checked="" type="checkbox"/> CTT
Otros parámetros <i>PH</i>	Otros parámetros <i>PH</i>
Otros parámetros _____	Otros parámetros _____
Preservación _____	Preservación _____
Operador del muestreo <i>Sesús Huamayo Canello H.</i>	Operador del muestreo <i>Sesús Huamayo Canello H.</i>

Descripción: en la imagen se ve el Modo de etiquetado de las muestras de los reactores 1 – 2 – 3 – 4 y los parámetros a analizar.



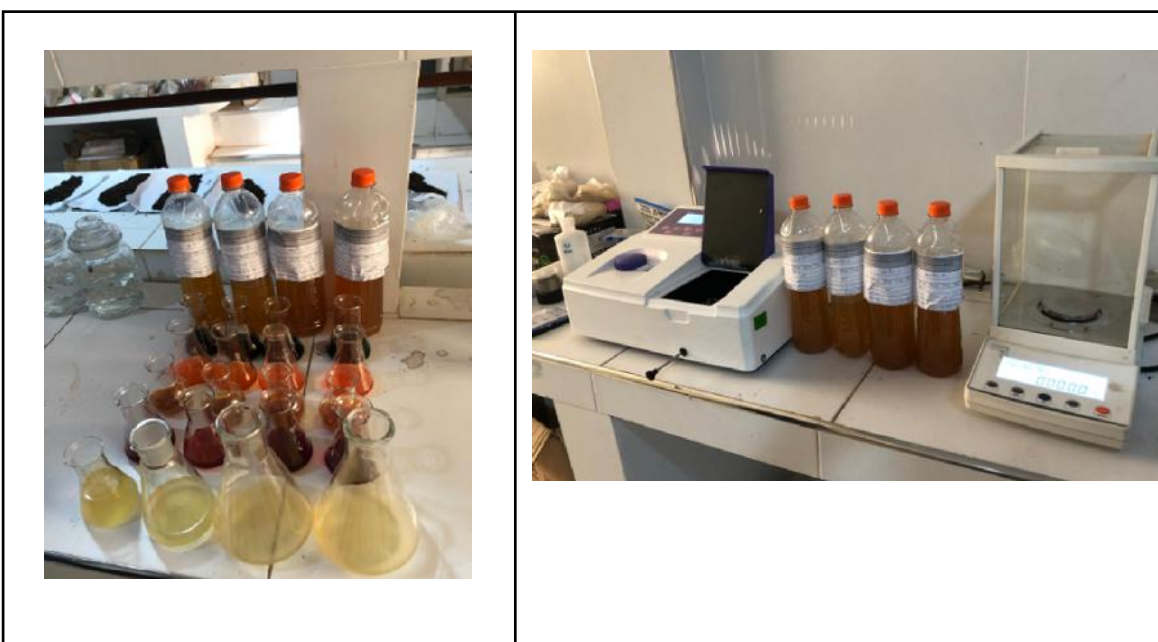
descripción: en las imágenes podemos ver la toma datos y etiquetado de las muestras de los reactores 1 – 2 – 3 – 4



descripción: en las imágenes toma datos y etiquetado de las muestras de los reactores 1 – 2 – 3 – 4.



descripción: en las imágenes se ve las cuartas muestras de los reactores entregando al encargado del laboratorio. MEGA LABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C



descripción: podemos ver las muestras en una etapa de los análisis del laboratorio. MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C. esto en la ciudad de Puno. Como también se ve las instalaciones del laboratorio.

Anexo 03: Estándares de calidad ambiental categoría 4 - D: (DS.004-ECA-MINAM, 2017)
18
NORMAS LEGALES

 Miércoles 7 de junio de 2017 /  **El Peruano**
Categoría 4: Conservación del ambiente acuático

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
FÍSICOS- QUÍMICOS						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	(µS/cm)	1000	1000	1000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO ₃) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoníaco Total (NH ₃)	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
INORGÁNICOS						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
ORGÁNICOS						
Compuestos Orgánicos Volátiles						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
BTEX						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Hidrocarburos Aromáticos						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Bifenilos Policlorados						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
PLAGUICIDAS						
Organofosforados						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
Organoclorados						
Aldrin	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4'-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrin	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036



Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Rios		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,000038	0,000038	0,000038	0,000036	0,000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Carbamato						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
MICROBIOLÓGICO						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000

Anexo 04: Resultados de laboratorio



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C.
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL
RUC: 20612800741

INFORME DE ENSAYO 064/MQA

RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANALISIS FISICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

PROCEDENCIA : AFLUENTE – EFLUENTE - PTAR - YANAMAYO.
INTERESADO : JESUS HUARAYA CANLLAHUI.
MOTIVO : ANALISIS FISICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO.
FECHA DE MUESTREO : 02/05/2025 (por el interesado).
FECHA DE ANALISIS : 02/05/2025.

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

Aspecto : Turbio.
Color : Gns.
Olor : Fétido.

CARACTERÍSTICAS FISICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	M1 AFLUENTE	M1 – 2 EFLUENTE	METODOLOGÍA
pH		8.00	8.81	Potenciometro
C.E	mS/cm	2.78	2.41	Conductímetro
Temperatura (°C)	°C	14.0	14.0	Termómetro

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	M1 AFLUENTE	M1 – 2 EFLUENTE	METODOLOGÍA
Sólidos Disueltos Totales	g/l	1.38	1.20	Evaporación y pesaje
Dureza Total (como CaCO ₃)	mg/l	258.4	235.6	Titulación con EDTA
Alcalinidad (como CaHCO ₃)	mg/l	909.38	887.20	Titulación ácido-base
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	337.50	329.0	Titulación de Mohr
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	360	360	Espectrofotometría (Método de barfo).
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/l	2.20	2.23	método colorimétrico
Calcio (como Ca ²⁺)	mg/l	74.48	71.44	Titulación con EDTA
Magnesio (como Mg ²⁺)	mg/l	17.40	13.70	Titulación con EDTA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	192	174	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	480	435	Digestión cerrada

RESULTADO DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

Coliformes totales	NMP/100ml	>80.000	>72.000
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	>45.000	>32.000

INTERPRETACION:

El agua analizada es en lones líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.



Dr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida - a una cuadra del local Pírgola - Puno
Cel. 973298546 - 983003185



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741

INFORME DE ENSAYO 065/MQA
RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANALISIS FISICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

PROCEDENCIA : PUNTO MEZCLA – EFLUENTE Y MICROCUENCA. PTAR – YANAMAYO.
INTERESADO : JESUS HUARAYA CANLLAHUI.
MOTIVO : ANALISIS FISICO – QUIMICO Y MICROBIOLÓGICO.
FECHA DE MUESTREO : 02/05/2025 (por el interesado).
FECHA DE ANALISIS : 02/05/2025.

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

Aspecto : Turbio.
Color : Gns.
Olor : Fétido.

CARACTERÍSTICAS FISICOS:

PARAMETROS	UNIDAD	M2	METODOLOGÍA
pH		7.94	Potenciometro
C.E	mS/cm	1.59	Conduclimetro
Temperatura (°C)	°C	14.0	Termómetro

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Solides Disueltos Totales	g/l	0.79	Evaporación y pesaje
Dureza Total (como CaCO ₃)	mg/l	254.60	Titulación con EDTA
Alcalinidad (como CaHCO ₃)	mg/l	621.04	Titulación ácido-base
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	184	Titulación de Mohr
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	280	Espectrofotometría (Método de bario).
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/l	2.10	método colorimétrico
Calcio (como Ca ⁺⁺)	mg/l	38.4	Titulación con EDTA
Magnesio (como Mg ⁺⁺)	mg/l	39.40	Titulación con EDTA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	93.4	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	226.0	Digestión cerrada

RESULTADO DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

Coliformes totales	NMP/100ml	>36,000
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	>16,000

INTERPRETACION:

El agua analizada es en íones líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.



Jesús Huaraya Canllahui
RUC: 20612800741
GERENTE



Solomon Julio Morales Huera
INGENIERO QUÍMICO
ANALISTA DE LABORATORIO

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida - a una cuadra del local Pérgola - Puno
Cel. 973296546 - 983003185



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741

INFORME DE ENSAYO 071/MQA
RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANALISIS FISICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

PROCEDENCIA : PRIMERAS MUESTRAS DE EFLUENTES REACTORTES: 1 - 2 - 3 - 4.
INTERESADO : JESUS HUARAYA CANLLAHUI
MOTIVO : ANALISIS FISICO - QUIMICO Y MICROBIOLÓGICO.
FECHA DE MUESTREO : 06/05/2025 (por el interesado).
FECHA DE ANALISIS : 06/05/2025.

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

Aspecto : Líquido - Turbio.
Color : Gris.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	R - 01	R - 02	R - 03	R - 04	METODOLOGÍA
pH		7.94	7.81	7.69	6.86	Potenciometro
C.F	mS/cm	1.75	1.44	1.75	1.61	Conductimetro
Temperatura (°C)	°C	14.0	14.0	14.0	14.0	Termómetro

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	R - 01	R - 02	R - 03	R - 04	METODOLOGÍA
Sólidos Disueltos Totales	g/l	0.87	0.72	0.87	0.80	Evaporación y pesaje
Dureza Total (como CaCO ₃)	mg/l	497.8	459.8	551.0	532.0	Titulación con EDTA
Alcalinidad (como CaHCO ₃)	mg/l	266.16	243.98	232.89	221.80	Titulación ácido-base
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	215.59	204.24	221.27	224.10	Titulación de Mohr
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	360	360	360	360	Espectrofotometría (Método de bario).
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/l	1.20	1.15	1.25	1.20	método colorimétrico
Calcio (como Ca ⁺⁺)	mg/l	150.48	129.20	174.80	179.36	Titulación con EDTA
Magnesio (como Mg ⁺⁺)	mg/l	29.34	33.01	27.51	20.17	Titulación con EDTA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	114	108	106	103	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	286	272	267	258	Digestión cerrada

RESULTADO DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

Coliformes totales	NMP/100ml	>15,100	>32,400	>30,300	>25,100
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	>20,000	>16,000	>14,000	>13,000

INTERPRETACION:

El agua analizada es en forma líquida por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.



Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida - a una cuadra del local Pégota - Puno
Cel. 973296546 - 983003185



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741

INFORME DE ENSAYO 083/MQA
RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

PROCEDENCIA : SEGUNDAS MUESTRAS DE EFLUENTES REACTORES: 1 - 2 - 3 - 4.
INTERESADO : JESUS HUARAYA CANLLAHUI.
MOTIVO : ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO.
FECHA DE MUESTREO : 12/05/2025 (por el interesado).
FECHA DE ANÁLISIS : 12/05/2025.

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

Aspecto : Líquido - Turbio.
Color : Gris.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	R - 01	R - 02	R - 03	R - 04	METODOLOGÍA
pH		7.86	7.67	6.91	6.13	Potenciometro
C.E	mS/cm	1.70	1.40	1.70	1.58	Conductímetro
Temperatura (°C)	°C	15.0	15.0	15.0	15.0	Termómetro

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	R - 01	R - 02	R - 03	R - 04	METODOLOGÍA
Sólidos Disueltos Totales	g/l	0.85	0.70	0.84	0.79	Evaporación y pesaje
Dureza Total (como CaCO ₃)	mg/l	490.80	457.80	545.00	530.00	Titulación con EDTA
Alcalinidad (como CaHCO ₃)	mg/l	260.10	240.90	230.80	220.81	Titulación ácido base
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	214.50	202.22	220.21	220.10	Titulación de Mohr
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	379	350	340	351	Espectrofotometría (Método de bario).
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/l	1.10	1.12	1.24	1.10	método colorimétrico
Calcio (como Ca ⁺⁺)	mg/l	140.40	120.20	164.80	170.30	Titulación con EDTA
Magnesio (como Mg ⁺⁺)	mg/l	20.34	30.01	22.51	20.10	Titulación con EDTA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	112	107	105	100	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	279	268	263	251	Digestión cerrada

RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

Coliformes totales	NMP/100ml	>35.000	>30.400	>29.800	>22.100
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	>18.000	>25.000	>14.000	>11.000

INTERPRETACION:
El agua analizada es un lodo líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.



Gerente
Dennis Sánchez Guillot
RUC: 20612800741



Ingeniero Químico
Analista de Laboratorio
Salomón Justo Morales Yucra

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida - a una cuadra del local Pergola - Puno
Tel. 973296546 - 983003185



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL.
RUC: 20612800741

INFORME DE ENSAYO 08B/MQA
RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANALISIS FISICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

PROCEDENCIA : TERCERAS MUESTRAS DE EFLUENTES REACTORTES: 1 - 2 - 3 - 4.
INTERESADO : JESUS HUARAYA CANLLAHUIL
MOTIVO : ANALISIS FISICO - QUIMICO Y MICROBIOLÓGICO.
FECHA DE MUESTREO : 19/05/2025 (por el interesado).
FECHA DE ANALISIS : 19/05/2025.

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

Aspecto : Líquido - Turbio.
Color : Gris.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	R - 01	R - 02	R - 03	R - 04	METODOLOGÍA
pH		7.70	6.79	6.74	5.61	Potenciámetro
C.E	mS/cm	1.75	1.44	1.75	1.61	Conductímetro
Temperatura (°C)	°C	13.0	13.0	13.0	13.0	Termómetro

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Sólidos Disueltos Totales	g/l	0.63	0.70	0.85	0.75	Evaporación y pesaje
Dureza Total (como CaCO ₃)	mg/l	401.0	409.85	541.0	522.0	Titulación con EDTA
Alcalinidad (como CaHCO ₃)	mg/l	261.16	213.98	230.89	211.80	Titulación ácido-base
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	212.50	200.22	220.28	220.12	Titulación de Mohr
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	364	362	363	358	Espectrofotometría (Método de bario).
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/l	1.10	1.05	1.06	1.25	método colorimétrico
Calcio (como Ca ⁺⁺)	mg/l	130.48	119.20	164.80	160.36	Titulación con EDTA
Magnesio (como Mg ⁺⁺)	mg/l	28.30	32.00	26.51	19.18	Titulación con EDTA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	107	98	96	94	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	267	245	241	234	Digestión cerrada

RESULTADO DE ANALISIS MICROBIOLÓGICO:

Coliformes totales	NMP/100ml	>30.200	>24.000	>21.300	>17.100
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	>15.000	>12.000	>11.000	>9.000

INTERPRETACION:

El agua analizada es en íones líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.



Benito Huarcaya Canllahuil
RUC: 20612800741
GERENTE



Salomón Pastor Morales A.ETA
INGENIERO QUÍMICO
ANALISTA DE LABORATORIO

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida - a una cuadra del local Pégola - Puno
Cel. 973296546 - 983003185



MEGALABORATORIOS QUÍMICOS DE LOS ANDES S.A.C
AGUAS – SUELOS – MINERALES Y OTROS.
CON EQUIPOS CALIBRADOS Y CERTIFICADOS POR COMPARACIÓN
DE TRAZABILIDAD DIRECTA DE INACAL
RUC: 20612800741

INFORME DE ENSAYO 092/MGA

RESULTADO DE ANÁLISIS

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA.

PROCEDENCIA : CUARTAS MUESTRAS DE EFLUENTES REACTORTES: 1 - 2 - 3 - 4.
INTERESADO : JESUS HUARAYA CANLLAHUI.
MOTIVO : ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO.
FECHA DE MUESTREO : 26/05/2025 (por el interesado).
FECHA DE ANÁLISIS : 26/05/2025.

CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS:

Aspecto : Líquido - Turbio.
Color : Gns.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:

PARAMETROS	UNIDAD	R - 01	R - 02	R - 03	R - 04	METODOLOGÍA
pH		7.70	6.79	5.63	5.48	Potenciometro
C.E	mS/cm	1.60	1.54	1.35	1.41	Conductímetro
Temperatura (°C)	°C	12.0	12.0	12.0	12.0	Termómetro

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS:

Sólidos Disueltos Totales	g/l	0.80	0.75	0.67	0.70	Evaporación y pesaje
Dureza Total (como CaCO ₃)	mg/l	487.02	450.81	561.05	530.02	Titulación con EDTA
Alcalinidad (como CaHCO ₃)	mg/l	260.17	240.90	230.88	211.86	Titulación ácido-base
Cloruros (como Cl ⁻)	mg/l	210.50	200.26	221.28	214.18	Titulación de Mohr
Sulfatos (como SO ₄ ²⁻)	mg/l	340	330	380	360	Espectrofotometría (Método de bario).
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/l	1.10	1.05	1.35	1.11	metodo colorimétrico
Calcio (como Ca ⁺⁺)	mg/l	140.48	139.21	134.81	169.30	Titulación con EDTA
Magnesio (como Mg ⁺⁺)	mg/l	20.34	31.01	21.51	19.18	Titulación con EDTA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	98	96	95.6	90.8	Digestión cerrada
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/l	244	240	239	227	Digestión cerrada

RESULTADO DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO:

Coliformos totales	NMP/100ml	>21.200	>20.900	>17.500	>18.400
Coliformos termotolerantes	NMP/100ml	>12.000	>11.000	>9.000	>9000

INTERPRETACION:

El agua analizada es en íones líquido por lo tanto los resultados serán interpretados en el área correspondiente.



Benito Parades Castañeda
RUC: 20512800741
GERENTE



Salomon Justo Morales Yucra
INGENIERO QUÍMICO
ANALISTA DE LABORATORIO

Jr. Esmeralda N°193 URB - Villa Florida - a una cuadra del local Pégola - Puno
Cel. 973296546 - 983003185